

**UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA**



**DECANATO DE POSTGRADO  
MAESTRIA EN AGROINDUSTRIA MENCIÓN  
SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGROINDUSTRIAL**

**PROYECTO DE TITULACIÓN CON COMPONENTES DE INVESTIGACIÓN  
Y/O DESARROLLO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:**

**MAGISTER EN AGROINDUSTRIA**

**TÍTULO:**

Propuesta técnico-económica para la valorización de los residuos de caña de azúcar en la región amazónica del Ecuador bajo un enfoque de bioeconomía circular.

**AUTOR**

Iván Danilo Montero Parra

**DIRECTOR**

Dr. Amaury Pérez Martínez

PUYO- ECUADOR.

2022

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, **Iván Danilo Montero Parra**, con cédula de identidad **060462342-1**, declaro ante las autoridades educativas de la Universidad Estatal Amazónica, que el contenido del Proyecto de titulación con componentes de investigación aplicada y/o desarrollo titulado “Propuesta técnico -económica para la valorización de los residuos de la caña de azúcar en la región amazónica del Ecuador bajo un enfoque de bioeconomía circular”, es absolutamente original, auténtico y personal.

En tal virtud y según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente, certifico libremente que los criterios y opiniones que constan en el Proyecto de titulación son de exclusiva responsabilidad de la autora; y que los resultados expuestos pertenecen a la Universidad Estatal Amazónica.

---

Iván Danilo Montero Parra

CI. 060462342-1

**EL TRIBUNAL DE EVALUACIÓN DEL TRABAJO FINAL DE TITULACIÓN  
CERTIFICA QUE:**

El presente trabajo “Propuesta técnico -económica para la valorización de los residuos de la caña de azúcar en la región amazónica del Ecuador bajo un enfoque de bioeconomía circular”, bajo la responsabilidad del maestrante Iván Danilo Montero Parra, ha sido meticulosamente revisado, autorizando su presentación:

**MIEMBROS DEL TRIBUNAL**

Dr. Manuel Lázaro Pérez Quintana

**PRESIDENTE DE TRIBUNAL EVALUADOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Dr. Reinier Abreu Naranjo

**MIEMBRO 1**

MSc. Ricardo Ernesto Burgos Moran

**MIEMBRO 2**

## AVAL DEL DIRECTOR DE TRABAJO TITULACIÓN

<b>MAESTRÍA EN AGROINDUSTRIA MENCIÓN SISTEMAS AGROINDUSTRIALES</b>	
<b>COHORTE: III</b>	<b>FECHA ELABORACIÓN: 11/07/2022</b>
<b>INFORME FINAL Y AVAL</b>	
<p>Quien suscribe, <b>Dr. AMAURY PÉREZ MARTÍNEZ</b>, portador de la cédula de identidad número: 1757150766, en calidad de Director del trabajo de titulación denominado: <b>“PROPUESTA TÉCNICO -ECONÓMICA PARA LA VALORIZACIÓN DE LOS RESIDUOS DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN LA REGIÓN AMAZÓNICA DEL ECUADOR BAJO UN ENFOQUE DE BIOECONOMÍA CIRCULAR”</b>, opción Proyecto de trabajo de titulación con componentes de investigación aplicada y/o desarrollo, a cargo del maestrante <b>IVÁN DANILO MONTERO PARRA</b>, portador del número de cédula de identidad: <b>060462342-1</b>, certifico haber acompañado y revisado el documento entregado a mi persona, considero que cumple con los objetivos planteados, los lineamientos y orientaciones establecidas en la normativa vigente de la institución.</p> <p>Por lo antes expuesto se avala el trabajo de titulación para que sea presentado para la sustentación correspondiente.</p>	
<b>ELABORADO POR:</b>	
Dr. AMAURY PÉREZ MARTÍNEZ <b>DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	

## **CERTIFICADO DE PORCENTAJE DE SIMILITUD EN EL SISTEMA ANTIPLAGIO**

Quien suscribe el presente Dr. Amaury Pérez Martínez con CI: 1757150766, certifica que el Proyecto final de titulación con componentes de investigación aplicada y/o de desarrollo titulado: “Propuesta técnico-económica para la valorización de los residuos de caña de azúcar en la región amazónica del Ecuador bajo un enfoque de bioeconomía circular” ha sido examinado a través del sistema Antiplagio Ouriginal y presenta un porcentaje de similitud del 1 %.

En el cantón Pastaza, a los 11 días del mes de julio del 2022.

---

Dr. Amaury Pérez Martínez

DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios, por haberme dado la vida y por estar siempre presente en mi vida llenándome de bendiciones, también agradezco a mi madre por acompañarme siempre en todas mis decisiones que he tomado, y por ser el pilar fundamental de mi vida, también a mis hermanos, tíos primos, amigos y demás familiares que me han apoyado de una u otra manera dentro de mi preparación profesional, también estoy muy agradecido con la Universidad Estatal Amazónica por haberme abierto las puertas para seguirme seguir preparando como profesional y a mi tutor de tesis Dr. Amaury Pérez le estoy infinitamente agradecido por haberme guiado de una manera adecuada dentro de mi proyecto de investigación.

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de investigación a mi madre por haberme dado la vida y estar siempre apoyando en todas mis decisiones, a mi padre el cual me apoya desde el cielo y siempre me guía para ir por el camino del bien, a mi hermosa Melody quien siempre me ha brindado todo el cariño y ha llenado de amor mi corazón, a mis hermanos en especial a mi hermano mayor quien se ha portado como un padre y siempre me apoyado tanto emocionalmente como económicamente, a mis amigos, tíos y demás familiares por haberme apoyado dentro de mi formación profesional.

## **RESUMEN EJECUTIVO**

La investigación se realizó con el objetivo de generar una propuesta técnico-económica para la valorización de los residuos de la caña de azúcar en la región amazónica del Ecuador bajo un enfoque de bioeconomía circular, el método de investigación que se empleó es de tipo exploratoria, descriptiva y explicativa, el carácter del estudio será cualitativo debido a que se describirán los residuos que se generan a partir del cultivo y producción industrial de la caña de azúcar, para el desarrollo de esta investigación se utilizarán fuentes de recopilación de información como es el caso de tesis, artículos científicos, revistas bibliográficas y sitios web, en donde hablen acerca de las tecnologías que se puedan aplicar a los residuos generados en la etapa de cultivo e industrial de la caña de azúcar, para el análisis técnico se investigó el tipo de tecnología, insumos y materia prima que se necesita para la elaboración del fertilizante y biogás, para el análisis económico se utilizó los indicadores dinámicos de factibilidad como es el caso del valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y la relación costo beneficio. Las etapas identificadas del ciclo de vida de la caña de azúcar en la etapa agronómica del cultivo se generan residuos como es el caso de la paja, cogollo y las hojas, mientras tanto que en la etapa industrial se generan residuos del bagazo, cachaza y vinaza, a partir de los residuos generados en la etapa de cultivo e industrial de la caña de azúcar, se pueden transformar estos residuos en los siguientes productos como es el caso del papel artesanal, fertilizantes, biogás, celulosa, ensilaje y abonos orgánicos, los resultados de los indicadores dinámicos de factibilidad para la producción de los fertilizantes y el biogás obtuvieron resultados positivos por lo que se concluye que es viable realizar estas propuestas, a partir de los residuos que se generan en la industria de la caña de azúcar, la ruta para producir los fertilizantes y el biogás, incluyen los procesos de digestión anaerobia y la Codigestión, estas tecnologías son viables desde el punto de vista técnico por su simplicidad o su poca complejidad tecnológica y sus bajos costos de inversión generando un producto que en este caso sería el digestato que se utiliza como fertilizante en los cañaverales.

Palabras claves: cultivo, residuos, tecnología, caña de azúcar, aprovechamiento.



