



FACULTAD DE INGENIERÍA
Carrera de **INGENIERÍA AMBIENTAL**

“IMPACTO AMBIENTAL DEL CICLO DE VIDA DE
LA PRODUCCIÓN DE ETANOL A PARTIR DE
RESIDUOS AGROINDUSTRIALES EN UNA
PLANTA PILOTO – 2021”

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERA AMBIENTAL

Autor:

Aracelly Patricia Retamozo Polo

Asesor:

M. Sc. Marieta Eliana Cervantes Peralta

<https://orcid.org/0000-0001-9405-7048>

Lima - Perú

2023

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Irma Geralda Horna Hernández	40317442
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	Margeo Javier Chuman López	45997406
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Carlos Alberto Alva Huapaya	06672420
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

IMFORME DE SIMILITUD

Tesis completa

INFORME DE ORIGINALIDAD

14%

INDICE DE SIMILITUD

14%

FUENTES DE INTERNET

9%

PUBLICACIONES

9%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

ENCONTRAR COINCIDENCIAS CON TODAS LAS FUENTES (SOLO SE IMPRIMIRÁ LA FUENTE SELECCIONADA)

21%

★ hdl.handle.net

Fuente de Internet

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Apagado

DEDICATORIA

La presente investigación es dedicada a Dios que día a día me protege y da fuerzas necesarias para forjar mis logros. Además, a mi familia, por el apoyo incondicional en mi formación profesional.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Privada del Norte por fomentar la investigación en los estudiantes, la nueva generación de profesionales del país.

A nuestros docentes, que estos años nos han brindado conocimientos que fortalecieron nuestra formación profesional.

Tabla de contenido

JURADO EVALUADOR	2
IMFORME DE SIMILITUD	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
TABLA DE CONTENIDO	6
ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE FIGURAS	9
RESUMEN	10
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	11
1.1. Realidad problemática	11
1.2. Marco teórico	15
1.2.1. Residuos orgánicos	15
1.2.2. Bioetanol	16
1.2.3. Análisis de ciclo de vida	166
1.3. Justificación	177
1.3.1. Justificación	17
1.4. Formulación del problema	17
1.5. Objetivos	18
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	19
2.1 Tipo de investigación	19
2.2 Diseño	19

2.3 Población y muestra	19
2.4 Técnicas e instrumentos	20
2.4.1 Metodología ISO 14040:2006	20
2.5 Métodos de Análisis	22
2.6 Aspectos éticos	23
CAPÍTULO III: RESULTADOS	24
3.1 Determinación de impacto ambiental por procesos	24
3.2 Evaluación del impacto de ciclo de vida	27
3.3 Interpretación	28
3.4. Aplicación de la metodología ACV Norma ISO 14040:2006	29
3.4.1 Definición de objetivo y alcance	29
3.4.2 Inventario del ciclo de vida (ICV)	30
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	32
REFERENCIAS	35
ANEXOS	40

Índice de tablas

Tabla 1 Entradas y consumo energético por proceso	24
Tabla 2 Salidas y/o efluentes por proceso	25
Tabla 3 Resultado de acuerdo a categoría de impacto.....	26
Tabla 4 Definición de categorías de impacto.....	27
Tabla 5. Caracterización de residuos utilizados	28

Índice de figuras

Figura 1 Diagrama de bloques del proceso.....	30
---	----

RESUMEN

La producción de bioetanol, se ha convertido en una solución frente al problema de residuos agroindustriales y explotación de combustibles. Sin embargo, los procesos no están libres de pasivos ambientales como uso agua, vinazas y otros. El presente trabajo busca determinar los impactos ambientales de la elaboración de etanol con residuos agroindustriales en una planta piloto mediante el uso de la metodología del Análisis de Ciclo de Vida y normativa ISO 14040. Se divide en cuatro fases: En la fase 1 se define el objetivo y alcance, desde la transformación de la materia prima hasta la producción de etanol. En la fase 2 se efectúa el inventario de ingresos, efluentes y gasto de energía. En la 3 se analizan los resultados y se definen dos categorías de impacto: potencial de calentamiento global (GWP100) y el uso de recurso energético. En la fase 4, resaltamos el proceso de hidrólisis. Concluimos con una generación de alrededor de 615 Kg CO₂ eq y 8.06 MJ, siendo el mayor respecto a los otros procesos. Estos, comparados con la producción de otros carburantes, serían mayores, pero resaltamos la delimitación del alcance del proyecto y que se efectuó con los datos de una planta piloto.

PALABRAS CLAVES: Residuo orgánico, etanol, análisis de ciclo de vida.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

La actividad agroindustrial en el mundo afronta un problema muy importante en la actualidad por la generación de enormes cantidades de residuos orgánicos como consecuencia de su desarrollo; no obstante, se sabe hoy en día que este material, lejos de ser inútil, puede ser procesado con gran provecho para la industria como para el medio ambiente, pues ha demostrado tener un gran potencial en la transformación de esta biomasa (Vargas & Pérez, 2018, p.36).

Hoy, Brasil y Estados Unidos, por citar sólo algunos países, desarrollan proyectos exitosos que no dejan dudas de lo valioso que resultan los residuos agroindustriales para la producción de biocombustibles, siendo el más promovido el etanol, que se obtiene comúnmente de bagazo de caña de azúcar y almidón de maíz, y otros residuos orgánicos, pues sus altos contenidos de celulosa son eficientes para la obtención de este combustible orgánico (Medina et al, 2011, p.12).

En el Perú se producen alrededor de 19,000 toneladas de residuos sólidos cada día; el 54% son de tipo orgánico, pero del total, solo el 4% es aprovechado; el restante 96 % es destinado a rellenos sanitarios y botaderos (MINAM, 2018, p.3). Asimismo, empresas azucareras en el norte del Perú están utilizando con buenos resultados el bagazo de caña de azúcar en centrales térmicas y producción de etanol como complemento de la gasolina para uso propio de la empresa (MEM, 2018, p.6).

En el contexto nacional han sido implementadas políticas como la Ley N° 28054, promovida por el Ministerio del Ambiente, y el D.S. N° 013-2005- EM que establece los porcentajes para la mezcla de gasolina y biocombustibles, lo que coloca al Perú entre los países promotores de energías renovables (Hernández, 2019, p.29). Actualmente, se promueve la investigación en diversos centros de estudios, como en el Centro de Investigación en Química, Toxicología y Biotecnología Ambiental (CIQTOBIA) de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), donde, en vista de la problemática de la falta de aprovechamiento de residuos agroindustriales, han desarrollado una planta piloto de producción de etanol de segunda generación, G2, a partir de residuos agroindustriales de caña, arroz y maíz (UNALM, 2020, p.1).

En la bibliografía también podemos ver el uso del ciclo de vida para el análisis de impacto ambiental. Por ejemplo, en la investigación de Herrera et al. (2016, p.27) se utiliza el Análisis de Ciclo de Vida para definir los impactos de la obtención de etanol a partir de bagazo de caña de azúcar. Herrera et al (2016,p.29) compara dos categorías de impacto: el potencial de calentamiento global (GWP) y la demanda de energía acumulada, y concluye que la producción de etanol representa un 46 % de ahorro respecto de los combustibles fósiles. Además, sostiene que la producción de etanol presenta un menor impacto ambiental y se puede identificar procesos más eficientes para una mejor sustentabilidad.

También Bohórquez & Lugo (2012, p.19) determinan el impacto ambiental de la producción de etanol elaborando un inventario de emisiones de gases de efecto invernadero en base a las directrices del IPCC 2006 para cuantificar el impacto ambiental de la producción de etanol, con lo cual se determinan los procesos con mayor potencial de

emisión, y concluyen indicando que el uso de etanol, como sustituto de combustibles fósiles, podría ser una solución al deterioro del medio ambiente.

Asimismo, en la investigación de Pereira et al. (2019, p.18) evalúan los impactos ambientales de la producción de etanol con el uso complementario de herramientas como BioGrace, GH Genius y Greet en la producción de etanol a base de maíz como de trigo. El estudio proporciona, además, recomendaciones para promover la transparencia en los cálculos y suposiciones del Análisis del Ciclo de Vida en todas las herramientas utilizadas.

