UNIVERSIDAD EAFIT

Vigilada Mineducación

El rol de los incentivos tributarios en la viabilidad financiera de plantas generadoras de energía, a partir de biogás a base de residuos de aceite de palma africana en Colombia

The role of tax incentives in the financial feasibility of energy generating biogas plants operating on African palm oil effluent in Colombia

Por

Ángela Patricia Cáceres Méndez

Tesis

Trabajo presentado como requisito parcial para optar al título de
Magíster en Administración Financiera

Asesor

Armando Lenin Támara Ayús, PhD.

UNIVERSIDAD EAFIT

Medellín, julio, 2023

Resumen

Los incentivos tributarios consisten en la reducción de las cargas impositivas de los ingresos obtenidos y benefician a los contribuyentes que estén alineados a las políticas promovidas por el Estado. El objetivo de este trabajo es evaluar la factibilidad financiera de una planta de producción de biogás, a partir de residuos orgánicos de extractoras de aceite de palma. Se crea un modelo financiero con datos obtenidos de un estudio de mercado referente al potencial generador de residuos de estos cultivos, así como estimaciones de costos de maquinaria para determinar la viabilidad financiera del proyecto, a la vez, que se integran al modelo los incentivos tributarios para energías renovables y se analiza cómo estos afectan la rentabilidad financiera en varios escenarios. Los resultados arrojan que sin incentivos tributarios el proyecto no es financieramente viable, pero al aplicar deducciones al impuesto de renta, el proyecto cobra viabilidad financiera.

Palabras clave: Energías renovables, Incentivos tributarios, Valuación financiera.
Clasificación JEL: H23, Q42
MSC2010: 91B82, 91G50

Abstract

Tax incentives consist on the reduction of tax burden on the obtained income and benefit taxpayers who are aligned with the policies promoted by the State. This paper's objective is to verify the financial feasibility of a biogas plant that uses the organic waste of palm oil extraction as raw material. A financial model was created with data obtained from a market study regarding the potential residue generated by an African palm oil extractor and estimates of its equipment costs to determine the financial viability of the project. Additionally, tax incentives for renewable energies are also included in the model to analyze sensibility of the financial profitability in various scenarios. The results show that without tax incentives the project is not financially viable. By applying tax income deductions, the project becomes financially sound.

Key words: Renewable energies, Tax incentives, Financial valuation.
Clasificación JEL: H23, Q42
MSC2010: 91B82, 91G50

Contenido

1. Introducción 5

2. Situación de estudio 6

3. Marco de referencia conceptual 8

4. Caso de estudio 10

5. Supuestos de Modelación 10

5.1 Estimación de producción de residuos POME 10

5.2 Diseño de la planta de biogás 11

5.3 Cálculo de los ingresos 14

5.4 Línea de tiempo del proyecto 15

5.5 Costo Promedio Ponderado de Capital (WACC) 16

6. Resultados 17

7. Conclusiones 21

Referencias 23

Lista de tablas

Tabla 1. Costo de Capital para construcción y equipamiento de digestor 11
Tabla 2. Detalle de Mano de Obra 14
Tabla 3. Cálculo de ingresos operacionales planta biogás 15
Tabla 4. Línea de tiempo Proyecto Biogás 15
Tabla 5. Estimación Costo de Capital y Fuentes 16
Tabla 6. Ventaja Fiscal Aprovechada deducción tributaria de proyecto de biogás 22
Tabla 7. Tabla de sensibilidad a incentivos tributarios 22

Lista de ilustraciones

Ilustración 1. Flujos de ingreso y salida de digestor 13
Ilustración 2. Resultado operacional de Planta Biogás en escenario sin incentivos 18
Ilustración 3. Flujo de Caja Operativo escenario sin beneficios 19
Ilustración 4. Flujo de Caja del Servicio de la Deuda 20
Ilustración 5. Flujo de Caja operativo escenario con descuento tributario 20
Ilustración 6. Flujo de Caja Operativo con beneficios titularizados a inversionista 21

1. Introducción

La protección del medio ambiente en Colombia ha tomado cada vez más importancia en los últimos años, al adquirir compromisos internacionales con la firma de distintos tratados con otros países. Según la Organización de Estrategias de Desarrollo Resiliente y Bajo en Emisiones en Latinoamérica y el Caribe (LEDS LAC por sus siglas en inglés), uno de los tratados más recientes, se encuentra en el marco del Acuerdo de París, donde Colombia manifestó su compromiso de transitar hacia un desarrollo adaptado al clima, compatible con el objetivo de neutralidad de carbono al 2050 de la LEDS LAC (2021).

En línea con este objetivo, LEDS LAC (2021) ha promovido el aprovechamiento del biogás generado con base en las biomasas residuales, dada la existencia del potencial que esta tecnología posee en torno a la contribución del desarrollo sostenible de un país en relación con la seguridad energética, reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI -por sus siglas en inglés-), gestión ambiental, generación de empleos, oportunidades económicas y otros beneficios ambientales, económicos y sociales.

En los últimos años, en Colombia se han expedido leyes, decretos y reformas al Estatuto Tributario en el país para crear incentivos tributarios que beneficien a las empresas que estén dispuestas a tomar las medidas necesarias para minimizar su impacto en el medio ambiente. Como resultado, los principales incentivos tributarios que ofrece el gobierno colombiano se acotan dentro de la Ley 1715, decretada por el Congreso de la República de Colombia en el año 2014, y el Estatuto Tributario, expedido y administrado por la Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales (DIAN).

La Ley 1715 del 2014 está encaminada a promover el desarrollo de los proyectos que utilicen Fuentes No Convencionales de Energía (FNCE), entendidos como "aquellos recursos de energía disponibles a nivel mundial que son ambientalmente sostenibles, pero que en el país no son empleados o son utilizados de manera marginal y no se comercializan ampliamente" (Ley 1715 de 2014, p. 4).

El Estatuto Tributario ofrece "descuentos para las inversiones realizadas en materia de control, conservación y mejoramiento del medio ambiente" (Estatuto Tributario Nacional, Artículo 255. Colombia - ENEL, 2023). Estos incentivos tienden a retribuir, a través de diversos mecanismos, los elevados costos y gastos que deben tomar las compañías para operar bajo lineamientos que preserven los recursos naturales y las

emisiones producidas. Los proyectos basados en la tecnología del biogás son ideales para contribuir a las metas del país en reducir los gases de efecto invernadero, y, además, pueden acumular una variedad de incentivos tributarios dentro de un mismo proyecto.

Este trabajo tiene como objetivo realizar un proyecto de investigación, a partir de un estudio de mercado realizado con base en el potencial de producción de residuos orgánicos, que pueden producir las extractoras de aceite de palma en Colombia. Se preparará un modelo de evaluación de viabilidad financiera de una planta generadora de energía a partir del biogás en la región de Santander, y se obtendrán los datos para ingresarlos a dicho modelo y hacer la evaluación de viabilidad financiera correspondiente.