## **ABSTRACT**

The research was carried out with the objective of generating a technical-economic proposal for the valorization of sugarcane residues in the Amazon region of Ecuador under a circular bioeconomy approach, the research method used is exploratory, descriptive and explanatory, the character of the study will be qualitative because the residues generated from the cultivation and industrial production of sugar cane will be described, for the development of this research sources of information collection will be used, as is the case of theses, scientific articles, bibliographic magazines and websites, where they talk about the technologies that can be applied to the waste generated in the cultivation and industrial stage of sugar cane, for the technical analysis the type of technology was investigated, inputs and raw material needed for the preparation of fertilizer and biogas, for the economic analysis the dynamic feasibility indicators such as the net present value (VAN), the internal rate of return (TIR) and the cost-benefit ratio. The identified stages of the life cycle of sugarcane in the agronomic stage of cultivation, waste is generated, such as straw, bud and leaves, while in the industrial stage waste is generated from bagasse, filter cake and vinasse. , from the residues generated in the cultivation and industrial stage of sugarcane, these residues can be transformed into the following products, such as craft paper, fertilizers, biogas, cellulose, silage and organic fertilizers, the results of the dynamic feasibility indicators for the production of fertilizers and biogas obtained positive results, so it is concluded that it is feasible to carry out these proposals, based on the waste generated in the sugar cane industry, the route for produce fertilizers and biogas, include anaerobic digestion processes and co-digestion, these technologies are feasible from a technical point of view due to their simplicity or its little technological complexity and its low investment costs, generating a product that in this case would be the digestate that is used as fertilizer in the cane fields.

**Keywords:** cultivation, residues, technology, sugar cane, use.

## INDICE

CAPITULO I INTRODUCCIÓN.....	1
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. JUSTIFICACIÓN .....	3
1.2. PLANTIAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
1.3. HIPOTESIS .....	5
1.4. OBJETIVOS .....	5
1.4.1. OBJETIVO GENERAL .....	5
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	5
CAPÍTULO II REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	6
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	6
2.1. Ciclo de vida de la caña de azúcar .....	6
2.2. Etapas del cultivo y cosecha de la caña de azúcar .....	6
2.2.1. Preparación del suelo.....	6
2.2.2. Siembra.....	7
2.2.3. Fertilización .....	7
2.2.4. Riego.....	7
2.2.5. Control de malezas .....	8
2.2.6. Maduración.....	8
2.2.7. Corte .....	8
2.2.8. Alza.....	9
2.2.9. Transporte.....	9
2.3. Principales transformaciones industriales de la caña de azúcar a nivel artesanal. 10	
2.3.1. Tecnología aplicada para la producción de etanol de forma artesanal.....	10
2.3.2. Tecnología aplicada para la fabricación de panela de forma artesanal.....	11
2.3.3. Coproductos industriales de la caña de azúcar .....	11
2.4. Residuos generados a partir de la caña de azúcar en la etapa de cosecha y	

producción industrial en pequeña y mediana empresa.....	12
2.4.1. Manejo de residuos.....	12
2.4.2. Cogollo.....	13
2.4.3. Hojas.....	13
2.4.4. Paja.....	13
2.5. Residuos o coproductos generados a partir de la caña de azúcar en la elaboración de etanol y panela. ....	14
2.5.1. Bagazo.....	14
2.5.2. Cachaza.....	14
2.5.3. Vinazas.....	15
2.6. Análisis técnico- económico para procesos tecnológicos.....	15
2.6.1. Análisis técnico para procesos tecnológicos.....	15
2.6.2. Análisis económico para procesos tecnológicos.....	15
2.6.3. Criterios para la evaluación económica.....	16
2.7. Bioeconomía.....	16
2.7.1. Bioeconomía circular.....	17
CAPITULO III MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
3.1. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	18
3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	18
3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.....	19
3.3.1. Materiales y métodos: objetivo 1. (identificar los residuos generados en cada una de las etapas del ciclo de vida de la caña de azúcar).....	19
3.3.2. Materiales y métodos: objetivo 2. (identificar los tipos de tecnologías que se pueden aplicar a los residuos generados en la etapa de cultivo e industrial de la caña de azúcar y que subproductos se pueden obtener de las mismas).....	20
3.3.3. Materiales y métodos objetivo 3. (Analizar técnico-económicamente las posibles alternativas de aprovechamiento de los residuos generados en el ciclo de vida	

de la caña de azúcar) .....	20
3.3.4. Fuentes de recopilación de la información .....	21
CAPITULO IV .....	22
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
4.1. Residuos generados en la etapa de cultivo e industrial de la caña de azúcar .....	22
4.1.1. Cogollo .....	22
4.1.2. Paja .....	22
4.1.3. Hojas.....	22
4.2. Los residuos generados a partir de la caña de azúcar en la etapa industrial que fueron investigados son: .....	24
4.2.1. Bagazo .....	24
4.2.2. Cachaza.....	24
4.2.3. Vinaza.....	24
4.3. Tecnologías aplicadas a los residuos de la caña de azúcar en la etapa de cultivo y producción industrial a pequeña y mediana empresa.....	25
4.3.1. Descripción de la tecnología 1. Remoción de metales alcalinos a partir del residuo de las hojas de la caña de azúcar que se encuentra detallado en la tabla 3.....	26
4.3.2. Descripción de la tecnología 2. Elaboración de papel artesanal a partir del residuo de la paja de la caña de azúcar que se encuentra detallado en la tabla 3. ....	26
4.3.3. Descripción de la tecnología 3. Elaboración de ensilaje a partir del residuo del cogollo de la caña de azúcar que se encuentra detallado en la tabla 3. ....	27
4.3.4. Descripción de la tecnología 4. Obtención de biogás a partir del residuo de la cachaza que se encuentra detallado en la tabla 3 .....	27
4.3.5. Descripción de la tecnología 5. Elaboración de un fertilizante a partir del residuo de la vinaza que se encuentra detallado en la tabla 3. ....	28
4.3.6. Descripción tecnología 6. Elaboración de papel a partir del residuo del bagazo de la caña de azúcar que se encuentra detallado en la tabla 3.....	28
4.4. Análisis técnico-económico de las posibles alternativas de aprovechamiento de los residuos generados en el ciclo de vida de la caña de azúcar .....	29

4.4.1.	Análisis técnico para la elaboración de un fertilizante .....	29
4.4.2.	Tecnología utilizada para la obtención de un fertilizante a partir del residuo de la vinaza de la caña de azúcar .....	29
4.4.3.	Insumos que se utilizan en la elaboración del fertilizante. ....	30
4.4.4.	Materias primas que se utilizan en la elaboración del fertilizante. ....	31
4.4.5.	Costo unitario por unidad de presentación del fertilizante .....	31
4.4.6.	Indicadores dinámicos de factibilidad en la producción del fertilizante .....	31
4.4.7.	Análisis técnico para la elaboración del biogás a partir del residuo de la cachaza 33	
4.4.8.	Insumos que se utilizan en la fabricación del biogás.....	35
4.4.9.	Materias primas que se utilizan en la elaboración del biogás.....	35
4.4.10.	Análisis económico para producir 1m <sup>3</sup> de biogás .....	36
4.4.11.	Indicadores dinámicos de factibilidad en la producción del biogás .....	36
4.4.12.	Discusión de los resultados técnico – económicos en la elaboración de un fertilizante a base del residuo de la vinaza y de la producción del biogás a partir del residuo de la cachaza y su aporte dentro de la economía circular.....	38
4.5.	Análisis del esquema del ciclo de vida de la caña de azúcar desde su cultivo hasta su producción industrial y su aporte dentro de la bioeconomía circular .....	39
CONCLUSIONES.....		41
RECOMENDACIONES .....		42
BIBLIOGRAFÍA .....		43

## **INDICE DE FIGURAS**

Figura 1. Esquema de fabricación de etanol a partir de la caña de azúcar.....	10
Figura 2. Esquema de la fabricación de panela a partir de la caña de azúcar .....	11
Figura 3. Estación meteorológica INAMHI .....	18
Figura 4. Metodología de la investigación .....	19
Figura 5. Tecnología utilizada para la elaboración de un fertilizante a base del residuo de la vinaza .....	30
Figura 6. Tecnología aplicada para la elaboración de biogás a partir del residuo de la cachaza .....	35
Figura 7. Esquema del ciclo de vida de la caña de azúcar desde su cultivo hasta su transformación industrial.....	40

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Perdida de los residuos en la etapa agrícola de la caña de azúcar .....	23
Tabla 2. Perdida de los residuos en la etapa industrial de la caña de azúcar .....	25
Tabla 3. Materias primas, tecnologías y productos que se obtienen a partir de los residuos de la caña de azúcar en la etapa de cosecha como en su transformación industrial. ....	25
Tabla 4. Insumos que se utilización en la elaboración del fertilizante .....	30
Tabla 5. Materias primas que se utilizan en la fabricación del fertilizante.....	31
Tabla 6. Costo unitario por unidad de presentación del fertilizante .....	31
Tabla 7. Total de ingresos, egresos y flujo de efectivo neto en el periodo de años.....	32
Tabla 8. Composición del biogás .....	34
Tabla 9. Insumos que se utilizan en la fabricación del biogás.....	35
Tabla 10. Materias primas que se utilizan en la elaboración del biogás.....	35
Tabla 11. Costo unitario por presentación del biogás.....	36
Tabla 12. Total de ingresos, egresos y flujo de efectivo neto en el periodo de 5 años.....	36

# CAPITULO I INTRODUCCIÓN

## 1. INTRODUCCIÓN

La agricultura ha existido hace 10.000 años atrás, en la antigüedad la humanidad se alimentaba de los productos que se encontraban en medio de la naturaleza, en el transcurso del tiempo los humanos empezaron a cultivar la tierra, además empezaron a emplear diferentes técnicas de cultivo por la necesidad de poder alimentar a toda la población. Así como se fueron incrementando los cultivos, también se fueron incrementando los residuos a los cuales no les podían dar un aprovechamiento adecuado, esto se debe por el desconocimiento de técnicas para poder implementarlas en los residuos por lo que procedían a botar estos residuos al campo abierto, es por este motivo que en la actualidad se están buscando tecnologías que se pudieran aplicar a los residuos y poder obtener subproductos que ayuden a disminuir los impactos ambientales que son generados a partir de los residuos (Bravo et al., 2017).