A su vez, Moritz et al. (2018, p.21) examinaron tres opciones de pre tratamiento de la materia prima para la elaboración de etanol mediante el Análisis del Ciclo de Vida. Los resultados indican que el etanol derivado del miscanthus resultó en menores impactos. Además, el producto elaborado en Stuttgart, Alemania, tiene potencial para cumplir con los requisitos de la directiva europea de energías renovables. También se encuentra que en la investigación Muñoz et al. (2012, p.23) evaluaron los impactos ambientales de la producción de etanol y su rendimiento frente a otros combustibles mediante el ACV, logrando generar un inventario de emisiones que demuestra que el rastrojo de maíz, usado en Estados Unidos, y la remolacha, en Francia, tienen menor impacto en emisiones de gases de efecto invernadero. Pero si se ven otros impactos, como el uso de tierra, el etanol de origen fósil será preferible.

Finalmente, en el estudio de Jiao et al. (2018, p.13), proponen una solución a los problemas energéticos y ambientales, ocurridos en China, mediante la evaluación del ciclo de vida asociado al desempeño del bioetanol desde una perspectiva ambiental, comparado con el uso de gasolina, y se determina que el etanol de yuca tiene un potencial significativo en cuanto al ahorro de energía y la reducción de emisiones.

No obstante, para entender mejor la importancia del etanol es útil precisar que, de acuerdo con Álvarez (2018, p.25), el etanol es una fuente energética muy importante al ser renovable, debido a que se produce a partir de biomasa. También indica que su uso contribuiría a la reducción del uso de combustibles fósiles.

Por otro lado, Barrientos (2017, p.32) indica que el bioetanol es un alcohol líquido compuesto de carbono, oxígeno e hidrógeno, con características de alto octano y cuenta con condiciones necesarias para ser mezclado con gasolina. Además, Navarro et al. (2012,p.19) menciona que es un biocombustible que facilita propiedades antidetonantes, por lo que optimiza el octano de la gasolina y es un efectivo sustituto del tetraetil y otros compuestos de los combustibles fósiles.

El aprovechamiento de los residuos orgánicos es de suma importancia porque su composición se puede aprovechar. Saval (2012 p.5) indica que las agroindustrias realizan actividades de producción, transporte o comercialización de productos agrícolas, pecuarios o forestales con el fin de crear alimentos o materias primas semielaboradas, como residuos de arroz, caña de azúcar, residuos de maíz, etc. Asimismo, los residuos de las agroindustrias son casi el 90.5% del producto. Estos, en su mayoría, son residuos sólidos, líquidos y gaseosos, razón por la cual se promueven opciones para su aprovechamiento, dándole un valor agregado para su valoración en compostaje y la industria de curtiembres (Cury et al. 2017, p.28).

Asimismo, Yepe et al. (2018, p.11) analiza las alternativas de valoración biológica y química de los residuos agroindustriales, indicando que el alto contenido de lignocelulosa en este tipo de residuo sería favorable para la producción de etanol

Pero para definir si este proceso sería más eficiente y renovable, la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA por sus siglas en inglés) define al análisis de ciclo de vida (ACV) como una metodología para la evaluación sistemática de los impactos ambientales que causa un producto desde la etapa inicial de su vida. Asimismo, con el uso de esta metodología se pueden cuantificar y caracterizar los diferentes impactos ambientales negativos, y realizar un inventario de los recursos utilizados durante la generación del producto, de manera que se podrá establecer estrategias de mitigación enfocadas a mejorar los procesos y optimizar recursos (Rivera, 2016,p.31).

De acuerdo con lo anterior, podemos deducir que la producción de etanol podría ser una solución a la disposición final de residuos agroindustriales. Asimismo, resaltamos que los métodos como el análisis de ciclo vida de un producto determinan realmente su impacto ambiental desde la obtención de la materia prima hasta el uso final que se le asigna (Herrera et al. 2015). Además, el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de la producción de etanol ya ha sido estudiado con esta técnica de evaluación de impacto ambiental en investigaciones científicas, por lo que está comprobada la veracidad y eficiencia de la metodología.

Por ello, la presente investigación pretende determinar el impacto ambiental del ciclo de vida empleando el "Ciclo de Vida" y su normativa según Norma ISO 14040:2006.

1.2. Marco teórico

1.2.1. Residuos orgánicos

Estos son elementos de origen animal y/o vegetal, las cuales se degradan rápidamente y transforman en materia orgánica la cual cuenta con propiedades físicas, químicas y biológicas que enriquecen los suelos. Asimismo, la aplicación de estos tendrá que ser estudiada para evitar que su impacto sea negativo. (Lett, 2014, p.17).

Por otro lado, la producción del etanol a base de residuos orgánicos se muestra como una solución ante los problemas energéticos y ambientales al ser renovable y su uso bajaría el consumo y explotación de los combustibles fósiles (Alvares, 2018, p 21).

1.2.2. Bioetanol

Su denominación bio es debido a su obtención de fuentes de biomasa vegetal, material con azúcares, hidratos de carbono, material fermentable, que contengan almidón, celulosa o hemicelulosas.

Desde inicios del siglo XX en especial en épocas de guerra, se empezó a emplear el etanol vegetal obtenido de caña de azúcar o de maíz en aditivo a gasolina en motores cuya combustión interna es de forma coyuntural. En Cuba se comercializó una mezcla de etanol y gasolina para automóviles llamada "Mofuco", de la empresa "Motor fuel Company". Asimismo, en Brasil a inicios desde los años 70, se comenzó un piloto de sustitución parcial de gasolina por etanol anhidro, pero tuvo altibajos por el precio del petróleo. La ventaja del uso de este combustible orgánico es la baja emisión de óxidos de nitrógeno y otros contaminantes de aire (Abril & Navarro, 2012, p.13).

1.2.3. Análisis de ciclo de vida

La metodología de ciclo de vida sirve para estudiar los impactos ambientales que se genera en la producción de un producto, proceso o actividad. Para realizar la identificación de estos existe la Normativa ISO 14040 la cual establece 4 etapas para la determinación de impactos, iniciando por la definición del alcance, realización de un inventario de balances de energía, evaluación de impactos y finalmente interpretación. (Vallejo, 2013, p.26).

1.3. Justificación

1.3.1. Justificación

La producción de etanol, a pesar de sus bondades, generan, al parecer, algunas dudas medioambientales en vista que su obtención demanda el gasto excesivo de agua; y su pretratamiento requiere ácido sulfúrico seguido del uso de microorganismos que ayudan a la degradación de la celulosa mediante la fermentación de la materia prima (Mateus et al. 2012). Además, en este mismo proceso se generan vinazas con un alto contenido de sólidos en suspensión, DQO y DBO₅ que, si bien es cierto son menos contaminantes que el uso de substratos sintéticos, igualmente exceden las normas de calidad de agua (Zuñiga, 2014, p.22).

Entonces, surge la incertidumbre de si, en realidad, el uso de etanol mitigará las emisiones de gases de efecto invernadero que ocasionan el calentamiento global, por lo que existe el reto de analizar la producción y determinar la sustentabilidad frente al uso de petróleo (Garolera et al. 2017, p.34).

El resultado que se obtiene en la presente investigación dará una idea del impacto ambiental que se produce en la elaboración de etanol en la planta piloto estudiada.

1.4. Formulación del problema

Pregunta General:

- ¿Cuál es el impacto ambiental del ciclo de vida de la producción de etanol a partir de residuos agroindustriales en una planta piloto-2021?

Preguntas Específicas:

- ¿De qué manera se utilizará la metodología de Análisis de Ciclo de Vida para determinar el impacto ambiental de la producción de etanol a partir de residuos agroindustriales en una planta piloto-2021?
- ¿Cuál o cuáles son las fases que tienen mayor impacto ambiental del ciclo de vida de la producción de etanol a partir de residuos agroindustriales en una planta piloto-2021?

1.5. Objetivos

Objetivo General

- Determinar el impacto ambiental del ciclo de vida de la elaboración de etanol a partir de residuos agroindustriales en una planta piloto-2021, utilizando la Norma ISO 14040:2006.