La presentación de este escrito está constituida por las siguientes secciones: luego de esta introducción sigue la segunda sección que habla de la situación de estudio. La tercera sección indica el marco de referencia conceptual bajo el cual se hará el estudio, posteriormente, la cuarta sección presenta el objeto de estudio, donde se define la región específica de Colombia seleccionada para calcular el potencial de residuos de una planta extractora de aceite de palma. Luego viene la quinta sección, la cual contiene los supuestos principales del modelo financiero que se tomarán en cuenta para realizar la viabilidad financiera, la sexta sección presenta los resultados de las modelaciones financieras de los distintos escenarios del caso de estudio, y, finalmente, se presentan las conclusiones.

2. Situación de estudio

La maquinaria y equipos requeridos para llevar a cabo proyectos de biogás de alto impacto y de larga vida útil son costosos, y requieren de un alto grado de mantenimiento. Tal y como lo plantea la LEDS LAC (2021), aunque existan diferentes tecnologías disponibles para la biodigestión anaerobia, los desarrolladores de proyectos de biogás perciben un alto costo de inversión, más aún, cuando se considera la inversión necesaria en equipos adicionales para el refinamiento del gas y la generación de energía eléctrica o calorífica.

Para superar esta barrera de entrada por alto costo de inversión, la Ley 1715 de 2014 creó incentivos tributarios que exoneran la adquisición de equipos y el pago de aranceles, así como la opción de reducir el impuesto de renta de hasta el 50% de los costos de inversión

durante 15 años. La única manera de incrementar la inversión local y extranjera para proyectos de este tipo es demostrando la viabilidad y rentabilidad que tienen estos proyectos con el aprovechamiento de los incentivos tributarios que son capaces de adquirir.

Benato y Alarico (2019) realizaron un estudio sobre las tendencias, incentivos, costos y composiciones de las plantas de biogás italianas y afirmaron que, a partir de la década de los 90, los países de la Unión Europea han incrementado su uso de biomasa y bioenergía gracias a generosos esquemas de apoyo por parte de los gobiernos. Estas políticas permitieron a la biomasa poder acoger el 4% de la cuota de uso de energía en la Unión Europea, afirmando que los esquemas de subsidios son instrumentos vitales para lograr una transición rápida hacia el uso de energías renovables, al mismo tiempo que son útiles para promover la competitividad económica de estas energías contra tecnologías a base de combustibles fósiles. Los autores concluyen que los países de la Unión Europea consistentemente arrasaron las expectativas mínimas de la meta entre 2012 y 2016, gracias a las subvenciones que provee el gobierno para la industria, aclarando que, una vez el gobierno disminuyó el apoyo a las plantas a base de energías renovables, las instalaciones de plantas de biogás desaceleraron notablemente.

Zhang et al. (2021) hicieron un análisis económico de la adaptabilidad de un sistema combinado de energía CCHP (por sus siglas en inglés - *Combined cooling, heating and power system*-) con base en biogás en el área rural de Lanzhou, en el sur occidente chino. Estudiaron los beneficios económicos basados en su desempeño anual y su capacidad de adaptación regional, junto con tres políticas de incentivos gubernamentales: inversión directa del gobierno, subsidio de precios de electricidad para la generación de energía a base de biogás, y descuentos gubernamentales. En este caso, se concluye que para incentivar el desarrollo de sistemas CCHP con base en biogás de manera próspera en regiones rurales donde los residuos orgánicos son abundantes, se necesitan mejorar las políticas relevantes para romper las barreras financieras inherentes de estas tecnologías que son costosas, y que el gobierno adopte incentivos como el subsidio del precio de la electricidad e inversión directa en este tipo de proyectos.

Anaya et al. (2022) realizaron una caracterización de la fracción orgánica de los residuos en Ciudad de México y se evaluaron dos casos de estudio para la aplicación de la producción de biogás a través del proceso de la digestión anaerobia. El caso 1 consideró la obtención del biometano, mientras que el caso 2 involucró la cogeneración de energía

eléctrica. Los resultados en ambos casos demostraron que los procesos no son financieramente viables, a menos que se consideren subsidios o incentivos del Gobierno.

Sodri y Septriana (2022) publicaron un estudio donde se medía la mitigación del impacto de los gases de efectos de invernadero de la producción del POME (en español Efluente de Fabricación de Aceite de Palma) a través de su aprovechamiento para la generación de biogás en Indonesia, así como sus beneficios económicos. Los resultados del estudio de la planta de biogás a partir del POME, enfocado en la isla de Bangka, evidenciaron un VPN negativo y un periodo de repago de 10.8 años. El estudio finaliza concluyendo que, de haber intervención del gobierno, el uso de las plantas de biogás a partir del POME se podría aplicar a más extractoras de palma en Indonesia.

Finalmente, Anyaoha y Zhang (2022) efectuaron un estudio técnico-económico de transición de gasolina diésel a biogás, producto de la digestión anaerobia del efluente del aceite de palma POME en una extractora de palma de aceite en Nigeria. Las dos opciones se contrastan en los resultados del Valor Presente Neto (VPN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y Periodo de Repago. Aunque las dos opciones resultan en VPN positivo, la energía diésel tiene una mayor TIR y un menor periodo de repago. Esto demuestra que la opción convencional se desempeña mejor económicamente. Sin embargo, si el sistema de biogás obtiene beneficios como un incentivo del 100% de su inversión inicial y exenciones tributarias en los primeros cuatro años de operación, la TIR puede igualar la del sistema a base de diésel y tener un VPN mayor, haciendo el sistema a base de biogás más competitivo.

3. Marco de referencia conceptual

El sector energético se refiere a todas las actividades económicas relacionadas con el uso de recursos renovables y no renovables para la producción, entrega y consumo de energía en sus diferentes formas, ya sea la electricidad, el calor o la energía a base de combustibles. Yépez et al. (2016) incluyen la optimización del uso de la energía a través de la eficiencia energética. A su vez, la Ley 1715 de 2014 define la eficiencia energética como "la relación entre la energía aprovechada y la total utilizada en cualquier proceso de la cadena energética, que busca ser maximizada a través de buenas prácticas de reconversión tecnológica o sustitución de combustibles" (Ley 1715 de 2014, p. 3).

En la misma Ley 1715 de 2014 se establece que los incentivos tributarios son las reducciones en cargas impositivas para ingresos obtenidos que benefician a los contribuyentes, cuyas actividades estén en línea con las políticas impulsadas por el Estado. Para el caso de Colombia, el Ministerio de Minas y Energía a través de la Unidad de Planeación Minero Energética UPME, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) y la Agencia de Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID), unieron esfuerzos para convocar e invitar a empresarios e inversionistas a apostar por las energías renovables y beneficiarse por los distintos descuentos tributarios contenidos en la Ley 1715 de 2014 (UPME, 2014).