Los residuos agrícolas, han causado daños al medio ambiente y a la salud de las personas, hoy en día se está buscando una alternativa de aprovechamiento de los residuos que son generados en las plantaciones, y poder contrarrestar de alguna forma los impactos ambientales que se generan (Argiles, 2007).

En la actualidad se están realizando muchas investigaciones de como poder aprovechar los residuos orgánicos que se generan en las plantaciones, los residuos hoy en día se están convirtiendo en un recurso valioso con un gran potencial de poder impulsarse dentro de una bioeconomía circular (Triana et al., 2014).

Recientemente, se han logrado avances importantes en la elaboración de nuevos productos de valor agregado y energía a partir de diferentes tipos de residuos orgánicos, ya que principalmente están constituidos en carbohidratos (celulosa, Hemicelulosa, lignina, almidón y azúcares), proteínas, aceites / grasas y minerales; en los cuales la digestión anaeróbica y el compostaje son las tecnologías más accesibles en la que los residuos agrícolas se procesan en productos a un menor valor agregado (Vargas & Pérez, 2018).

La valorización de residuos juega un papel fundamental en el establecimiento de la bioeconomía, ya que el residuo orgánico es empleado en las cadenas de valor de base biológica, en el cual, manejando apropiadamente el procedimiento y el enfoque sistémico, los diferentes tipos de residuos orgánicos son transformados en diversos productos de



bioenergía (biogás, gas de síntesis, metano, bioaceite, carbón, hidrógeno, electricidad, biomateriales, biofertilizantes y coagulantes (Vargas & Pérez, 2018).

Sin embargo, la producción comercial de la fruta y los procesos que se implementen para la valorización de los residuos también que conducen a emisiones de gases de efecto invernadero, principalmente como dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) y óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) que contribuyen al calentamiento global, por lo que es importante cuantificarlos, para tener criterios ambientales certeros para la toma de decisiones. El análisis del ciclo de vida (ACV) es una herramienta que evalúa y permite mitigar de manera ambiental los impactos asociados con estos procesos y minimizar las graves consecuencias de las emisiones y el agotamiento de recursos. Actualmente toda actividad agrícola genera cantidades preocupantes de residuos a las que no se les da un tratamiento adecuado (Benavides & León, 2007).

Mediante la adecuada aplicación de tecnologías y tratamientos para el aprovechamiento de los residuos orgánicos del cultivo de la caña desde su cosecha hasta su producción industrial, y la aplicación de tecnologías adecuadas que permite la oportunidad recuperar estos compuestos para su aplicación como materia prima y darles un uso sostenible, permitiendo así alimentar a una bioeconomía circular mediante procesos mecánicos/físicos y biológicos para la obtención de biomateriales y biofertilizantes. Una de las opciones para el aprovechamiento de los residuos orgánicos, es la elaboración de Floculantes Coagulantes orgánicos, los cuales son utilizados comúnmente para la clarificación de diferentes tipos de aguas residuales. Otra, es la elaboración de compost utilizado en las propias plantaciones. Estas actividades generarán una bioeconomía circular de gran importancia para este sector agro-productivo (Aragónes et al., 2020).

## 1.1. JUSTIFICACIÓN

La caña de azúcar es un cultivo considerado de alta importancia en el Ecuador, de este cultivo se puede extraer el azúcar el cual forma parte de la canasta básica de los ecuatorianos y también actúa como un ingrediente para la elaboración de muchos productos. A partir de los residuos de la caña de azúcar se puede fabricar varios coproductos como el alcohol, etanol, energía, combustibles y panela (Castillo & Silva, 2004).

Los ingenios azucareros, cultivadores de la caña y las industrias encargadas de procesar la caña de azúcar, han sido una fuente importante de generación de empleo debido a que necesitan de la mano de obra directa e indirecta para la producción de este alimento (Castillo & Cifuentes, 2004).

La rápida expansión del cultivo de la caña de azúcar, el desmesurado incremento de los residuos generados en el cultivo y en las fábricas que elaboran productos a partir de la caña de azúcar sin una gestión y ninguna disposición final adecuada para dar algún tipo de tratamiento a los residuos generados han sido factores importantes para realizar esta investigación (Uribe, 2014).

Los residuos generados en las industrias, se han convertido en un recurso importante de transformación mediante el uso de la bioeconomía circular, la cual busca generar alternativas de aprovechamiento que ayuden a reducir, reusar y reciclar los residuos orgánicos y a la vez poder generar una economía sostenible y la prevención de los impactos ambientales (Cárdenas, 2019).

Hoy en día se ha evidenciado sobre los importantes avances que se han venido realizando en la elaboración de productos con un alto valor agregado, y producción de energía a partir de diferentes residuos orgánicos, ya que en su composición contienen celulosa, azúcares, almidones y proteínas, y gracias a los procesos de digestión anaerobia y de compostaje se han logrado obtener coproductos como es el caso del biogás y fertilizantes (Cadavid & Bolaños, 2015).

Esta investigación está enfocada en la bioeconomía circular, el cual incentiva a poder aprovechar a los residuos que se generan en el cultivo de la caña de azúcar, además se investigara sobre las tecnologías que se pueden aplicar a los residuos y que coproductos se pueden elaborar de los mismos, y de esta manera poder generar un impacto ambiental positivo al reusar y aprovechar estos residuos (Jaramillo, 2018).

Los principios de valorización de residuos con la bioeconomía circular nos conllevarán a revalorizar los subproductos generados de las plantaciones, obtener subproductos con un alto valor agregado, los cuales pueden ser aprovechados directamente en las mismas plantaciones, reducir el impacto ambiental y generar una sostenibilidad medioambiental. Por otra parte, la aplicación de las tecnologías en los residuos orgánicos generados en la parte agrícola como industrial de la caña de azúcar permitirán aprovechar estos residuos y generar de los mismos nuevos subproductos ayudando de esta manera a minimizar los impactos ambientales y a la vez generar nuevos ingresos a los pequeños y grandes productores que se encargan de elaborar productos a partir de la caña de azúcar.

## **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En el Ecuador no se aprovechan de una manera adecuada a los residuos generados en la parte agrícola como en la parte industrial, esto se debe al desconocimiento por parte de los agricultores y productores del aprovechamiento que se puede brindar a estos residuos. Según (Riera et al., 2018), establece que una estrategia para poder generar un valor a los residuos generados se debe considerar varios aspectos como la época del año en que se producen, cantidades de residuos producidos, área geográfica en donde se generan los residuos, relación con las zonas de mayor consumo y los costos generados del transporte.

Las extensas plantaciones del cultivo de la caña de azúcar producen grandes cantidades de residuos orgánicos, a los cuales no se les han dado un tratamiento adecuado si no que al contrario han sido arrojadas a campo abierto ocasionando de esta manera que se produzca una desmesurada acumulación de desperdicios y foco de muchos vectores, los cuales han venido ocasionando daños a la salud de los productores, a las plantaciones y a la calidad del producto (Cabrera & Zuaznábar, 2010).