Objetivos Específicos

- Determinar las etapas de la producción de etanol a partir de residuos agroindustriales en una planta piloto donde existe mayor impacto ambiental.
- Determinar cuáles son las fases que tienen mayor impacto ambiental en el ciclo de vida de la producción de etanol a partir de residuos agroindustriales en una planta piloto.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

2.1 Tipo de investigación

El presente trabajo es de un enfoque cuantitativo en vista que aplica un proceso secuencial con la debida recolección de datos y reporte de resultados (Hernández et al, 2003, p.17). También es considerada aplicada, ya que busca evaluar el impacto ambiental de la producción de etanol a base de residuos agroindustriales, buscando ser un aporte utilitario en futuras investigaciones. (Belloso, 2010, p.21). Finalmente, es de alcance explicativo, ya que va más allá de describir conceptos o fenómenos, es más estructurada e implica la exploración, descripción y correlación. (Sampieri, 2018, p.49).

2.2 Diseño

El diseño de esta investigación es no experimental debido a no se realizará la manipulación deliberadamente de las variables. En el proceso la variable en estudio, que es el "Impacto ambiental", no fue controlada dentro de un proceso de experimentación, sino que los datos extraídos son de un proceso ya ejecutado (Belloso, 2010, p.23). En la presente investigación no se genera situaciones a experimentar, si no, que se analizarán los procesos ya realizados para la obtención de un producto (Sampieri, 2018, p.36)

2.3 Población y muestra

La investigación, por su naturaleza, considerará el mismo universo como población y muestra a partir de un muestreo no probabilístico por conveniencia. Estos serían el personal del Centro de Investigación en Química, Toxicología y Biotecnología Ambiental (CIQTOBIA) que manejan el proceso para la preparación del etanol en una planta piloto a partir de residuos agroindustriales.

2.4 Técnicas e instrumentos

La técnica a emplearse en la presente investigación es la entrevista basada en el “Análisis de Ciclo de Vida” que ayuda a establecer vínculos con las unidades de observación y recolectar información mediante la comunicación directa para la determinación del impacto ambiental (Luo et al. 2014, p.23)

El instrumento a utilizarse para la recolección de datos fue un cuestionario con preguntas relacionadas a los procesos para la determinación de impactos ambientales de libre aplicación, formulado según la norma ISO 14040: 2006, reconocida a nivel internacional que establece el procedimiento para la elaboración de un Análisis de Ciclo de Vida.

2.4.1 Metodología ISO 14040:2006

- Fase 1

En esta fase se define el objetivo y el alcance. Asimismo, incluye los límites del proceso o sistema y la extensión que se abarcará en el Análisis de Ciclo de Vida (ACV).

- Fase 2

En esta fase con el uso de las técnicas e instrumentos, se procede a la redacción del inventario cuantitativo, para ello ya se debió realizar la recolección de datos en la planta piloto mediante el cuestionario y proceder a ingresar los datos al Software Sima pro 9.1, para crear los escenarios de impacto.

Las principales características analizar en el inventario de ciclo de vida serán los flujos de entrada y salida que existen en la producción de etanol, así como los consumos de energía en cada proceso estudiado.

En el uso del software Sima pro 9.1 para la creación del inventario se realizará de la siguiente manera:

1. Definimos el tipo de Producto

En el Software utilizado se cuenta con un “Navegador de ACV” que se encuentra clasificado en las cuatro fases, de acuerdo a la norma ISO 14040:2006. Se tendrá que ingresar a la fase dos “Inventario” y, de acuerdo al tipo de investigación, ingresaremos a la pestaña de procesos. En este ítem se encontrará diversos tipos de procesos. De acuerdo a las características del producto a analizar, se ingresará a “Fuels” (Combustibles) seguido de “Biofuels” (biocombustibles) y “Others” (otros), ya que ingresaremos nuestros propios datos para obtener resultados de un proceso propio.

2. Ingresar los datos solicitados para armado del inventario

Se realiza el ingreso de datos por cada proceso a analizar, en este caso serán cuatro procesos: Acondicionado, Hidrólisis, Fermentación y Destilación fraccionada.

Por cada proceso se abrirá un nuevo ítem ya que se introducirá datos por proceso para determinar el impacto de cada uno de ellos.

3. Definir el tipo de análisis

De acuerdo al tipo de datos ingresados, para el análisis de datos se utilizará la metodología europea “Método EF 3.0 (adaptado) V 1.0 3.0 conjunto de normalización y peso”.

4. Definición de categorías de impacto de acuerdo a alcance

Una vez realizadas las etapas anteriores, el programa Sima pro 9.1 nos mostrará una lista de más de 20 categorías de impacto, cada una de ellas tendrá un valor de acuerdo a los datos ingresados anteriormente. Se tendrá que definir las categorías de impacto más relevantes.

- Fase 3

En esta etapa se realizará el análisis del inventario, evaluando los impactos más relevantes del proceso estudiado. Asimismo, se tendrá que asociar los impactos con las categorías establecidas en el software.

- Fase 4

En la última fase se evaluará los resultados obtenidos anteriormente. Esto servirá también para la discusión de la investigación. También en esta fase se tendrá en cuenta las categorías de impacto que fueron establecidas de acuerdo a la relevancia de los inventariados.

2.5 Métodos de Análisis

A partir de la recolección de datos se analizarán los resultados con el Software SIMA pro 9.1, el cual, mediante datos de ingresos y efluentes de cada proceso, crea escenarios en los que, mediante categorías de impacto, relaciona el grado de contaminación de cada uno de los procesos creados. Asimismo, la evaluación será realizada de acuerdo a lo que estipula la norma ISO 14040:2006, para calcular el perfil ambiental de los procesos evaluados en la elaboración del etanol.

2.6 Aspectos éticos

La habilidad humana genera investigaciones científicas que se van perfeccionando de generación en generación. Cada una de las aportaciones publicadas tiene detrás un cúmulo de trabajo de varios años y meses. Por ello, la ética en la investigación es muy importante porque siempre se tiene que exigir una acreditación al investigador (Salazar et al, 2018, p.24).

De esta manera, se solicitó el acceso y uso de información a la planta piloto de etanol bajo estudio mediante un oficio dirigido al rector de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Así pudimos contactarnos con el ingeniero Lizardo Visitación quien accedió a brindarnos valiosos datos para este trabajo.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1 Determinación de impacto ambiental por procesos

Proceso de recolección de datos para el inventario del ciclo de vida

Tabla 1 Entradas y consumo energético por proceso

ENTRADAS		
PROCESO: Acondicionamiento		
DESCRIPCIÓN	UND	CANT
Materia prima	Kg	10
Agua	L	500
Consumo energético	(Kw/H)	22
PROCESO: Hidrólisis		
DESCRIPCIÓN	UND	CANT
Agua	L	480
NaOH	g/L	1152
Consumo energético	(Kw/H)	136
PROCESO: Fermentación		
DESCRIPCIÓN	UND	CANT
Agua	L	180
Proceso: Destilación		
Líquido fermentado	L	100
Consumo energético	(Kw/H)	4474.2

PROCESO: Destilación

DESCRIPCIÓN	UND	CANT
Líquido fermentado	L	100
Consumo energético	(Kw/H)	4474.2

Nota: La presente información fue recolectada del proceso de elaboración de etanol en la planta piloto estudiada.

Tabla 2 Salidas y/o efluentes por proceso

SALIDA		
PROCESO: Acondicionamiento		
DESCRIPCIÓN	UND	CANT
Agua con residuos orgánicos	L	480
Agua residual	L	20
PROCESO: Hidrólisis		
DESCRIPCIÓN	UND	CANT
Agua residual	L	300
Material Hidrolizado	L	180
PROCESO: Fermentación		
DESCRIPCIÓN	UND	CANT
Líquido fermentado	L	100
PROCESO: Destilación		

<i>DESCRIPCIÓN</i>	<i>UND</i>	<i>CANT</i>
Agua residual	L	95
Etanol al 95%	L	3

Nota: Los datos de salida fueron recolectados de la planta piloto estudiada

DEFINICIÓN DE CATEGORÍA DE IMPACTO:

El Análisis de Ciclo de Vida, es una técnica para la definición de impactos en la producción de algún producto o servicio, en este se van a definir cuatro categorías de impacto que se podrán analizar. El software utilizado permite identificar la información de acuerdo a los datos ingresados. De acuerdo al tipo de datos, se definió las categorías según la Agencia Europea de Medio Ambiente, las cuales serían; recursos abióticos, recursos bióticos, uso de tierra, calentamiento global, disminución de la capa de ozono, impactos ecotoxicológicos, impactos toxicológicos, oxidantes fotoquímicos, acidificación y eutrofización entre las categorías más importantes.