El biogás es el producto de la degradación biológica de la biomasa realizado por un proceso conocido como la Digestión Anaeróbica (TECSOL, 2018). Este proceso se puede utilizar en sectores como el porcícola, el agrícola y en extractoras de aceite de palma. Una planta de biogás pretende resolver la gestión de desechos, aprovechando tanto la energía generada por un biodigestor como el efluente líquido que se maneja como un biofertilizante, bajo ciertas condiciones controladas. La digestión anaerobia o anaeróbica es un proceso de degradación biológica que utiliza microorganismos para biodegradar la materia orgánica en ausencia del oxígeno y produce una mezcla de gases (biogás), compuesto principalmente por metano y dióxido de carbono.

Según la Ley 1715 de 2014, "la energía de la biomasa es la energía obtenida de fuente no convencional de energía renovable que se basa en la degradación espontánea o inducida de cualquier tipo de materia orgánica que ha tenido su origen inmediato como consecuencia de un proceso biológico y toda materia vegetal originada por el proceso de fotosíntesis (…)" (Ley 1715 de 2014, p. 4).

Así mismo, el efluente del proceso de extracción de aceite de palma africana (POME por sus siglas en inglés), es generado luego que el agua con vapor caliente que se utiliza para ablandar la cáscara de la fruta de la palma de aceite africana se vierta en las piscinas. Sodri y Septriana (2022) indican que el POME es la parte grasa que queda en la superficie y del cual se extrae aceite para convertirlo en biocombustible o biogás. El POME se ha convertido en un residuo controversial en la industria, ya que genera preocupaciones en su impacto a largo plazo en la desforestación.

4. Caso de estudio

Este trabajo de investigación realiza un análisis de viabilidad financiera de una planta generadora de energía a partir del biogás, cuyos insumos están compuestos por los residuos orgánicos que produce una extractora de aceite de palma. Para este fin, se hará un estudio del potencial generador de residuos de un cultivo de palma de cera africana en Colombia en la región de Santander, tomando como punto de referencia la planta extractora de aceite Vizcaya en Puerto Wilches.

Posteriormente, se analizará la sensibilidad de la viabilidad financiera adaptando el modelo a los posibles incentivos tributarios a los que podría acceder según la Ley 1715 de 2014. Se espera que los indicadores de rentabilidad y retorno de la inversión mejoren considerablemente al aplicar los incentivos, comparados con el escenario base.

Se selecciona el sector palmero por la presencia del cultivo en aproximadamente 70% del territorio nacional, estimado en 595.722 hectáreas sembradas en el 2021. El Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2021) señala que este sector tiene un gran potencial, dado que, de las 69 plantas extractoras de aceite de palma y palmiste crudo que había en Colombia a finales del 2021, solo 6 aprovecharon los residuos como materia orgánica.

5. Supuestos de Modelación

5.1 Estimación de producción de residuos POME

Para el 2021 el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2021) señaló que en el departamento de Santander se produjeron 500.023 toneladas de aceite de palma, con un área total de 169.876 hectáreas. Esto es un promedio de casi 3 toneladas de aceite de palma por hectárea. Con base en el trabajo de Peña y Lara (2022), se toma el caso puntual de la planta extractora de aceite de palma Vizcaya en Puerto Wilches (Santander), la cual produce fruto en 2.000 Hectáreas de palma y se estima que se puede producir entre 2.5 y 3.8 toneladas de residuos de POME durante el procesamiento industrial de cada tonelada de aceite de palma crudo. Tomando un promedio de 3.15 toneladas de POME por tonelada

de aceite de palma, se estiman que 18.544 toneladas de POME se pueden producir al año para utilizar como insumos en la producción de biogás a base de este residuo.

5.2 Diseño de la planta de biogás

Tomando como guía el capítulo de Aggarangsi et al. (2023) del libro de *Tecnología de Biogás en el Sureste Asiático* (donde se realizó el diseño de una planta de biogás a base del efluente POME de una extractora de palma en Tailandia), se tienen los siguientes supuestos de inversión y operación:

Tabla 1. Costo de Capital para construcción y equipamiento de digestor

Número	Equipo	Cantidad	Costo unitario ($)	Costo Total ($)
1	Sistema de conducción del POME (POME piping system)	1	76.000	76.000
2	Laguna de recolección (Collection pond)	1	31.000	31.000
3	Laguna de enfriamiento (Cooling pond)	1	22.000	22.000
4	Sistema de conducción de Biogás (Biogas piping system)	1	91.000	91.000
5	Cuarto de control eléctrico (Electrical control room)	1	258.000	258.000
6	Edificio de generación y cuarto de control (Generator building and control room)	1	243.000	243.000
Costo total de construcción para el digestor principal y auxiliares (Total construction cost for main digester and auxiliaries)				721.000
7	Sistema de generación (Generator set)	2	607.000	1.214.000
8	Equipo de alto voltaje y conexión a la red (High voltage electrical equipment and grid connection)	1	455.000	455.000
9	Sistema de medición y control de calidad del gas (Biogas y metering and gas quality measurement)	1	76.000	76.000
10	Sistema de bombeo de POME (POME pump)	2	28.000	56.000
11	Bomba de recirculación de lodos (Sludge recirculation pump)	12	8.000	96.000
12	Bomba de drenaje de lodos (Sludge drainage pump)	2	19.000	38.000
13	Soplador de Biogas (blower)	2	31.000	62.000

14	Tea de Biogas (flare)	1	107.000	107.000
15	Sistema de monitoreo general de la planta (Plant monitoring system)	1	61.000	61.000
16	Biodepurador (Bioscrubber)	1	237.000	237.000
17	Costos de arranque de operación (Start-up operation cost)	1	31.000	31.000