Los pequeños y grandes productores del cultivo de la caña de azúcar no han podido enfrentar esta problemática de una manera adecuada, ya sea por descuido o desconocimiento del aprovechamiento que se puede aplicar a los residuos generados en las etapas de cultivo de la caña de azúcar desde su cosecha hasta sus transformaciones industriales, como en el caso de la producción de etanol y estos a su vez generan residuos como la cachaza, vinaza y bagazo, otro factor que influye son los bajos recursos económicos y la inexperiencia de las posibles tecnologías que pudieran ser aplicadas a estos residuos generados en cada etapa, es por esta razón que se motiva en esta investigación a plantear la pregunta:

¿Cómo aprovechar los residuos que se generan en cada una de las etapas del ciclo de vida de la caña de azúcar tanto agrícola como industrial a nivel artesanal en el cantón Puyo, provincia de Pastaza?

### **1.3. HIPOTESIS**

La evaluación técnico – económica de las alternativas del aprovechamiento de los residuos generados en el cultivo de la caña de azúcar en el cantón Puyo, provincia de Pastaza, permitirá identificar las tecnologías más viables para la generación de nuevos subproductos.

### **1.4. OBJETIVOS**

#### **1.4.1. OBJETIVO GENERAL**

Proponer una alternativa técnico-económica para la valorización de los residuos de la caña de azúcar en la región amazónica del Ecuador bajo un enfoque de bioeconomía circular.

#### **1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Identificar los residuos generados en cada una de las etapas del ciclo de vida de la caña de azúcar.
2. Identificar los tipos de tecnologías que se pueden aplicar a los residuos generados en la etapa de cultivo e industrial de la caña de azúcar y que subproductos se pueden obtener de las mismas.
3. Analizar técnico-económicamente las posibles alternativas de aprovechamiento de los residuos generados en el ciclo de vida de la caña de azúcar.

## **CAPÍTULO II REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

#### **2.1. Ciclo de vida de la caña de azúcar**

El ciclo de vida de la caña de azúcar se divide en dos etapas, la etapa agrícola y la etapa industrial esta última etapa se puede desarrollar a pequeña, mediana y gran escala.

#### **2.2. Etapas del cultivo y cosecha de la caña de azúcar.**

La mayor parte del cultivo de la caña de azúcar se produce en la costa y la amazonia, este cultivo se da en más de 80 países en todo el mundo, en Ecuador la caña es considerada como un cultivo de gran importancia ya que a partir de ella se generan varios subproductos como es el caso de la panela, azúcar y etanol, el cultivo de la caña es considerado de gran importancia en la economía del país, ya que a partir de su cultivo y proceso final se generan varios empleos para las personas que se encargan tanto de cultivar y realizar las producciones industriales (Duarte, 2019).

La importancia de la caña de azúcar dentro de la agroindustria es muy relevante por los procesos y coproductos que se pueden obtener de la misma, sin embargo también existen dificultades en los sistemas tradicionales que utilizan para la fabricación de los coproductos, esto se debe a que no existe un adecuado manejo del cultivo, además muchas de las veces no utilizan fertilizantes para la eliminación de las plagas que deterioran las plantas, también existe un mayor descuido en el control de las malezas las cuales provocan pérdidas irremediables en el cultivo (Duarte, 2019).

El ciclo de vida de la caña de azúcar empieza con:

##### **2.2.1. Preparación del suelo**

Según (Torres et al., 2015), establece que la preparación del suelo antes de la siembra del cultivo de la caña de azúcar debe estar fértil para poder acelerar su crecimiento y mantener además un mayor rendimiento, cualquier tipo de suelo puede ser apto para el cultivo de la caña de azúcar siempre y cuando este tenga un buen drenaje. Los suelos francos son muy utilizados para la siembra de la caña de azúcar debido a que tienen una buena capacidad de retención de agua, tener una buena preparación de tierra facilita en el desarrollo acelerado y adecuado del cultivo, existen varios factores que afectan al crecimiento del cultivo uno de ellos son los suelos compactados.

El uso de los fertilizantes en el cultivo de la caña de azúcar es muy importante ya que previene que existan plagas que afectan en el cultivo además mejoran en el desarrollo del cultivo, además mejoran los suelos (Torres et al., 2015).

### **2.2.2. Siembra**

La investigación realizada por (Diaz & Portocarrero, 2002), establece que la siembra del cultivo de la caña de azúcar inicia con la preparación de los cogollos con una distancia aproximada de 11 metros, se deben sembrar los cogollos de forma lineal para la siembra se debe utilizar estacas, se deben adecuar correctamente los cogollos para que se puedan adaptar con las condiciones del suelo.

El cogollo tiene que ser situado en forma de cadenas, se debe tapar el cogollo de una manera adecuada para que pueda germinar la caña de azúcar, hay que tomar en cuenta que la tierra debe estar mullida para tapar a los cogollos, ya que esto podría afectar en el crecimiento de la caña, es recomendable realizar una adecuada preparación del suelo antes de proceder a realizar la siembra (Diaz & Portocarrero, 2002).

### **2.2.3. Fertilización**

El uso de los fertilizantes durante el cultivo de la caña de azúcar ayuda a combatir a las plagas que afectan el cultivo, según (Salgado et al., 2003), la aplicación de nitrógeno en los cultivos es de gran importancia debido a que máxima la materia seca y también el rendimiento del cultivo, además que el nitrógeno aporta al cultivo proteínas las cuales facilitan el proceso de fotosíntesis y el crecimiento de la planta.

El cultivo es aprovecha el nitrógeno aplicado dentro de su etapa de crecimiento, además mejora su rendimiento, la caña de especie soca, recibe de una manera adecuada los suministros de nitrógeno dentro de su etapa de crecimiento, la aplicación de fertilizantes en la etapa de crecimiento del cultivo incrementa el rendimiento y aceleran el crecimiento de la caña de azúcar y además ayuda a que exista dentro de la planta un mayor contenido de sacarosa (Salgado et al., 2003).

### **2.2.4. Riego**

En la etapa de crecimiento del cultivo de la caña de azúcar, en la investigación realizada por (Avalos & Pacheco, 2012), establece que el uso del riego no es muy importante debido a que en la morfología de la planta solo necesita que se produzca humedad para poder germinar y poderse desarrollar de una manera adecuada al suministrar una cantidad excesiva de agua al cultivo retrasarían el proceso de germinación de la planta y muchas de las veces el cultivo no se desarrolla.

El crecimiento temprano de la caña de azúcar necesita una buena aplicación de agua, ya que el nivel de facilita el crecimiento de los tallos del cultivo, sin embargo, proporcionar un excesivo sistema de riego a la planta afectaría directamente en la absorción de los nutrientes, debido a que no existiría un bien sistema de oxigenación esto por lo regular sucede en los suelos pesados (Avalos & Pacheco, 2012).

#### **2.2.5. Control de malezas**

Unos de los factores importantes que se debe aplicar al cultivo de la caña de azúcar en la etapa de crecimiento es el control de las malezas, una de las mejores alternativas usadas para el control de malezas es la utilización de herbicidas los cuales eliminan todas las malezas que se producen en el ciclo de vida de la caña de azúcar, una de las ventajas de los herbicidas es que actúan de una forma inmediata en contra de las malezas que se encuentran muchas de las veces en las hojas de la caña de azúcar, evitando de esta manera que existan pérdidas de plantaciones del cultivo de la caña (Viera & Escobar, 2015).

#### **2.2.6. Maduración**

En la etapa de maduración de la caña de azúcar aumenta los sólidos solubles y gran parte de la sacarosa, también se incrementan los sólidos con un mayor contenido de sacarosa, esto se debe a que las nuevas sacarosas son sintetizadas dentro de los tallos, sino que además a que otros azúcares que están incluidos en medio de los reductores los cuales se van convirtiendo en azúcares, en la etapa de maduración del cultivo de la caña de azúcar es de gran importancia señalar que se produce una reducción significativa en sus concentraciones de azúcares y a su vez aumenta su sacarosa (Blanco et al., 2003).

#### **2.2.7. Corte**

Según (Ortiz et al., 2012), los efectos sobre la labor de corte afectan tanto a los corteros como a la industria y, surgen; primero como consecuencia de la caída en el rendimiento del cortero cuando tiene que cortar caña sin quemar a la cual no está habituado y, segundo, por el incremento en el volumen total de biomasa que resulta del incremento de materia extraña cuando la caña no se quema (la caña verde o sin quemar conserva el cogollo y el follaje) La labor al cortero se le paga a destajo y en consecuencia una reducción en el rendimiento significa una reducción en su ingreso.