Tabla 3 Resultado de acuerdo a categoría de impacto

IMPACTO POR CATEGORÍA DE IMPACTO		
PROCESO	Potencial de Calentamiento global (GWP) (Kg CO ₂ eq)	Uso de recursos (MJ)
Acondicionamiento	0,0389	0,505
Hidrólisis	6,15	8,06
Fermentación	1,05	4,29
Destilación	1,38	2,6

Nota: Los datos obtenidos en simulación del software SIMA PRO 9.1.1

3.2 Evaluación del impacto de ciclo de vida

En este proceso se evalúa el impacto que sobre el medio ambiente ejercen los procesos de elaboración de un producto. Esta evaluación es realizada con base en la unidad funcional determinada. De acuerdo a la Normativa Internacional ISO 14040:2006 se determina una serie de pasos en esta fase:

- Clasificación: De acuerdo a los datos ingresados se define las categorías de impacto.
- Caracterización: Se define el aporte de las cargas ambientales a cada categoría de impacto; el cálculo se realiza multiplicando los factores de caracterización por cada categoría de impacto.

Para que las categorías de impacto sean relevantes en la interpretación se secciona aquellas categorías de acuerdo a los datos ingresados en el inventario. De acuerdo a ello se definió las siguientes categorías de impacto.

Tabla 4
Definición de categorías de impacto

CATEGORÍA DE IMPACTO	UND	MÉTODO
Potencial de Calentamiento Global (GWP100)	Kg CO ₂ eq	Enviroment Product Declaration 2008 (EPD 2008 V1.04
Uso de recursos	MJ	

Nota: Los datos obtenidos son oficiales del Software SIMA PRO 9.1.1

3.3 Interpretación

En esta fase del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) se indicará conclusiones de la etapa del Inventario de Ciclo de vida (ICV) y categorías de impacto escogidas en la Evaluación de impacto Ambiental (EIA). De acuerdo a ello se indica lo siguiente:

1. Según los resultados del ACV en el proceso de acondicionamiento existe un total de emisiones GWP 0,0389 Kg CO₂ eq y 0,505 MJ en uso de recurso, en el proceso de hidrólisis existe la cantidad de 615 Kg CO₂ eq y 8,06E+03 MJ.

Asimismo, en la etapa de fermentación existe emisiones de 1,05 Kg CO₂ eq y en energía de 4,29 MJ. Finalmente, en el proceso de destilación el Potencial de calentamiento global sería de 1,38 y en uso de recursos 2,6 MJ.

2. El proceso donde existe mayor emisión del Potencial de calentamiento global y uso de recurso es el proceso de hidrólisis.

3. El presente trabajo toma información de la Planta piloto de etanol en la Universidad Nacional Agraria La Molina. En ella señalan que los efluentes son tratados con posterioridad a la producción de etanol. Sin embargo, de acuerdo al alcance definido, se evaluaron los procesos.

Caracterización de residuos agroindustriales

A continuación, como información adicional, se caracteriza los tipos de residuos utilizados para la elaboración del producto.

Tabla 5. Caracterización de residuos utilizados

Tipo de Residuo	COMPOSICIÓN	Fuente
-----------------	-------------	--------

	celulosa	Hemicelulosa	Lignina	Otros	Cenizas	
Hojas de caña	33-36	28-30	18-20	4-6	2-4.8	Sun & Cheng (2002); Valverde et al, (2007, p.19)
Arroz	32-37	19-24	9-13	4-5	12-18	
Maíz	30-33	22-28	14-18	3-7	3-7	

Nota: Los datos usados son de referencia bibliográfica.

3.4. Aplicación de la metodología ACV Norma ISO 14040:2006

3.4.1 Definición de objetivo y alcance

El objetivo de estudio de la investigación es determinar el impacto ambiental del ciclo de vida de la elaboración de etanol a partir de residuos agroindustriales en una planta piloto-2021. El alcance establecido será desde la transformación de los residuos agroindustriales (ingreso de materiales y consumo de energía), hasta la producción de etanol.

Cabe resaltar que se evaluará cada proceso de la producción de etanol, estos se clasificaron de la siguiente manera:

Proceso de Acondicionamiento: En este proceso se realiza la explosión de vapor de los residuos agroindustriales con el objetivo de desintegrar la biomasa lignocelulósica. Se usa en esta etapa un reactor multifuncional que consume energía y, además, genera 480 litros de agua con residuos orgánicos y 20 litros de agua residual.

Proceso de Hidrólisis: Este proceso se divide en dos partes: química y enzimática. Tiene como objetivo la digestibilidad de la celulosa mediante el uso de azúcares reductores que podrán ser fermentados con levaduras o bacterias. Este proceso se lleva a cabo en tanques

de hidrólisis de acuerdo a tipo. En este proceso se generó 300 litros de agua residual y 180 Litros de material hidrolizado.

Proceso de Fermentación: Consiste en la conversión de azúcares reductores en etanol, proceso para el cual se emplea la levadura *Saccharomyces cereviasiae* en condiciones de temperatura y tiempo controlado. El proceso generó 100 litros de líquido fermentado.

Proceso de Destilación: En esta etapa se hace hervir el líquido fermentado que consta de una mezcla de etanol y agua. Para este proceso se utiliza una columna de destilación, condensador y parrot de acero inoxidable.

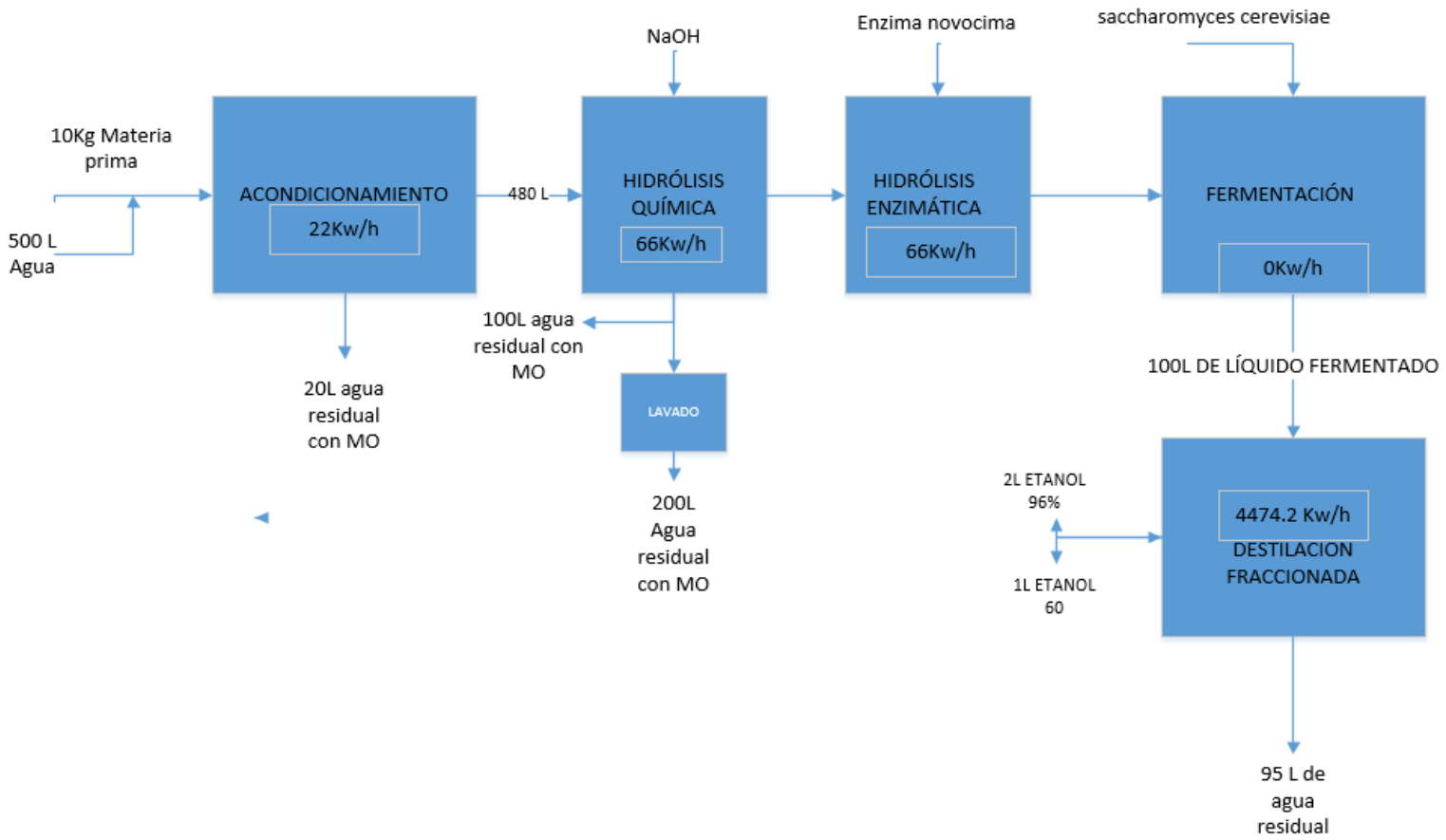
También es importante determinar la unidad funcional, ya que da una referencia al sistema. De acuerdo a ello se ha tomado como unidad funcional 3L de etanol producido. Asimismo, en este proceso se obtuvo 95 litros de agua residual y 3litros del producto final, la cual sería etanol al 95 %.