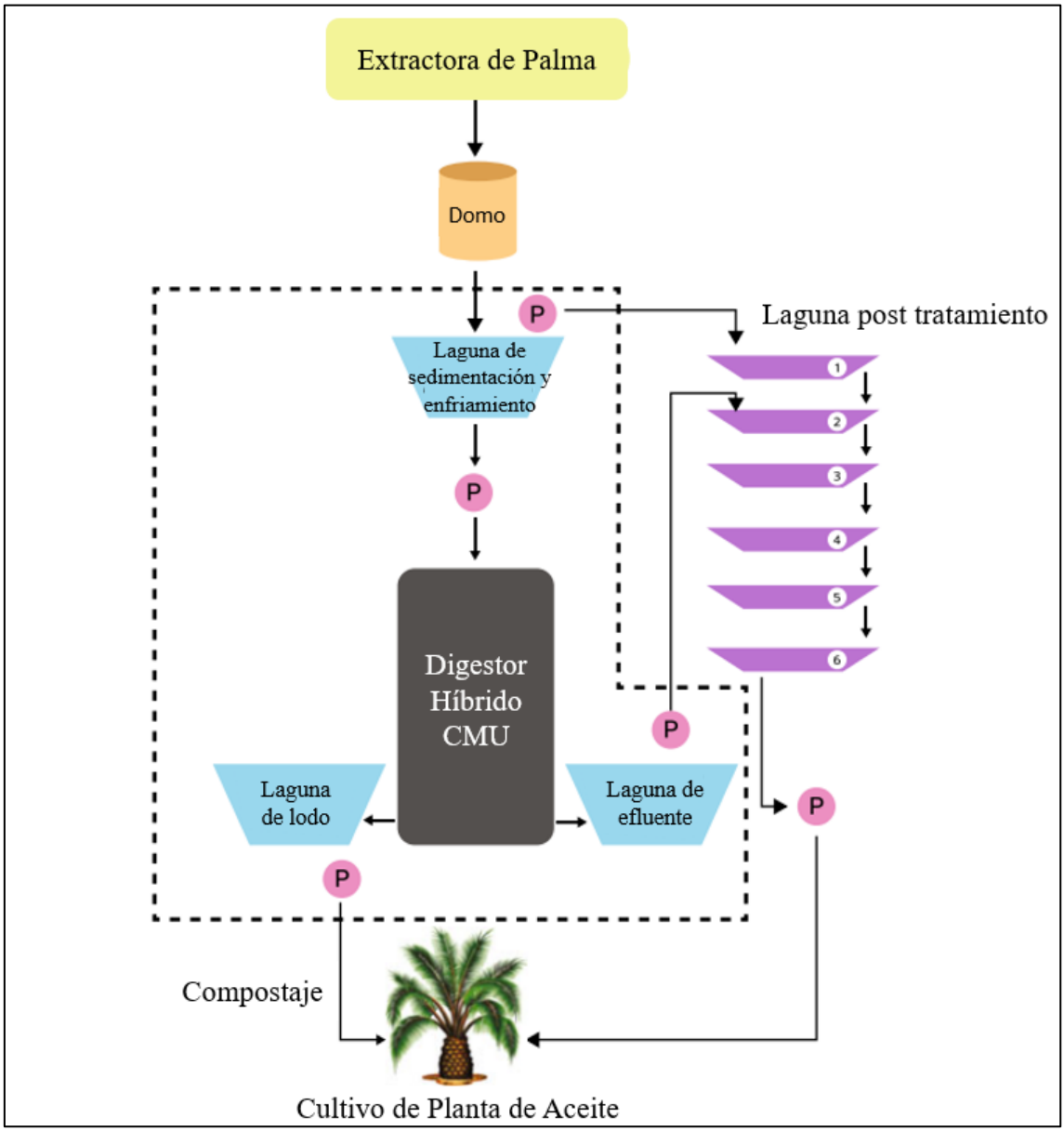
Fuente: Aggarangsi et al. (2023)

Tailandia es el tercer productor más grande del mundo de aceite de palma y es uno de los líderes más prominentes en la tecnología del biogás. Tiene un clima parecido a Colombia en sus niveles cercanos al mar, por lo que la temperatura del digestor no tiene que ser controlada y puede producir biogás a lo largo de todo el año.

El residuo POME usualmente contiene altos niveles de grasa y aceite, el cual es extraído de la planta extractora a temperaturas de hasta 90°C. Es así como, Aggarangsi et al. (2023) plantean que el POME tiene que ser tratado a través de trampas de grasa y lagunas de enfriamiento en el proceso de pretratamiento. Posterior a eso, el agua residual es alimentada paralelamente a digestores anaeróbicos CMU híbridos, los cuales han sido diseñados basados en el concepto de lagunas digestoras, pero han sido modificadas con bombas internas para la mezcla y circulación de los efluentes.

Previo a su utilización, el biogás debe ser purificado a mayor profundidad al pasar por las unidades de pretratamiento. La primera de ellas es un biodepurador que biológicamente convierte el ácido sulfhídrico (H_2S) en sulfuro elemental, ya que la mayoría de maquinaria para biogás requiere que los niveles de H_2S sean menor a 200 partes por millón. Por último, Aggarangsi et al. (2023) aclaran que debe ser un secador de gas el utilizado para remover las partículas y humedad del flujo del biogás. El flujo del proceso de la digestión se puede apreciar en la ilustración 1.

Ilustración 1. Flujos de ingreso y salida de digestor



Fuente: Aggarangsi et al. (2023)

Se estima que la planta de biogás puede operar 16 horas al día durante 300 días al año. Se asume un alquiler de 2.2 Hectáreas pagado a la compañía extractora de aceite de palma para instalar la planta cerca a los efluentes líquidos. La planta tiene la capacidad de producir 16.000 m^3 de biogás en el año, la cual equivale a ahorrar 41.627 toneladas de CO_2/año, pero en la práctica realmente la mitigación de los Gases de Efecto Invernadero es de 41.627 ton CO_2/año, debido a las temporadas de producción de aceite de palma. Según esta proporción, se considera un 68.9% de esa producción de biogás en el modelo

financiero. En cuanto a mano de obra, se requiere un ingeniero jefe de tiempo completo y 3 operarios para operar la planta, con los detalles de su salario descritos en la siguiente tabla:

Tabla 2. Detalle de Mano de Obra

Mano de Obra	Cantidad	Salario + Prestaciones por persona
Ingeniero de planta	1	6.691.600
Operario	3	3.345.800

Fuente: Elaboración propia, 2023. Cifras en pesos.

5.3 Cálculo de los ingresos

La planta de biogás generará ingresos por la venta de la energía eléctrica producida a partir del biogás generado al mercado no regulado de energía. La capacidad total de generación de biogás en la planta es de 16.000 m^3 de biogás, que tiene una ratio de conversión a electricidad de 2.2 KWh/m3. Esto equivale a 35.200 kWh/día o 10.560.000 KWh/año.

Esta es la capacidad teórica, pero en casos aplicados y dado que la planta depende del suministro de insumos de POME que pueden variar según la cosecha de los cultivos en el año, se toma un 68.9% de la capacidad total de producción. Por lo tanto, se asume que la planta producirá 7.280.659 KWh/año. El precio de venta a la red de energía se tomó del promedio de venta para el mes de Abril 2023 del mercado no regulado de energía de 273.2 COP/KWh (ENEL, 2023).

Por otro lado, la Resolución CRA 720 de 2015 permite el cobro por el manejo y disposición de los residuos en sitio alternativo o disposición a relleno sanitario, por lo que se toma el valor de disposición de 32.000 COP por tonelada, valor de disposición del relleno sanitario de Bucaramanga, capital de Santander ("Resolución CRA 720," 2015). El modelo es proyectado a 10 años para analizar los resultados desde la fase de construcción y puesta en marcha, hasta que tenga una madurez suficiente y resultados estables.