Previo al corte manual o mecanizado de la caña de azúcar, muchas de las veces proceden a incendiar el cañaveral para eliminar la mayor parte de follaje seco y así facilitar el acceso de los cortadores. La cosecha consiste en cortar el tallo con machete, desde su parte más baja,

se separa el follaje que no es eliminado por la quema de hojas verdes y punta y se forman pilas con los tallos, usualmente orientados perpendicularmente al sentido de los surcos siguiendo el frente de corte, lo que facilita su levante por un cargador mecánico que los deposita en una unidad de transporte (Ortiz et al., 2012).

#### **2.2.8. Alza**

El proceso de alza de la caña se realiza por medio de cargadoras que usan para recolectar el producto, los parámetros que se evalúan dentro de las cargadoras son, que por ninguna razón la cargadora deberá pasar por el carril de la caña, para evitar causar daños en la caña que se encuentra cortada y a la vez cosechada. A la vez no se deberá cortar los surcos de las cañas que están ya cosechadas con el fin de poder tomar el bulto de una manera adecuada, se debe tomar la caña cosechada desde la parte de arriba y luego se debe hacer el apilado de la caña cosechada, para el cargado del bulto se debe mover por medio del garfio el operador para esta operación debe estar en forma perpendicular, el auxiliar que ayuda al operador debe mantener una distancia prudencial para realizar una operación adecuada del alza de la caña y evitar que exista un incidente a la vez (Blanco et al., 2003).

#### **2.2.9. Transporte**

Después de haberse realizado la cosecha de la caña de azúcar la misma se procede a transportar y almacenar, según (Martinez et al., 2011), establece que es muy importante realizar la recolección de esta materia prima ya que de esta dependerá que exista una disponibilidad de caña de azúcar suficiente para las fábricas encargadas de producir coproductos a partir de la misma, es importante que el proceso de transporte se verifique las cañas estén libres de residuos de hojas, cogollos y paja.

Las cosechas de la caña de azúcar se deben realizar con tiempos establecidos y con una técnica adecuada, a la caña se la debe cosechar en la fase de maduración de lo contrario existirán pérdidas, si se le aplica un inadecuado método de cosecha, se producirán pérdidas irremediables ya que bajara la calidad del jugo de la caña, causaría problemas en la molienda de la caña y además existirán materias extrañas y residuos como paja, hojas y cogollos, es por este motivo que se debe realizar una adecuada cosecha y transporte verificando que las cañas lleguen en óptimas condiciones para su procesamiento (Martinez et al., 2011).



## 2.3. Principales transformaciones industriales de la caña de azúcar a nivel artesanal.

A partir de la caña de azúcar pueden fabricar coproductos a nivel artesanal como es el caso de la panela y el etanol.

### 2.3.1. Tecnología aplicada para la producción de etanol de forma artesanal.

Para la fabricación de etanol a partir de la caña de azúcar, tiene que pasar por 5 procesos los cuales son el acondicionamiento de la materia prima en donde se procede a realizar un lavado de la caña de azúcar a 45°C para posterior realizar la extracción del jugo mediante la molienda, seguidamente se realiza la fermentación de la glucosa y fructosa en el etanol y el dióxido de carbono, la levadura encargada de realizar el proceso de fermentación de una manera adecuada es la *Saccharomyces cerevisiae*, la cual recircula por medio de la centrifuga del fermentador, los gases que se generan en la fermentación se lo procede a retirar y enviarlos a la torre de absorción para poder recuperar el 95% del etanol, posteriormente se realiza la separación y deshidratación mediante la adsorción por medio de tamices sed recupera el etanol de la fermentación con un 99% de pureza, el proceso de destilación se realiza en dos fases en la primera se remueve el dióxido de carbono disuelto y gran parte de agua para poder obtener una destilación con 50% de etanol, luego se procede a realizar el tratamiento de los efluentes en donde realizan un tratamiento en la evaporación en el cual consiste en concentrar todos los dolidos y demás componentes con baja volatilidad que se encuentran presenten en las vinazas hasta lograr obtener un valor cercano del 15% debido a que estas concentraciones se proceden a realizar la incineración (Cordova et al., 2005).

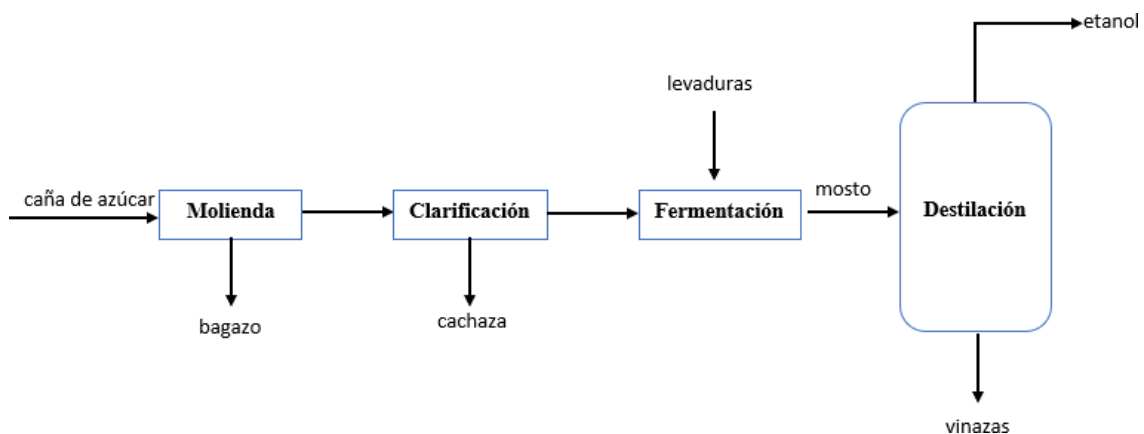


Figura 1. Esquema de fabricación de etanol a partir de la caña de azúcar

### 2.3.2. Tecnología aplicada para la fabricación de panela de forma artesanal

Para el proceso de elaboración de la panela de forma artesanal como se expresa en la figura 2. Según (Duque, 1993), establece que primero se realiza la molienda de la caña de azúcar en donde se extrae el jugo para este proceso se utiliza un trapiche, luego se procede a realizar la clarificación o limpieza en donde utilizan un balde y un tamiz para la eliminación de las impurezas, seguidamente se realiza el proceso de evaporación, el jugo es llevado a una paila el jugo de guarapo lo cocinan a una temperatura de 60°C, luego se le añade bicarbonato de sodio el cual actúa como un agente clarificador, en la evaporación se elimina el residuo de la cachaza que es utilizado para la alimentación de los animales, seguidamente se realiza la concentración del jugo este proceso se realiza con el fin de brindar la textura adecuada a la panela, luego realizan el punteo en la etapa final del proceso para obtener una panela con la concentración deseada y por último se realiza la etapa del batido para lo cual la miel es llevada a una paila y la proceden a batir hasta obtener una consistencia, coloración y textura adecuada esta operación se la realiza manualmente utilizando palos de madera obteniendo de esta manera la panela de forma artesanal (Farfán et al., 2015).

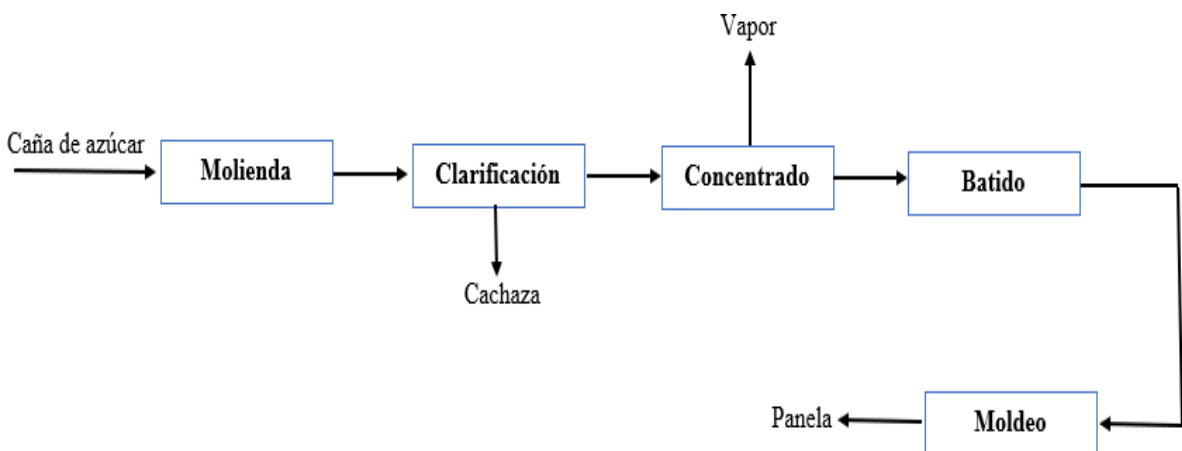


Figura 2. Esquema de la fabricación de panela a partir de la caña de azúcar

### 2.3.3. Coproductos industriales de la caña de azúcar

Según (Aguilar et al., 2017), estableció que a partir del cultivo de la caña de azúcar se pueden obtener varios coproductos, a partir del trapiche se procede a moler la caña de azúcar producto de eso se obtiene el jugo, el residuo que se genera del proceso es el bagazo, el jugo que se extrae de la molienda proceden a clarificarlo por medio del encalado, calentado y filtrado, en el proceso de filtrado se obtiene el residuo de lodo de prensa, el jugo que se clarifico se procede a evaporar con el objetivo de formar un jarabe y se procede a cristalizarlo