3.4.2 Inventario del ciclo de vida (ICV)

Para iniciar esta fase, se realizó un diagrama de bloques donde son definidos los flujos de entrada y salida de cada proceso en la elaboración de etanol, además de consumo de energía en cada uno de ellos.

Figura 1

Diagrama de bloques del proceso



Nota: El diagrama fue realizado en el software Visio 2019

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El presente trabajo tiene como objetivo realizar el Análisis de Ciclo de Vida de los procesos en una planta piloto de elaboración de etanol a base de residuos agroindustriales, valioso insumo que, según Yuan *et al.* (2017, p.35), tiene gran eficacia en el proceso, aplicando el pre tratamiento correspondiente.

De acuerdo al inventario realizado en la fase 2 del presente estudio, las emisiones totales serían 2.47 Kg CO_{2eq} y un uso de recurso de 12, 85 MJ de la planta piloto, según la unidad referencial de producción de 3L de etanol. Comparado con la investigación de Herrera *et al.* (2016, p.23), en la producción de gasolina en su unidad de 1 km de recorrido generaría un 0.21 Kg CO₂ eq y uso de recurso de 3,04 MJ.

Cabe resaltar que en dicha investigación se tendrían datos de producción a gran escala. Además, en la investigación de Rivera et al. (2017, p.18), quien estudia la producción de etanol a base de caña de azúcar a gran escala, indica que existe una emisión de 111.449,2 Kg CO₂ eq/ha/ciclo de vida, pero refiere también que en los procesos existiría un débito de CO₂ de -33.841,3 Kg CO_{2eq}/ha/ciclo de vida.

En los escenarios propuestos, se determina que en la etapa de hidrólisis existiría mayor cantidad de emisiones de Kg CO_{2eq} y uso de recursos. Esto sería debido a que en este proceso es crucial para la elaboración del producto. Además, cuenta con dos sub procesos: química y enzimática, en los que se generaría un gran uso y efluente del recurso agua.

Martin (2016, p.24) nos dice que el proceso de hidrólisis es una etapa comprometedora entre la temperatura y velocidad, y que es más lenta que la fermentación. Además, Díaz *et al.* (2018, p.24) explica que en esta etapa se consume mayor electricidad y agua, lo que tendría mayor impacto ambiental.

La investigación determinó sus límites desde el pre tratamiento de los residuos agroindustriales hasta la producción de etanol. Se enfatiza que no se evalúa procesos posteriores, como el post tratamiento de los efluentes líquidos y su uso. De acuerdo a ello, Herrera *et al.* (2015, p.17) recomienda que para un análisis de impacto con mayor precisión se tendrá que disponer de mayores datos y hacer uso de otras categorías de impacto.

A su vez, Vargas & Pérez (2018, p.13) infieren que se puede evaluar la composición química de los efluentes de los procesos, para ser usados como material absorbente de metales pesados por su naturaleza agroindustrial.

Con la evaluación de impactos realizados, se puede determinar que la producción de etanol en la planta piloto no genera impactos severos, por el gran consumo del recurso agua y energía de los equipos. La investigación de Martín (2018,p.31) concuerda con esto. En tanto, Aguilar *et al.* (2017, p.27) indica que se deberá evaluar prospectivamente plantas industriales mediante la metodología ACV para determinar significativamente el aprovechamiento de residuos para su transformación en etanol.

El uso del método de Análisis de Ciclo de vida con la Normativa ISO 14040:2006, ayuda a evaluar el impacto ambiental del proceso para la elaboración de un producto. Según Garraín *et al.* (2010, p.37) sería efectivo determinando cargas ambientales y debería ser difundida en el ámbito empresarial.

Además, Singh *et al.* (2010,p.26) resalta que el programa Sima pro, incluye una base de datos confiable de manuales IPCC y Eco invent, lo que haría confiable la evaluación. A su vez, Luo *et al.* (2010, p.22) indica que el ciclo de vida ayudará a evaluar las emisiones de la producción de combustibles derivados del petróleo en búsqueda de alternativas eficientes.

Conclusiones

En la presente investigación se ha determinado el impacto ambiental que existe en el proceso de elaboración del etanol con residuos agroindustriales, las cuales arrojaron que existe una generación de 615 kg CO₂ eq y 8,06 MJ, las cuales comparadas a la producción de otros carburantes podría ser mayor. Asimismo, se resalta que la presente investigación fue realizada en una planta piloto.

El uso de la Metodología de Análisis de Ciclo de vida, la cual esta normada con la Metodología ISO 14040:2006, fue muy efectiva para el desarrollo de la presente investigación, ya que permitió coordinar y sistematizar información para el análisis final del proyecto. Asimismo, con la metodología se definió las categorías de impacto a utilizar para la comparación con otros procesos. De acuerdo a ello, se pudo identificar cinco procesos en la producción de etanol, acondicionamiento, hidrolisis química, hidrolisis enzimática, fermentación y destilación fraccionada.

Con el uso de la Metodología de Análisis de Ciclo de vida, se determinó cuatro procesos en la producción de etanol en la Planta piloto. Asimismo, el proceso donde existiría mayor emisión de potencial de Calentamiento global sería en el proceso de hidrólisis, ya que se identificó que en este proceso se generaría 615 Kg CO₂ eq y 8.06 MJ, siendo el mayor respecto a los otros procesos.

Referencias

Herrera I; Pérez J; Gamarra A, R (2015). Análisis de ciclo de vida de la producción de etanol combustible proveniente del bagazo de caña de azúcar. Simposio de la Red Española de ACV, Vol. 1 Pp. 1-8. ISS: 7280-401M.

Bohórquez L, A & Lugo A,D (2010). *Cuantificación y análisis de gases de efecto invernadero (GEI) en el ciclo de vida del etanol obtenido de la caña de azúcar, con base en las directrices del IPCC 2006. Caso de estudio: Ingenio Providencia S.A*, Universidad de la Salle Ciencia Unisalle. Bogotá, Colombia. Recuperado de https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/247

Sánchez S, S; Lozano L,J; de los Ríos A, P; Hernández F, J; Larrosa A, G (2012). Análisis del ciclo de vida del bioetanol obtenido a partir de vaina de algarroba. Revista UPCT, Vol 1 Pp. 71-72. ISSN: 1888-8356.