La cuantificación de los ingresos según estas especificaciones e indexados en años posteriores a las proyecciones de inflación se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3. Cálculo de ingresos operacionales planta biogás

Año	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Ingresos Operacionales	2.782	2.874	2.969	3.067	3.168	3.273	3.381	3.492	3.608	3.727
Energía Eléctrica a la red	2.143	2.214	2.287	2.362	2.440	2.521	2.604	2.690	2.779	2.870
Disposición de Residuos	639	660	682	705	728	752	777	802	829	856

Fuente: Elaboración propia, 2023. Cifras en COP miles.

5.4 Línea de tiempo del proyecto

La creación de una planta de biogás que genere energía eléctrica no solo tiene un alto componente de inversión inicial; también requiere de más de un año de preparación para su puesta en marcha. Entre la fase de ingeniería y consecución de licencias ambientales y de operación, el inicio de la fabricación de la maquinaria y su envío, y la preparación de la construcción de la obra civil donde se alojará el digestor, transcurre más de un año.

En la siguiente tabla se detallan las fases del proceso de preparación de la planta de biogás y su línea de tiempo asumiendo un inicio en enero del 2024:

Tabla 4. Línea de tiempo Proyecto Biogás

Proceso	**Fecha Inicio**	**Duración (meses)**
Inicio de Ingeniería y Licencias	01/01/2024	1
Inicio Fabricación	01/02/2024	2
Compras y Envío	01/04/2024	1
Movimiento tierras y obra civil	01/08/2024	5
Montaje y Puesta en Marcha	01/01/2025	5
Inicio Operación y Mantenimiento	01/06/2025	120

Fuente: Elaboración propia, 2023.

5.5 Costo Promedio Ponderado de Capital (WACC)

El promedio ponderado del costo de capital, o WACC por sus siglas en inglés, es utilizada como tasa de descuento de los flujos de caja proyectados. Dicha tasa refleja el costo promedio después de impuestos y representa una rentabilidad mínima aceptable de los fondos que genera la empresa en su operación.

El WACC se calcula siguiendo la siguiente ecuación:

$$WACC = K_E \frac{E}{E+D} + K_D(1-\tau)\frac{E}{E+D}$$

Donde:

WACC: Costo de Capital Promedio Ponderado

K_E: Costo de oportunidad de los accionistas.

E: Valor del Capital aportado por los accionistas

D: Valor de la deuda financiera

K_D: Costo de la deuda financiera

τ: Tasa de Impuestos

Para efectos de este estudio, se construyó una tasa de descuento que refleja la mezcla de recursos que resulta de la estructura de financiación propia de la operación de la planta objeto de este análisis.

Tabla 5. Estimación Costo de Capital y Fuentes

Variable	Fuentes	Valores a junio 2023
Tasa Libre de Riesgo – US Treasury Bonds 10 años	Treasury.gov	3.75%
Prima de Mercado	Damodaran Risk Premium Stocks – T.Bills 1973 - 2022	7.33%
Beta Desapalancado	Damodaran Utiliy (General) Global	1.46
Razón D/E	Cálculos Propios	0.97
Tasa de Impuestos	KPMG	35%

Beta Apalancado	Cálculos Propios	2.38
Riesgo País	EMBIG Colombia	3.64%
Costo del Capital (USD)	Cálculos Propios	**24.8%**
Devaluación COP-USD – Prom. Largo Plazo	Dif. Inflación	-0.6%
Costo del Capital (COP) – Prom. Largo Plazo	Cálculos Propios	**24.1%**
Costo de Deuda	Financiación del Proyecto	9.0%
Costo de la Deuda Neta - Kd (COP)	Cálculos Propios	**5.85%**
WACC (COP - Nominal) – Prom. Largo Plazo	Cálculos Propios	**15.13%**

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Como se puede evidenciar de la anterior tabla, la rentabilidad mínima aceptable de los fondos que genera la planta de biogás es de 15.13%, y será este el punto de referencia para comparar la Tasa Interna de Retorno (TIR) que genera el proyecto con los supuestos calculados para el modelo. Por debajo de esta rentabilidad, se considera el proyecto inviable en Colombia.

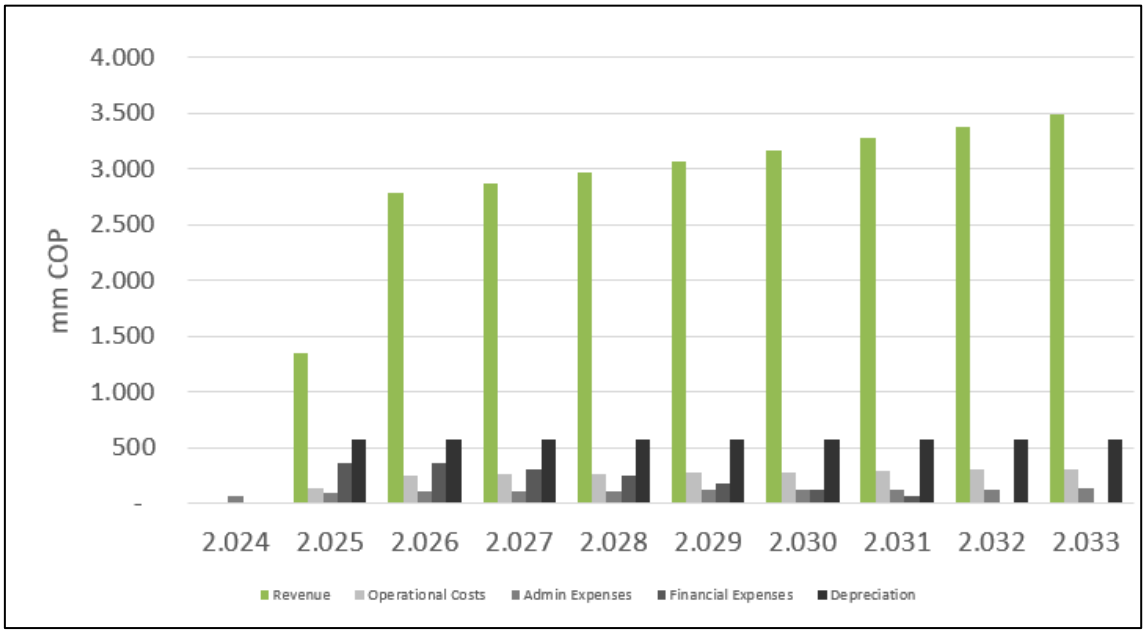
6. Resultados

Inicialmente se realizó la modelación financiera y de resultados para el escenario base, donde no se evidencia ningún beneficio o subvención tributaria. Como se puede apreciar en la ilustración 2, las ganancias comienzan a aparecer en el segundo año desde el inicio del proyecto, debido a que el primer año y medio solo hay costos de inversión y gastos de operación, mientras se materializan las ganancias por venta de energía a la red y disposición de residuos orgánicos.

A partir del año 3, los ingresos se materializan en su totalidad, y a lo largo de la proyección se van ajustando ingresos, costos y gastos a la indexación por inflación según las proyecciones a futuro. De haber beneficio tributario en el proyecto, éste no podría ser aprovechado en el primer año del proyecto al no obtener utilidades positivas.