por medio del proceso de ebullición por medio de recipientes de vacío, la mezcla de estos cristales se procede a centrifugar, el residuo que se genera en este proceso es la melaza, mientras que el residuo de la vinaza se obtiene en el proceso de destilación en la elaboración de etanol, en la etapa del cultivo de la caña de azúcar se obtienen los residuos de la paja, cogollo y hojas estos residuos son utilizados en la alimentación de animal por sus contenidos de fibra que aporta dentro de su alimentación.

En la cosecha de la caña de azúcar se generan algunos residuos agrícolas como es el caso del cogollo, hojas y paja, y también a partir de la caña de azúcar se producen coproductos industriales que son derivados de la manufactura, a partir de la caña de azúcar se puede elaborar panela y etanol estos coproductos generan residuos como el bagazo, cachaza, melote y la vinaza, estos residuos son utilizados para la alimentación de los animales debido a que contienen grandes cantidades de proteínas y minerales (Lagos & Castro, 2019).

Según (Aucatoma et al., 2005), establece que el residuo del bagazo que se obtiene de la molienda para la elaboración de coproductos como es el caso de la panela y etanol este residuo es utilizado para la cogeneración, mientras que los residuos de cachaza, vinazas y cenizas se las utiliza en la caña compostada, la cachaza es un residuo que se obtiene en el proceso de clarificación del jugo de la caña esta posee un contenido de humedad del 70%, dentro de su composición contiene Hemicelulosa, lignina las cuales provienen del bagacillo el cual atrapa todas las impurezas y los azúcares, otro residuo que se genera son las vinazas este residuo se genera en la destilación del proceso de elaboración del etanol.

## **2.4. Residuos generados a partir de la caña de azúcar en la etapa de cosecha y producción industrial en pequeña y mediana empresa.**

### **2.4.1. Manejo de residuos**

Una vez realizada la cosecha del cultivo de la caña de azúcar se procede a retirar todos los residuos como es el caso de la paja, el cogollo y las hojas mediante un rastrillo mecánico, estos residuos son acordonados entre los surcos, los residuos son apilados para luego proceder a quemarlos y de esta manera eliminar las malezas.

La utilización del rastrillo es muy importante para realizar un manejo adecuado de los residuos que se generan en el cultivo de la caña de azúcar ya que disminuye los tiempos de recolección de los residuos que se generan y ayuda a que los agricultores a no tener un trabajo forzado (Villazón et al., 2017).

#### **2.4.2. Cogollo**

De los residuos obtenidos en el cultivo de la caña de azúcar el 22% corresponde a cogollo de la caña, a este residuo no se lo aprovecha por la razón de que al momento de ser cosechado se procede a realizar la quema del cultivo con el propósito de eliminar en gran parte las malezas, el cogollo se lo encuentra en parte de arriba de la caña de azúcar este residuo está conformado por la hojas y la punta, este residuo es utilizado para la alimentación animal debido a que contiene un gran porcentaje de fibras (Orta et al., 2017).

#### **2.4.3. Hojas**

Las hojas de la caña de azúcar se obtiene del residuo generado en la etapa de cosecha de la misma, la composición de las hojas de la caña de azúcar es muy similar a la del bagazo, las hojas no contienen azúcares además que contienen bajo contenido de humedad, las hojas son utilizadas para la elaboración de energía, las hojas el cogollo y la paja que resulta del residuo generado en la etapa de cultivo de la caña de azúcar afectan directamente en la fertilización y riego en la etapa agrícola, las hojas de la caña muchas de las veces son utilizadas como alimento para el ganado (Basanta et al., 2007).

El azúcar que contiene las hojas de la caña, se almacena en sus tallos, la cual acumula una mayor cantidad de azúcares esto depende del ambiente en donde se desarrolle la planta ya que a mayor capacidad que contenga la planta de reaccionar a un determinado ambiente, tendrá una mejor acumulación de azúcares, de ahí nace la importancia de tener una mejor variedad las cuales se adapten a las condiciones ambientales de los ambientes trópicos del Ecuador (Castillo & Cifuentes, 2004).

#### **2.4.4. Paja**

La paja es el residuo que se genera durante la cosecha de la caña de azúcar y que quedan en el campo (hojas verdes, hojas secas, puntas y pedazos de tallos). La paja de la caña de azúcar es un residuo beneficioso para el hombre cuando se usa correctamente. Su quema es altamente destructiva, si se realiza indiscriminadamente genera daños al suelo y emite partículas de carbón vegetal que pasan directamente al medio ambiente. La atmósfera se contamina, ocurren variaciones climatológicas y se daña sensiblemente el entorno que nos rodea (León et al., 2013).

La paja de la caña de azúcar es un residuo beneficioso para el hombre cuando se usa correctamente. Su quema es altamente destructiva, si se realiza indiscriminadamente genera daños al suelo y emite partículas de carbón vegetal que pasan directamente al medio

ambiente. Además, se reporta la elaboración de papel artesanal de paja de caña de azúcar y obtención de celulosa a partir de bagazo de caña de azúcar, sin embargo, se conoce que la celulosa presenta una estructura constituida principalmente de polisacáridos lineales y cristalinos (Celulosa), heteropolisacáridos ramificados, no celulósicos y no cristalinos (Hemicelulosa), y un polímero fenólico heterogéneo con una estructura no entendida en su totalidad conocida como lignina (López et al., 2016).

## **2.5. Residuos o coproductos generados a partir de la caña de azúcar en la elaboración de etanol y panela.**

### **2.5.1. Bagazo**

El residuo generado de la extracción del jugo de la caña por medio de un trapiche es el bagazo el cual representa un 53% del total de la cosecha de la caña de azúcar, el residuo del bagazo está formado por dos tejidos el fibroso y el bagacillo (Becerra et al., 2016).

El bagazo al momento que pasa por el trapiche conserva un 49% los azúcares, el cual se convierte en una ventaja favorable ya que puede ser utilizada para la alimentación animal, pero también tiene un aspecto negativo para el panelero debido a que se generan demasiado desperdicio, el bagazo lo utilizan también para la elaboración de cartón, papel y producción de energía (Becerra et al., 2016).

### **2.5.2. Cachaza**

Según la investigación realizada por (Fernández, 2003), la cachaza es un residuo que se obtiene de la clarificación del jugo de caña de azúcar, al momento que se está elaborando el etanol los altos contenidos de materia orgánica, fósforo, calcio y nitrógeno lo potencializan para el recurso de fertilización y mejoramiento de suelos marginales. La cachaza es un material de café obscuro y negro, consiste principalmente en la mezcla de fibras de caña, sacarosa, cera, fosfatos de calcio, azufre, arena y suelo, la mayor parte de estos compuestos proceden de la molienda de la caña. Los fosfatos de calcio y de azufre se agregan durante el proceso de neutralización y clarificación del jugo de caña.

La cachaza es el residuo que se obtiene por sedimentación del jugo suspendido, y con posterioridad se somete a filtración se le denomina cachaza primaria, y cachaza final a los residuos que se descarga de los filtros para ser desechados. Su constitución depende varios factores, tipo de suelo, variedad de la caña, tipo de cosecha, grado de extracción del jugo, cantidad de cal y otros productos usados en la clarificación y filtración (Fernández, 2003).

### **2.5.3. Vinazas**

La vinaza, es un líquido de color café oscuro, que queda como residuo de la destilación del alcohol se caracteriza por su bajo pH, su alto contenido de materia orgánica y su gran concentración de elementos minerales. Dependiendo de la eficiencia de la fábrica se estima que por cada litro de alcohol que se produce se generan alrededor de 10 litros de vinaza (Quiroz & Pérez, 2013).