Guerrero A, B & Muñoz E (2016). Life cycle assessment of second generation ethanol derived from banana agricultural waste: Environmental impacts and energy balance. Cleaner Production, Vol, 174 Pp 1-20. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.10.298. Singh A; Pant D; Korres E,N; Sattar A,N;Prasad S (2010). Key issues in life cycle assessment of ethanol production from lignocellulosic biomass: Challenges and perspectives. El Sevier, Vol 101 Pp. 5003-5012. Doi.org/10.1016/j.biortech.2009.11.062.

Cronin K, R; Troy M,R; Xuesong Z; Izaualde C,R; Douglas J,R; Julie C, I (2016). Spatially Explicit life cycle analysis of cellulosic ethanol production scenarios in Southwestern Michigan. *Bioenergy Resource*, Vol. 10, 13-24. doi.org/10.1007/s12155-016-9774-7.

Luo D; Hu Z; Choi D, G; Thomas V, M; Realff M, J.; Chance R, R (2010). Life Cycle Energy and Greenhouse Gas Emissions for an Ethanol Production Process Based on Blue-Green Algae. *Environmental Science & Technology*, Vol.44, Pp 8670–8677. doi:10.1021/es1007577.

Pereira L,G; Cavalett, O; Bonomi A.; Zhang, Y; Warner E.; Chum H,L. (2019). Comparison of biofuel life-cycle GHG emissions assessment tools: The case studies of ethanol produced from sugarcane, corn, and wheat. *El Sevier*. Vol, 110, Pp 1–12. doi:10.1016/j.rser.2019.04.043.

Jiao J; Li, J; Bai Y (2019). Uncertainty analysis in the life cycle assessment of cassava ethanol in China. *Cleaner Production*, Vol, 206, Pp 438–451. Doi:10.1016/j.jclepro.2018.09.199

Lask, J; Wagner, M; Trindade, L M; Lewandowski, I (2019). Life cycle assessment of ethanol production from miscanthus: A comparison of production pathways at two European sites. *Bioenergy*, Vol, 11, Pp 269–288. Doi:10.1111/gcbb.12551.

Maga, D; Thonemann, N; Hiebel M; Sebastião D; Lopes T, F; Fonseca, C; Gírio, F (2018). Comparative life cycle assessment of first- and second-generation ethanol from sugarcane

in Brazil. The International Journal of Life Cycle Assessment. Vol 1, Pp 1 –15.

Doi:10.1007/s11367-018-1505-1.

Carneiro N, M; Pradelle, F; Braga S, L.; Gomes, Marcos S, P.; Martins F.A; Turkovics F; Pradelle N,C. (2017). Potential of biofuels from algae: Comparison with fossil fuels, ethanol and biodiesel in Europe and Brazil through life cycle assessment (LCA). El Sevier. Vol.73, Pp 632–653.Doi:10.1016/j.rser.2017.01.152.

Souza A; Watanabe M, Barbosa; Cavalett O; Ugaya C, L; Bonomi A (2016). Social life cycle assessment of first and second-generation ethanol production technologies in Brazil. The International Journal of Life Cycle Assessment. Vol. 1, Pp 1-12.Doi:10.1007/s11367-016-1112-y.

Murphy C,W & Kendall A (2014). Life cycle analysis of biochemical cellulosic ethanol under multiple scenarios. GCB Bioenergy, Vol 1, Pp 1-15.Doi:10.1111/gcbb.12204.

Pacheco C, R (2019). Evaluación de la política pública sobre bioetanol como combustible en Perú, 2003-2019. Revista Semestre Económico, Vol 22, Pp. 122-162. <https://doi.org/10.22395//seec.v22n53a6>.

Ding N; Yang Y; Cai H; Liu J; Ren L; Yang J; Xie G, H (2017). Life cycle assessment of fuel ethanol produced from soluble sugar in sweet sorghum stalks in North China. Journal of Cleaner Production. Vol 1, Pp. Doi:10.1016/j.jclepro.2017.05.078.

Muñoz I; Flury K; Jungbluth N; Rigarlsford, G; Canals LI, M; King H (2014). Life cycle assessment of bio-based ethanol produced from different agricultural feedstocks. The International Journal of Life Cycle Assessment. Vol,19 Pp, 109–119. Doi:10.1007/s11367-013-0613-1.

Organization of the Petroleum Exporting Countries (OPEC). 2004. Oil

Claros G, J & Von S, (2010). Emissão de gases de efeito estufa no ciclo de vida do etanol: estimativa nas fases de agricultura e industrialização em Minas Gerais. Engenharia Sanitaria e Ambiental. Vol 15. Pp, 217–222. Doi:10.1590/S1413-41522010000300003.

Coria D, I (2010). El estudio de impacto ambiental: Características y Metodologías. Revista Ingenio. Vol.11, Pp 125-135. ISSN: 0329-3475.

Medina M,M; Fernández L,L; Cristóbal N.F.(2011) Aprovechamiento de materiales lignocelulósicos para la producción de etanol como carburante. Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila. Vol. 3. Pp.1-7. http://www.academia.edu/download/49504789/Aprovechamiento_de_materiales_lignocelu120161010-14274-alu546.pdf .

Yan S, L; Chen X, W; Wang, P, Ye; Yao, J. (2011). Enzymatical hydrolysis of food waste and ethanol production from the hydrolysate. Renewable Energy, Vol. 36, Pp 1259–1265. doi:10.1016/j.renene.2010.08.020.

Mateus L; Hernández O; Velásquez M; Díaz J, J. (2012). Evaluación del pretratamiento con ácido sulfúrico diluido del pasto maralfalfa (Pennisetum glaucum x Pennisetum purpureum) para la producción de etanol. Revista Colombiana de Biotecnología, Vol. XIV. Pp 146-156. ISSN: 0123-3475.

Vidal B, A; Quintero D, J; Herrera O, I (2017). Análisis de ciclo de vida de la producción de biodiesel a partir de aceite vegetal usado. DYNA. Vol. 84 , Pp 155–159. Doi:10.15446/dyna.v84n201.54469.

García P, M & Plazas L, N. (2019). Análisis del ciclo de vida de las publicaciones sobre la producción de quinua (Chenopodium quinoa Willd), a través de curvas en S. REVISTA DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN, Vol9(2), Pp 379-391. <https://doi.org/10.19053/20278306.v9.n2.2019.9189>.

Salazar R,M; Icaza G,M; Alejo M,O (2018). La importancia de la ética en la investigación.Revista de Universidad y Sociedad. Vol 10, Pp 1-10. ISSN 2218-3620.

Bardales Ch, M; De la Cruz, V, A (2019). Impacto Ambiental de los residuos sólidos y su influencia en la conservación del oasis La Huacachina- Ica.Universidad del Callao, Callao- Peru. Recuperado de:

<http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/UNAC/4354/BARDALES%20CHAVEZ%20de%20lacruz%20valdez%20ambiental.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