Es importante anotar que se tomó una tasa de cambio de 4.200 COP por USD que se tenía al momento de realizar esta valoración del proyecto.

Ilustración 2. Resultado operacional de Planta Biogás en escenario sin incentivos

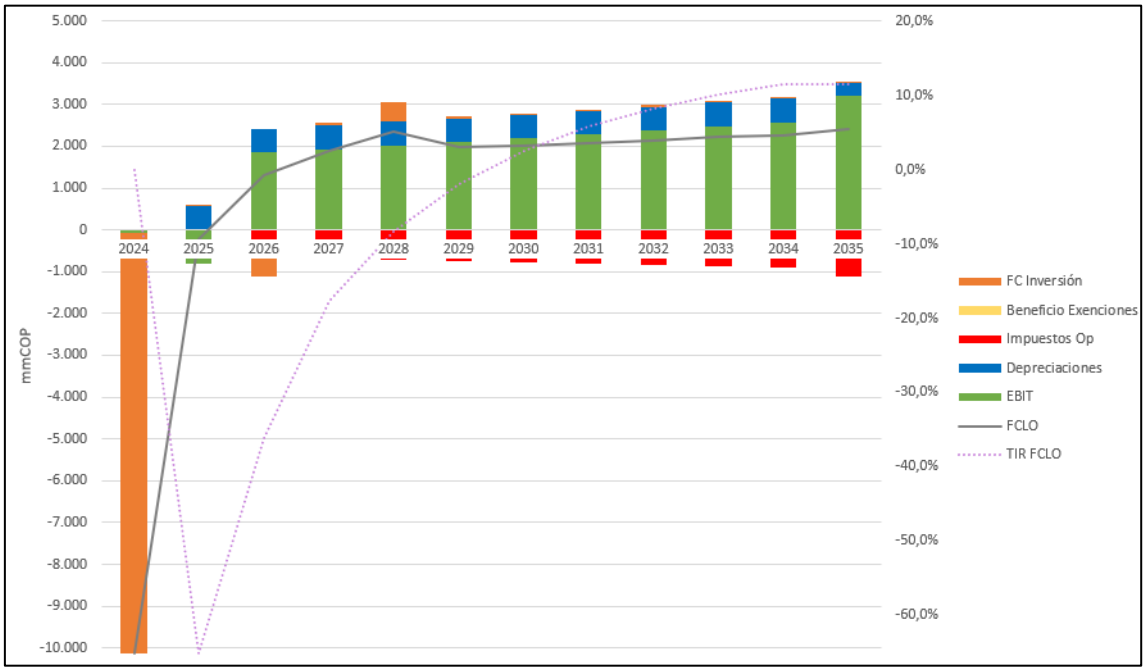


Fuente: Elaboración propia, 2023.

Como se puede apreciar en la primera ilustración, este es un proyecto con poca concentración de gastos de operación y costos variables. Esto se debe en parte a la inversión en maquinaria especializada que requiere poco mantenimiento y mano de obra para su operación. Por otra parte, también influye que el proyecto no tiene costos de insumos, ya que los insumos requeridos para la degradación del biogás entran al modelo financiero como un ingreso en forma de disposición de residuos orgánicos.

Lo que más requiere este proyecto es inversión de capital inicial para materializarse, como se muestra en la próxima ilustración 3.

Ilustración 2. Flujo de Caja Operativo escenario sin beneficios

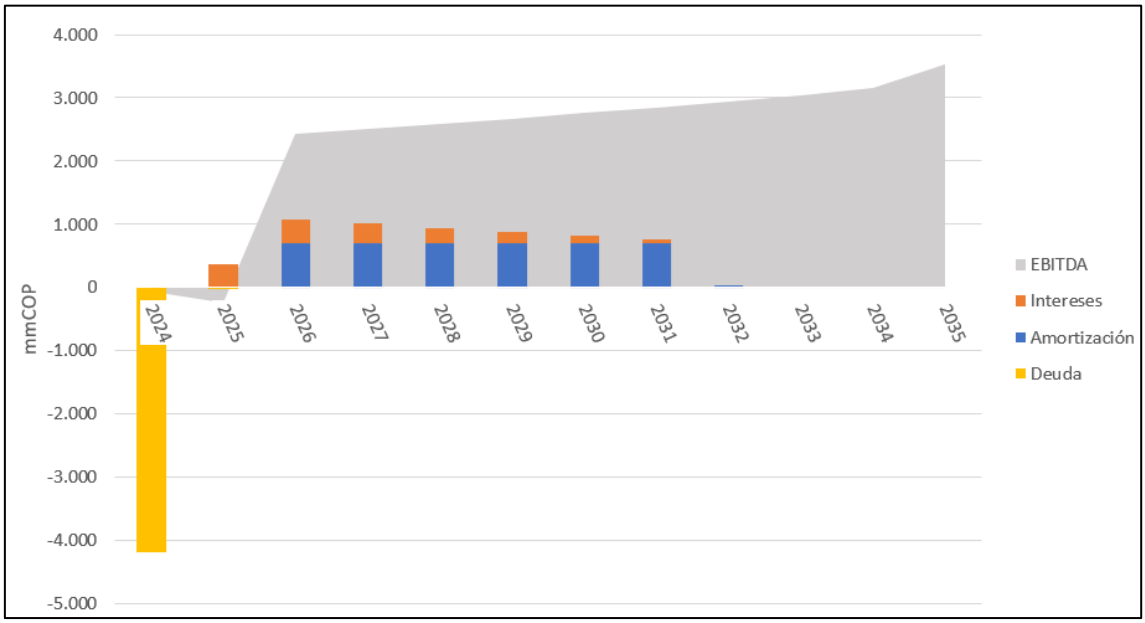


Fuente: Elaboración propia, 2023.

El resultado del escenario sin incentivos tributarios ofrece una TIR del 11.51% y un VPN de -1.586 mCOP, lo que se traduce en una recuperación de la inversión de 8 años. Al ser un proyecto de alta inversión, los resultados están altamente condicionados a los parámetros de financiación que se puedan lograr para fondear el proyecto.