La composición química de la vinaza es bastante variable, dependiendo principalmente de la materia prima utilizada en la destilación, la cual puede proceder de 3 fuentes: melaza (concentrada), directamente del jugo de los molinos y mixta (mezcla de jugo y melaza).

La vinaza, que puede definirse como el efluente resultante de la producción de alcohol a partir de la fermentación y la destilación de una materia prima, en este caso, residuos de caña de azúcar, se caracteriza por ser un líquido de color marrón, con un gran contenido de sólidos suspendidos, olor a miel final y sabor a malta (Zúñiga & Gandini, 2013).

## **2.6. Análisis técnico- económico para procesos tecnológicos**

### **2.6.1. Análisis técnico para procesos tecnológicos.**

El análisis técnico identifica las posibles tecnologías que se pueden aplicar a las materias primas para poder elaborar subproductos, este tipo de análisis idéntica que tipo de materia, prima, insumos y que tipo de maquinarias son necesarias para poder instalar una planta de producción de cualquier producto, también se identifican cuáles van hacer los costos tanto de inversión como los operativos que son requeridos para la fabricación de una planta (Nassir, 2011).

El objetivo principal del estudio técnico es poder determinar qué tipo de producción puede ser eficiente para la elaboración de un determinado producto, en cuanto a la selección de materia prima, insumos y adecuamiento de la planta están relacionados con el proceso de producción que se va a desarrollar y los cuales permitirán cuantificar los costos generados en la operación (Nassir, 2011).

### **2.6.2. Análisis económico para procesos tecnológicos.**

Una vez que se realizado el análisis la tecnología para elaborar un determinado producto, se debe también elaborar el análisis económico, para la realización del análisis económico se debe tomar en cuenta los recursos que van hacer necesarios para la implementación de la planta, también se debe cotizar las materias primas, insumos que ingresan dentro del proceso

y por último estimar los gastos operativos que se generen en la elaboración del producto, y por otro lado se debe analizar las ganancias que se van a generar con la misma. Obteniendo estos datos se podrá realizar una propuesta económica necesaria para la implementación de la planta así mismo se podrán tomar decisiones que ayuden a verificar que dichos resultados obtenidos tienen rentabilidad (Álvarez, 2015).

### **2.6.3. Criterios para la evaluación económica**

La evaluación económica ayuda analizar la viabilidad de los proyectos de inversión, para poder determinar si el proyecto es factible o no se deben aplicar métodos de evaluación económica que ayuden a contemplar el dinero que se genera en el transcurso del tiempo, con la finalidad de poder medir su eficiencia y rendimiento (Rodríguez et al., 2010).

#### **2.6.3.1. Valor actual neto (VAN)**

El valor actual neto es un indicador dinámico de factibilidad más utilizado en la evaluación de proyectos de inversión, el cual busca determinar con el tiempo los flujos de dinero que se generan con el proyecto y a la vez poder comparar esa equivalencia con la inversión inicial, y mediante ello poder determinar si el proyecto es viable o no (Mete, 2014).

#### **2.6.3.2. Tasa Interna de retorno (TIR)**

La tasa interna de retorno es considerada como un indicador financiero, que tiene como objetivo poder medir el rendimiento de la inversión en el proyecto, también es considerada como la tasa que iguala la suma que se generan en los flujos que se descuentan a la inversión inicial, en otras palabras, la tasa interna de retorno es la tasa de rendimiento que se genera en las empresas por medio de la inversión, y que a la vez permite saber el rendimiento que se genera con la inversión (Mete, 2014).

#### **2.6.3.3. Relación costo/beneficio**

La relación costo/ beneficio es considerado como un indicador financiero, que ayuda a determinar la utilidad que se obtendrá a partir de la inversión, es decir que por cada dólar invertido cuando se va a ganar (Aguilera, 2017).

## **2.7. Bioeconomía**

Según la investigación realizada por (Jaramillo, 2018), describe a la bioeconomía como un modelamiento económico el cual se basa fundamentalmente en la elaboración de recursos de tipo biológico los cuales son renovables, y la transformación de estos recursos en productos los cuales se les añade un valor agregado, formando de esta manera bioproductos y energía, para lo cual se pretende promover la utilización de estos recursos que son

renovables para de una forma u otra poder sustituir aquellos recursos elaborados a base de combustibles fósiles, con el objetivo de poder obtener productos más sostenibles, de esta manera se contribuirá obtener un sistema de economía sostenible, y también ayudaría a fomentar en las demás industrias a acogerse a un sistema de bioeconomía que ayuden a resolver la problemática que existe sobre los desperdicios generados dentro de la industria, los cuales podrían ser reutilizados y elaborados en otros coproductos.

Le bioeconomía circular tiene muchas definiciones alrededor del mundo y su terminología que se le emplea también difiere, pero a la final la bioeconomía abarca principalmente a la innovación sostenible, y al crecimiento del empleo y de la economía (Jaramillo, 2018).

### **2.7.1. Bioeconomía circular**

Según la investigación realizada por (Ramírez, 2021), establece que la bioeconomía circular se basa fundamentalmente en poder proteger y a la vez desarrollar flujos para renovar los recursos, es decir cuando se necesita de un recurso, utilizando técnica circular se puede seleccionar adecuadamente la tecnología que ayude a los procesos mantener los recursos renovables con el mayor rendimiento, una economía circular hace reutilizar el capital necesario para poder sostener una empresa.

Por medio de la bioeconomía circular se pueden optimizar los beneficios sobre los recursos, materias primas, insumos y a partir de ello poder reutilizar los residuos que se generan para elaborar otros coproductos y de esta manera se generaría una bioeconomía circular el cual no se va a desperdiciar nada del proceso si no que al contrario todo se va a reciclar y renovar, estos métodos se están utilizando hoy en día dentro de las fábricas ya que son de gran beneficio, además que ayudan a que los productos mantengan un mayor tiempo de vida de los productos (Ramírez, 2021).

Dentro de la bioeconomía circular se vinculan muchos sectores económicos como es el caso de la ganadería, acuicultura, ganadería y silvicultura, en el sector primario abarca la industria de alimentos, papelera, textil, biotecnológica y la energética, mientras tanto que el sector agroindustrial la bioeconomía abarca en la producción de lácteos, cárnicos, embutidos y conservas, al hablar de una bioeconomía sostenible se consideran a las actividades biológicas y económicas los cuales ayudan a mantener una recirculación de los procesos (Carus & Dammer, 2018).



## CAPITULO III MATERIALES Y MÉTODOS

### 3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Esta investigación se desarrollará en el catón Puyo provincia de Pastaza, en las coordenadas  $1^{\circ}29'25''\text{S}$   $78^{\circ}00'08''\text{O}$ . El clima que presenta es tropical húmedo con humedades relativas superiores al 88%, la temperatura fluctúa entre  $21^{\circ}$  y  $23^{\circ}\text{C}$ , y la altitud está entre 950 s.n.m, tal como se aprecia en la figura 3.



Figura 3. Estación meteorológica INAMHI

#### 3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El trabajo será de investigación exploratoria, descriptiva y explicativa utilizando como base la investigación bibliográfica. El carácter de estudio será cualitativo debido a que se describirán los residuos que se generan a partir del cultivo y producción industrial de la caña de azúcar, en la investigación se analizará que tipo de tecnologías pudiesen aplicarse a los residuos generados en el cultivo y producción industrial de la caña de azúcar y que productos se pueden obtener a partir de las tecnologías, así mismo permitirán analizar una propuesta técnico-económica y de esta manera poder cuantificar los impactos generados por estos residuos hacia el medio ambiente.

### 3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

Para el desarrollo de este proyecto, se investigarán los desechos que se generan en el cultivo y la producción a pequeña y mediana empresa. También se identificarán las tecnologías que se pueden aplicar a estos residuos, para la investigación se utilizara revisión bibliográfica de artículos científicos, tesis de posgrado, tesis de doctorado y artículos de revistas.

En la figura 4. Se detallan las etapas que se van a desarrollaron para el cumplimiento de los objetivos propuestos, también se describirán las actividades que se va a realizar en la investigación.