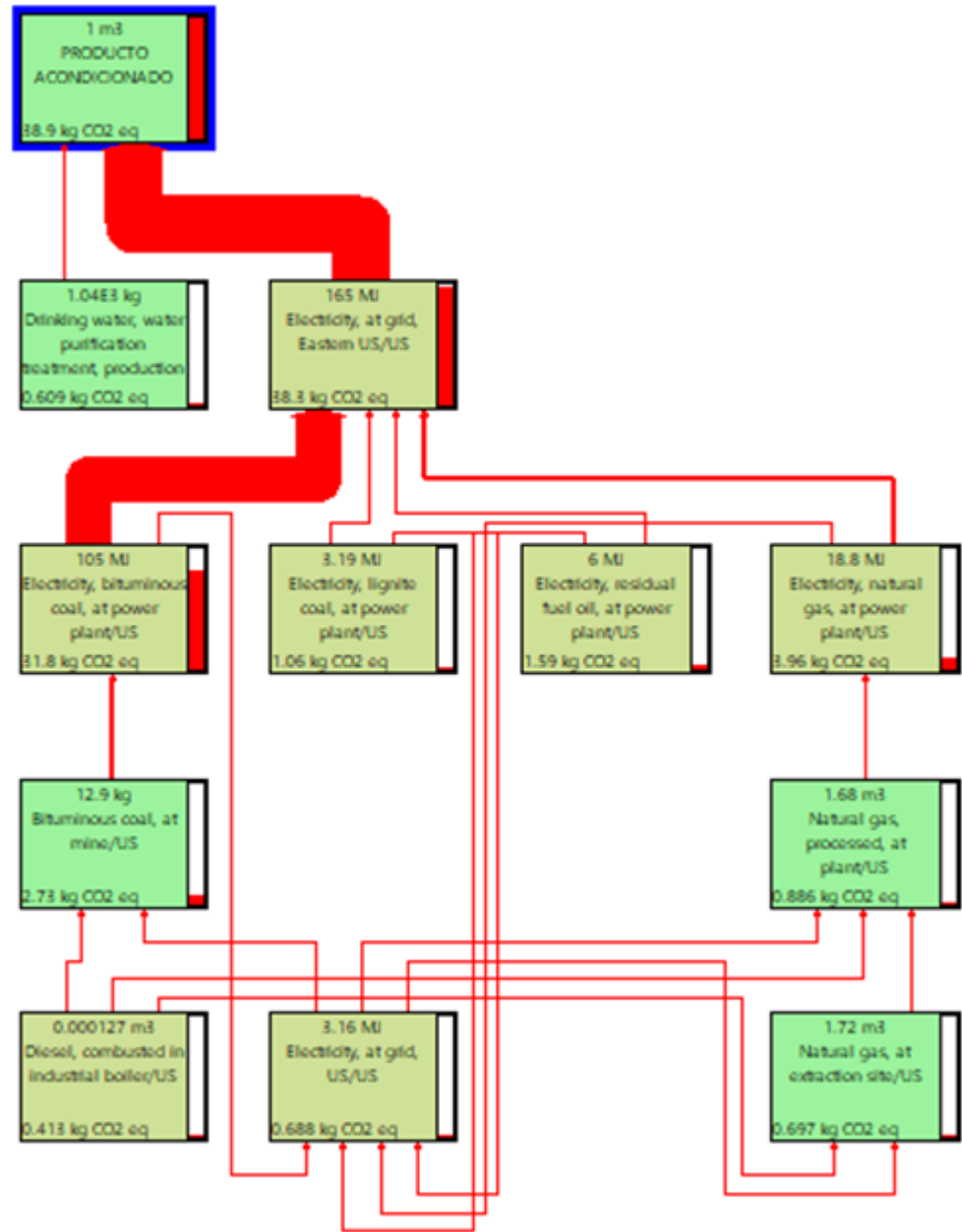
Calle Cabrera,V. (2019). Analisis del Ciclo de Vida de un Edificio de oficinas en Lima-Perú. Pontifica Universidad Catolica del Perú. Lima, Peru. Recuperado de: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/15894>.

Ziegler Rodriguez E (2019).Evaluación de Ciclo de Vida del relleno Sanitario del distrito de Nauta, en Loreto. Pontifica Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.

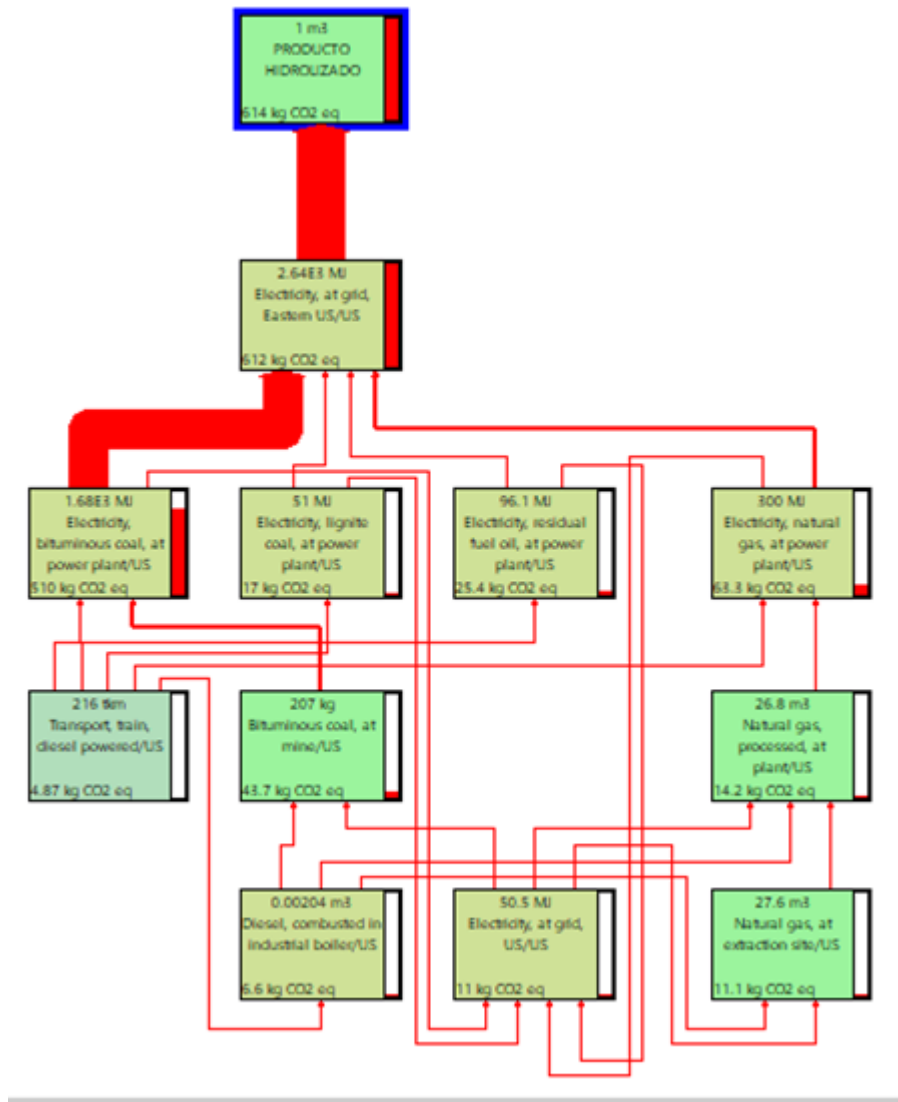
Recuperado de: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/13847>

Anexos

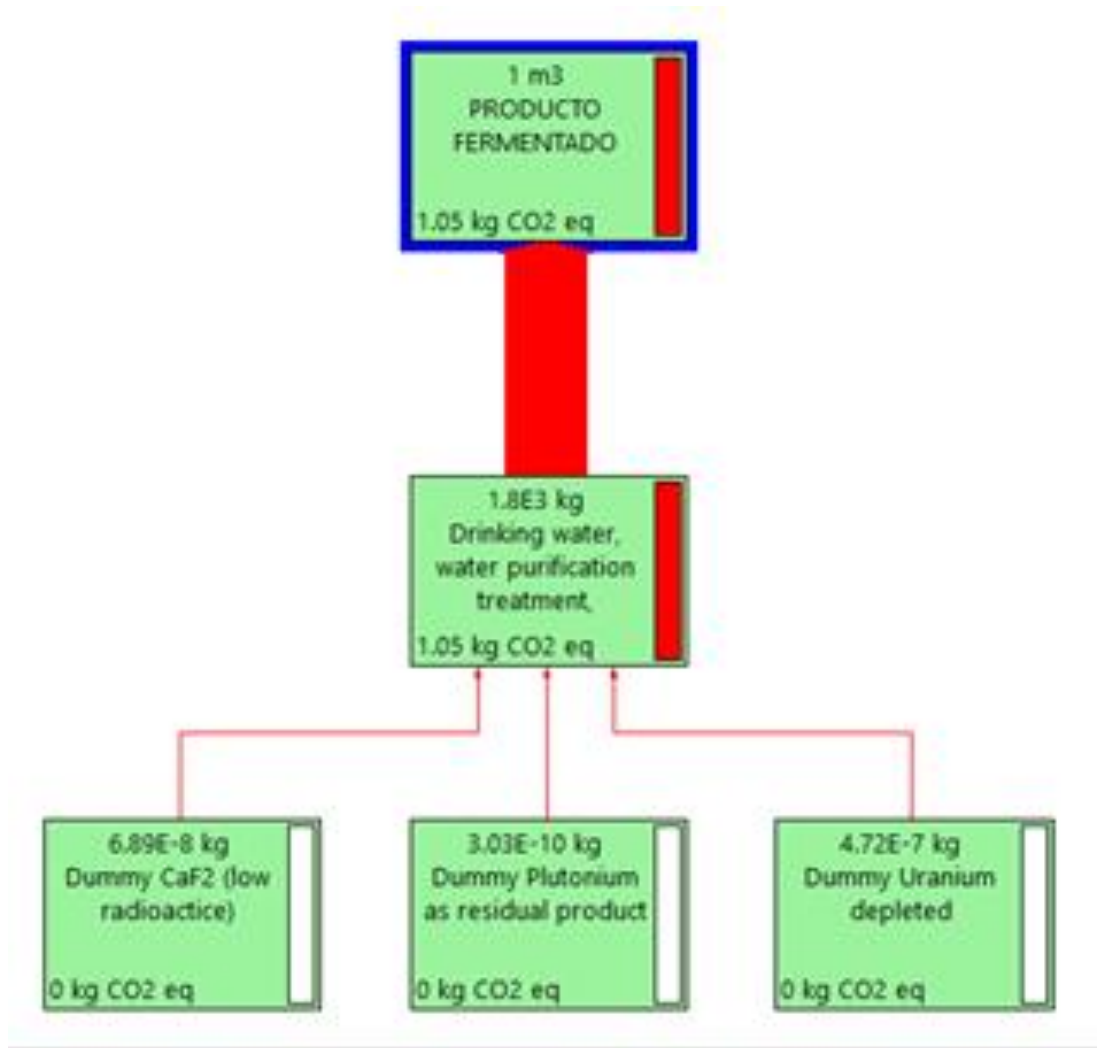
1. Esquema de evaluación de impactos del proceso acondicionamiento en software SimaPro