Una buena negociación y acceso a financiamiento puede significar una rentabilidad y periodo de repago más positivos, pero depende de las facilidades con la que pueda contar el país en temas de inversión o la posibilidad de acceder a financiamiento externo con tasas de interés asequibles. En estos escenarios se trabajó con deuda a 7 años con un año de gracia y un 60% de inversión por *equity*; el capital restante se financió con deuda de terceros. En la siguiente ilustración se muestra el detalle del flujo de caja para el servicio de la deuda:

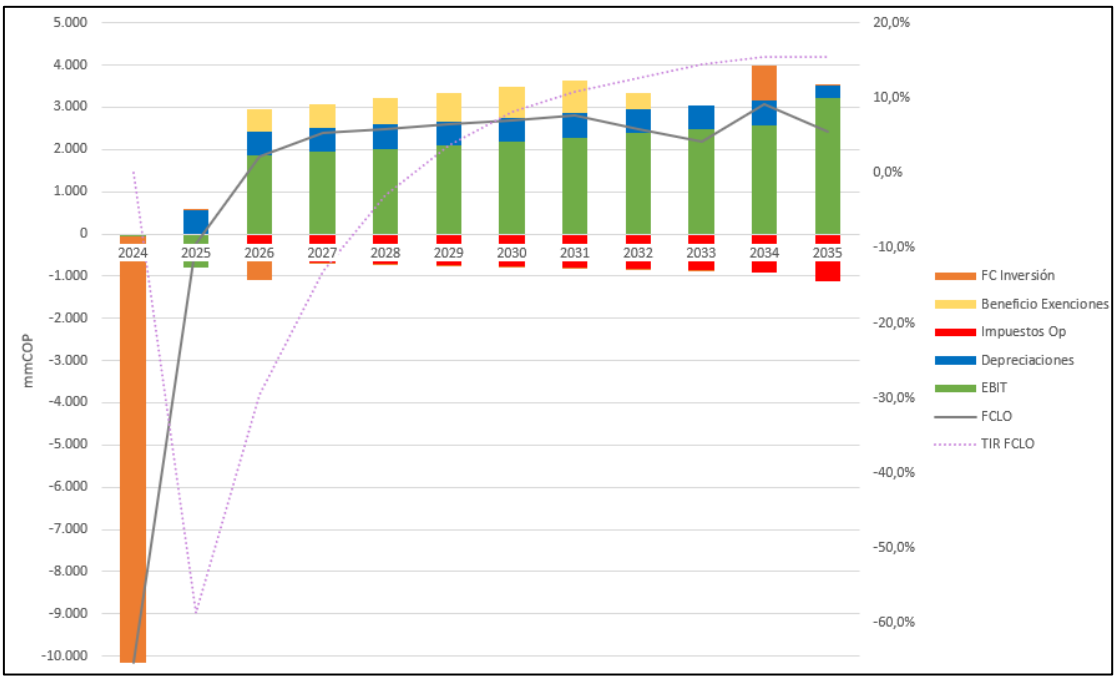
Ilustración 3. Flujo de Caja del Servicio de la Deuda



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Para un segundo escenario, se modelaron los resultados financieros de la planta de biogás con la deducción especial de renta de la Ley 1715 de 2014, resultando en una TIR del 15.5% y un VPN positivo de 484 mCOP, como puede verse en la Ilustración 5:

Ilustración 4. Flujo de Caja operativo escenario con descuento tributario

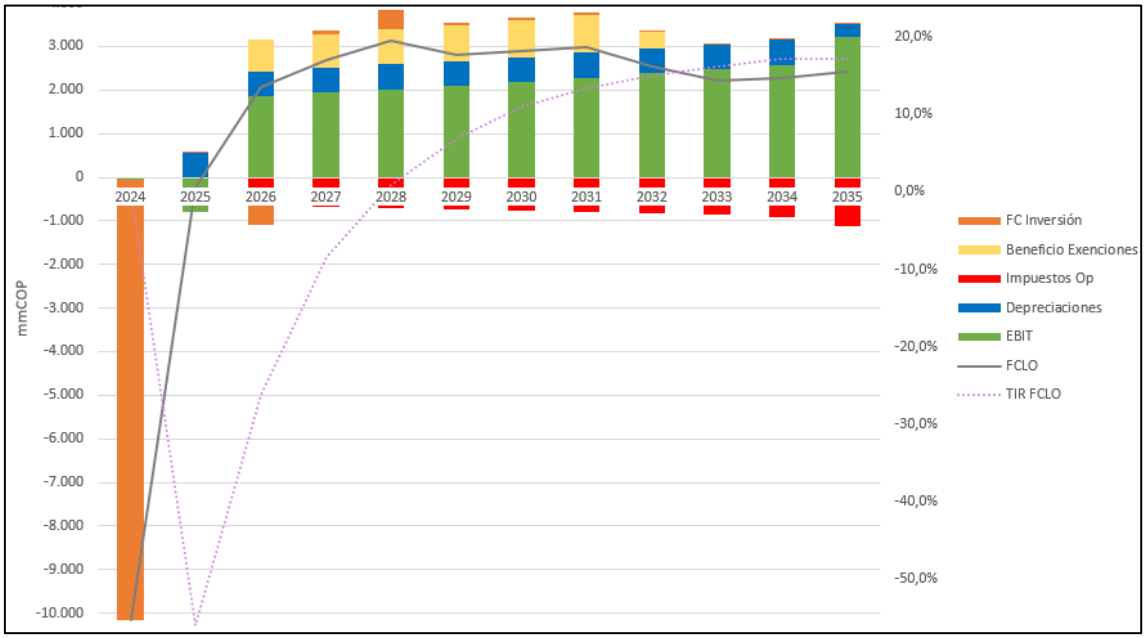


Fuente: Elaboración propia, 2023.

Aunque este escenario vuelve financieramente viable el proyecto, los primeros años de pérdidas operacionales de la planta de biogás resultan en que no se pueda aprovechar el 100% de esta deducción. Este es una dificultad común con este tipo de exenciones tributarias, ya que la magnitud del beneficio está relacionado a la capacidad de generar utilidades positivas (y a su vez renta líquida) del proyecto al que beneficia.

Por lo tanto, se modeló un último escenario donde se titularizan (traspasan) estos beneficios tributarios a un inversionista supuesto, con renta líquida mucho más grande que la que pueda generar el proyecto. Este escenario resulta en una TIR del 17.2% y un VPN positivo de 1.316 mCOP. Estos resultados se esquematizan en la ilustración 6:

Ilustración 5. Flujo de Caja Operativo con beneficios titularizados a inversionista



Fuente: Elaboración propia, 2023.

7. Conclusiones

Como puede evidenciarse en la tabla 4, el resultado de la factibilidad financiera de la planta de biogás en el escenario base, conlleva a una TIR menor al costo promedio de capital ponderado calculado en el apartado anterior. El Valor Presente Neto es negativo, lo que significa que le hace perder al inversionista del proyecto 1.586 mCOP, y tiene un periodo de recuperación de la inversión de 8 años. Este periodo de recuperación de la

inversión no es competitivo en Colombia y puede presentar problemas para captar la atención de inversionistas interesados.

Cuando se aplica el descuento tributario establecido por la Ley 1715 de 20214, impacta positivamente en los resultados financieros, haciendo que la TIR del proyecto de 15.5% exceda por pocos puntos básicos la tasa mínima de rentabilidad del proyecto (15.13%), genera un VPN positivo de 484 mCOP y disminuye en 1 año el periodo de recuperación. Este impacto no es tan grande dado que los primeros dos años de la planta tiene utilidad negativa por los tiempos de construcción y puesta en marcha de la planta, por lo que solo se alcanza a aprovechar un 81% de los incentivos en el periodo de tiempo de proyección de la planta.

Tabla 6. Ventaja Fiscal Aprovechada deducción tributaria de proyecto de biogás

Potencial Ventaja Fiscal Sobre Renta Líquida a Aprovechar	15.093
Potencial Desc. En Impuestos a Aprovechar	5.283
Renta Líquida aprovechada por	12.213
Desc. en Impuestos aprovechado por	4.274
Aprovechamiento en descuento de impuestos [%]	81%

Fuente: Elaboración propia, 2023. Cifras en COP miles.

Finalmente, como último escenario, se consideró la posibilidad de titularizar los incentivos tributarios generados por la planta de biogás a un inversionista potencial que sea capaz de aprovechar el 100% de los descuentos del impuesto de renta. Esto se puede lograr si el inversionista tiene utilidades positivas y base de renta gravable suficientemente grande al momento de la inversión del capital. De esta manera, se pueden aprovechar los descuentos en la renta desde el primer momento. El impacto positivo de los resultados es mayor, con una TIR del 17.2% y un VPN significativamente más positivo de 1.316 mCOP, y la reducción del payback a 6 años.

Tabla 7. Tabla de sensibilidad a incentivos tributarios

Beneficiario	Escenario	Detalle	TIR	VPN	Payback
Proyecto Planta Biogás	**Base**		11.51%	-1.586 mCOP	8 años

Proyecto Planta Biogás	**Deducción especial artículo 11 Ley 1715 de 2014**	Deducción de renta en un periodo no mayor de 15 años del 50% del total de la inversión realizada. Artículo 11 Ley 1715 de 2014.	15.5%	484 mCOP	7 años
Inversionista	**Deducción especial artículo 11 Ley 1715 de 2014**	Titularización del incentivo tributario al inversionista de la planta de biogás. Deducción de renta en un periodo no mayor de 15 años del 50% del total de la inversión realizada. Artículo 11 Ley 1715 de 2014.	17.2%	1.316 mCOP	6 años

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Esta investigación evidencia que la inversión necesaria para un proyecto de generación de energía a partir de biogás en Colombia es alta. Los precios de venta de la energía en Colombia no son suficientes para hacer de un proyecto de estas magnitudes financieramente viable. Es necesario contar con los diferentes incentivos tributarios que ofrece el Gobierno colombiano para lograr rentabilidad aceptable a los ojos de un inversionista.

Sería ideal que investigaciones a futuro se puedan concentrar en el impacto financiero de plantas generadoras de energía a partir del biogás con otro tipo de incentivos, como el subsidio del precio de la electricidad en este tipo de proyectos, que ya ofrecen gobiernos de otros países a esta clase de proyectos.

Referencias

Aggarangsi, P., Koonaphapdeelert, S., Nitayavardhana, S., & Moran, J. (2023a). *Biogas Technology en Southeast Asia*. Springer.

Aggarangsi, P., Koonaphapdeelert, S., Nitayavardhana, S., & Moran, J. (2023b). Designing a Biogas Plant—Case Study. In *Green Energy and Technology* (pp. 161-171). https://doi.org/10.1007/978-981-19-8887-5_8

Anaya-Reza, O., Altamirano-Corona, M. F., Castelán-Rodríguez, G., García-González, S. A., & Durán-Moreno, A. (2022). Techno-Economic and Environmental Assessment for Biomethane Production and Cogeneration Scenarios from OFMSW in Mexico [Article]. *Waste and Biomass Valorization*, *13*(2), 1059-1075. https://doi.org/10.1007/s12649-021-01592-x

Anyaoha, K. E., & Zhang, D. L. (2022). Transition from fossil-fuel to renewable-energy-based smallholder bioeconomy: Techno-economic analyses of two oil palm production systems [Article]. *Chemical Engineering Journal Advances*, *10*, Article 100270. https://doi.org/10.1016/j.ceja.2022.100270

Benato, A., & Alarico, M. (2019). Italian Biogas Plants: Trend, Subsidies, Cost, Biogas Composition and Engine Emissions [article]. *Energies*, *12*(6), 979-979. https://doi.org/10.3390/en12060979

Copeland, T. E., Weston, J. F., & Kuldeep, S. (2014). *Financial Theory and Corporate Policy* (4th ed ed.). Person Education.

ENEL. (2023). *Tarifas de energía*. Estatuto Tributario Nacional, Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales, 255 Cong. Rec. 933. https://estatuto.co/page/133

LEDS LAC. (2021). *De la práctica a la política: análisis de las barreras a la inversión en biogás en Colombia y las medidas para abordarlas, a partir de la experiencia de los desarrolladores y otros actores relevantes. Informe Final*. https://ledslac.org/wp-content/uploads/2021/08/Informe-final-biogas-Colombia-v.06082021-final.pdf

Ley 1715 del 13 de Mayo 2014. Congreso de Colombia (2014). Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético.
https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=57353 nacional.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2021). *Cadena de Palma de Aceite: Indicadores e Instrumentos*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural Retrieved from https://sioc.minagricultura.gov.co/Palma/Documentos/2021-06-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf

Peña, O., & Lara, L. (2022). Evaluación del tratamiento del efluente de la palma de aceite (POME) en el proceso de extracción en la planta Extractora Vizcaya S.A.S. [Trabajo de grado especializado]. *Universidad de Antioquia*.

Resolución CRA 720 (2015). *Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico.* https://normas.cra.gov.co/gestor/docs/resolucion_cra_0720_2015.htm

Sodri, A., & Septriana, F. E. (2022). Biogas Power Generation from Palm Oil Mill Effluent (POME): Techno-Economic and Environmental Impact Evaluation [Article]. *Energies*, *15*(19), Article 7265. https://doi.org/10.3390/en15197265

TECSOL. (2018). *Estimación del potencial de conversión a biogás de la biomasa en Colombia y su aprovechamiento*. UPME.

UPME, U. d. P. M. E. (2014). *Guía práctica para la aplicación de los incentivos tributarios de la Ley 1715 de 2014*. https://www1.upme.gov.co/: UPME Retrieved from https://www1.upme.gov.co/Documents/Cartilla_IGE_Incentivos_Tributarios_Ley1715.pdf

Yépez, A., Levy, A., & Valencia, A. (2016). *El sector energético: Oportunidades y desafíos*. B. I. d. Desarrollo. https://publications.iadb.org/publications/spanish/viewer/El-sector-energ%C3%A9tico-Oportunidades-y-desaf%C3%ADos.pdf

Zhang, D., Zhang, B., Zheng, Y., Zhang, R., Liu, P., & An, Z. (2021). Economic assessment and regional adaptability analysis of CCHP system coupled with biomass-gas based on year-round performance [Article]. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, *45*, Article 101141. https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101141