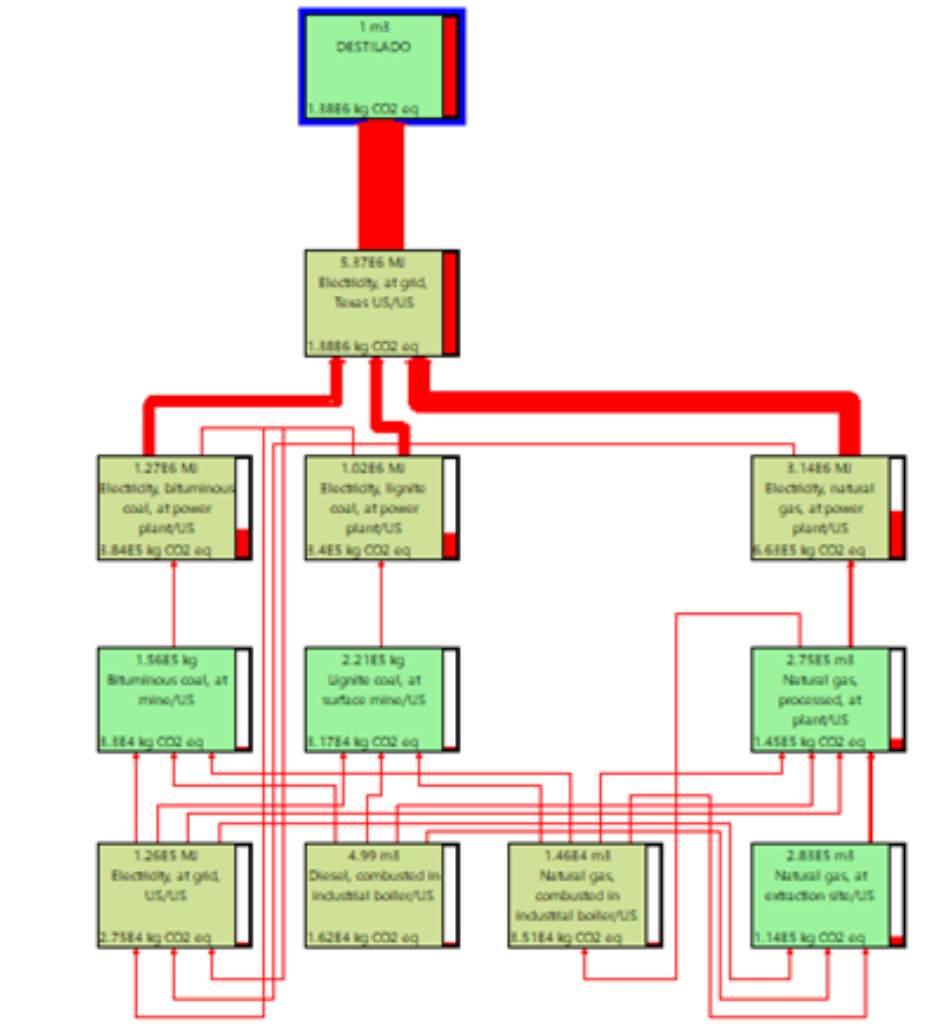
2. Esquema de evaluación de impactos del proceso Hidrólisis en software SimaPro.




3. Esquema de evaluación de impactos del proceso fermentación en software SimaPro



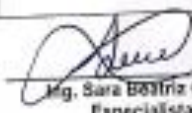
4. Esquema de evaluación de impactos del proceso destilación en software SimaPro



FORMATO DE ENTREVISTA VAALIDADO

CUESTIONARIO		
TITULO DE TESIS:	"Impacto Ambiental Del Ciclo De Vida De La Producción De Etanol A Partir De Residuos Agroindustriales En Una Planta Piloto – 2021"	
METODO	Análisis de Ciclo de Vida y normativa ISO 14040	
ALCANCE DE INVESTIGACIÓN	Transformación de materia prima hasta la producción de etanol	
CANTIDAD DE PROCESOS		
1. INFORMACIÓN GENERAL		
Nombre de la Planta de procesos		
Ubicación		
Actualmente se encuentra funcionando. Si su respuesta es no, indique ¿por qué?		
Docente encargado		
2. INFORMACIÓN ESPECÍFICA A LA PLANTA		
De la información brindada, se indicará mayor alcance por proceso:		
PROCESO 1	ACONDICIONAMIENTO	
¿Qué Ingresos se tuvo en este proceso?		
¿Qué Equipo Se Utiliza En Este Proceso?		
¿Cuál es el gasto de energía en este proceso		
¿Cuánto es la cantidad de efluente, en este proceso?		
¿Qué producto hay en este proceso?		
PROCESO 2	HIDROLISIS QUÍMICA	
¿Qué ingresos se tuvo en este proceso?		
¿Qué equipo se utiliza en este proceso?		
¿Qué Materiales y reactivos se usan en el proceso?		
¿Cuál es el gasto de energía en este proceso		
¿Cuánto es la cantidad de efluente, en este proceso?		
¿qué producto hay en este proceso?		
PROCESO 3	HIDROLISIS ENZIMÁTICA	
¿Qué ingresos se tuvo en este proceso?		

CUESTIONARIO	
¿Qué equipo se utiliza en este proceso?	
¿Qué Materiales y reactivos se usan en el proceso?	
¿Cuál es el gasto de energía en este proceso?	
¿Cuánto es la cantidad de efluente, en este proceso?	
¿Qué producto hay en este proceso?	
PROCESO 4	FERMENTACIÓN
¿Qué ingresos se tuvo en este proceso?	
¿Qué equipo se utiliza en este proceso?	
¿Qué tipo de Levadura se utilizó en el proceso?	
¿Cuál es el gasto de energía en este proceso?	
¿Cuánto es la cantidad de efluente, en este proceso?	
¿qué producto hay en este proceso?	
PROCESO 5	DESTILACIÓN FRACCIONADA
¿Qué ingresos se tuvo en este proceso?	
¿Qué equipo se utiliza en este proceso?	
¿Cuál es el gasto de energía en este proceso?	
¿Cuánto es la cantidad de efluente, en este proceso?	
¿Qué producto hay en este proceso?	


 Mg. Sara Beatriz Cerrón Huamani
 Especialista Ambiental