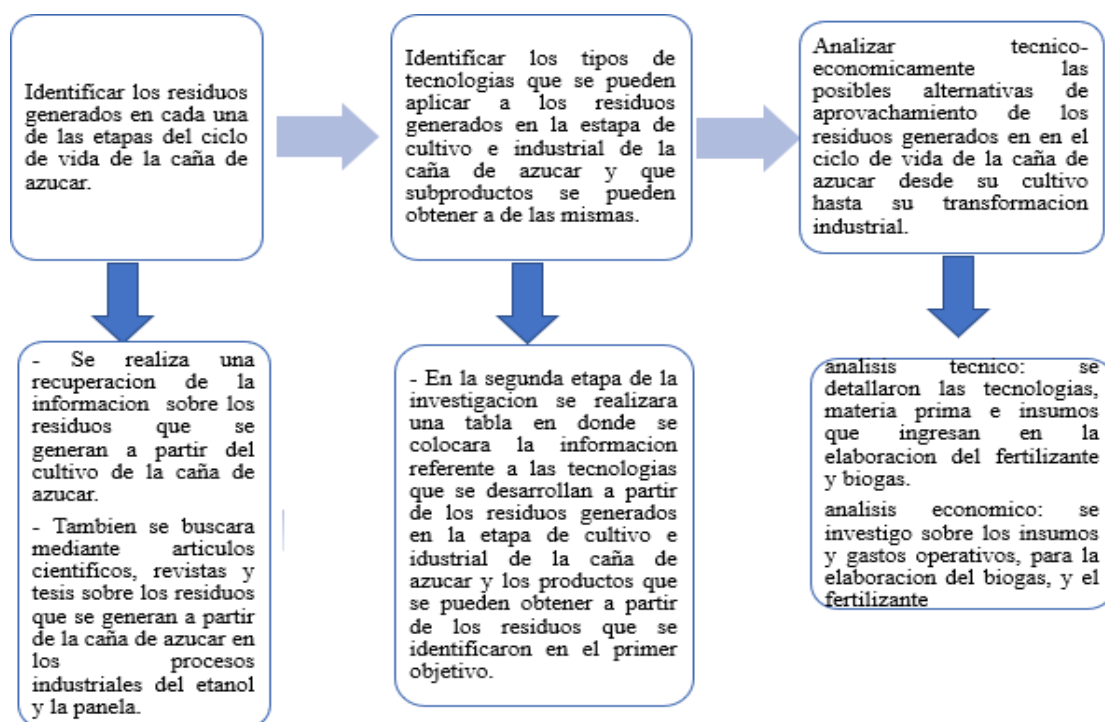


Figura 4. Metodología de la investigación

#### 3.3.1. Materiales y métodos: objetivo 1. (Identificar los residuos generados en cada una de las etapas del ciclo de vida de la caña de azúcar).

Se realizó una recuperación de la información mediante artículos científicos, tesis, revistas y fuentes de verificación confiables, sobre los residuos que se generan a partir del cultivo de la caña de azúcar y en sus procesos industriales en la elaboración de panela y etanol a nivel artesanal.

**3.3.2. Materiales y métodos: objetivo 2. (Identificar los tipos de tecnologías que se pueden aplicar a los residuos generados en la etapa de cultivo e industrial de la caña de azúcar y que subproductos se pueden obtener de las mismas).**

En la segunda etapa de la investigación se relacionaron los residuos o coproductos (materias primas), con las tecnologías y los nuevos productos que se pueden obtener a partir de los residuos que se identificaron en el primer objetivo y que cumplen con el concepto de bioeconomía circular.

**3.3.3. Materiales y métodos objetivo 3. (Analizar técnico-económicamente las posibles alternativas de aprovechamiento de los residuos generados en el ciclo de vida de la caña de azúcar).**

**3.3.3.1. Análisis Técnico**

En el análisis técnico se realizó una investigación bibliográfica en donde se detalló la tecnología que usa para la elaboración de biofertilizantes orgánicos y biogás, también se realizó dos escenarios en el escenario 1, de detallaron los insumos que se utilizan en la elaboración de biofertilizantes y biogás, y en el escenario 2, se describieron las materias primas que van hacer utilizadas en la elaboración del biofertilizante y biogás las cuales son el bagazo, cachaza, la vinaza.

**3.3.3.2. Análisis económico**

El análisis económico se investigó mediante artículos científicos, tesis, artículos de revista y fuentes confiables de información , sobre el costo de los insumos y gastos operativos para elaborar el fertilizante a base del residuo de la vinaza, así mismo se investigó el costo de los insumos y gastos operativos para elaborar el biogás a base del residuo de la cachaza, también se realizó una discusión de la evaluación técnico-económica de la elaboración del fertilizante y biogás, y se detalló como aportan estos productos dentro de la economía circular en base a los residuos obtenidos de la etapa de cultivo como industrial de la caña de azúcar.

**3.3.3.3. Indicadores dinámicos de factibilidad**

Se realizó una recuperación de la información sobre qué tan factible es producir un fertilizante a partir del residuo de la vinaza, y la producción de biogás a partir del residuo de la cachaza, por tal motivo se investigó sobre los indicadores dinámicos, como es el caso del Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR), relación costo/benéfico, y el precio unitario en la producción de biogás y el fertilizante.

### **3.3.4. Fuentes de recopilación de la información**

En la presente investigación se buscó toda la información acerca de los residuos que se generan en la fase de cosecha, e industrial de la caña de azúcar, y las tecnologías que se pueden aplicar a estos residuos para obtener coproductos, para la búsqueda de la información se exponen la siguiente fuente.

#### **Fuente primaria:**

- a) Libros
- b) Artículos científicos
- c) Revisión bibliográfica
- d) Sitios web

## CAPITULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Residuos generados en la etapa de cultivo e industrial de la caña de azúcar.

Los residuos generados en la etapa del cultivo de la caña de azúcar que fueron identificados son:

##### 4.1.1. Cogollo

El residuo del cogollo de la caña de azúcar se obtiene en la etapa de cosecha de la caña de azúcar, en la Amazonía los agricultores utilizan este residuo para la alimentación del ganado bovino y ovino, según la investigación realizada por (Timana et al., 2017), explica que en el residuo del cogollo se acumulan azúcares reductores, proteínas y fibras que son de gran ayuda para mantener una mejor digestión en los animales.

En la Amazonía la cantidad de residuos que se generan a partir de la caña de azúcar depende principalmente de la variedad y la madurez del cultivo a la cosecha, sus condiciones climáticas y el tipo de suelo que se utiliza para su cultivo, los residuos que del cogollo que se genera por cada hectárea de cultivo de la caña de azúcar es de 5.6 toneladas con un rendimiento de 7.1 toneladas cosechadas (Romero & Galán, 2014), como se aprecia en la tabla 1.

##### 4.1.2. Paja

En la etapa de cosecha de la caña de azúcar se genera el residuo de la paja el cual está formado por hojas y puntas, en la región Amazónica los agricultores utilizan este residuo para encender las calderas para elaborar etanol y panela, también lo emplean en la alimentación del ganado (León et al., 2013).

En la Amazonía la cantidad de residuos de paja que se genera por cada hectárea de cultivo de la caña de azúcar es de 2.9 toneladas con un rendimiento de 7.1 toneladas cosechadas (Romero & Galán, 2014), como se aprecia en la tabla 1.

##### 4.1.3. Hojas

Después de las labores de cosecha de la caña de azúcar, uno de los residuos que se generan son las hojas las mismas que se quedan en los campos del cultivo en grandes cantidades, en la región Amazónica los agricultores dejan esparcidos estos residuos alrededor de los

campos de cultivo debido a que ayudan a mejorar la calidad de los suelos y a disminuir el uso de fertilizantes químicos, también lo utilizan para la alimentación de los animales porcinos y bovinos ya que contienen grandes cantidades de nutrientes y minerales (Assureira & Assureira, 2022).

En la región Amazónica la cantidad de residuo de hojas que se producen en la etapa de cosecha de la caña de azúcar es de 2.9 toneladas con un rendimiento de 7.1 toneladas cosechadas (Romero & Galán, 2014), como se aprecia en la tabla 1.

Tabla 1. Pérdida de los residuos en la etapa agrícola de la caña de azúcar

Residuo	Cantidad de toneladas de desperdicio por cada hectárea cultivada.	aprovechamiento de los residuos que se generan en la etapa de cosecha de la caña de azúcar.	Referencia
Hojas	La cantidad de residuos de hojas que se producen en la etapa de cosecha de la caña de azúcar es de 2,9 toneladas con un rendimiento de 7,1 toneladas de caña cosechada.	Los agricultores de la amazonia utilizan el residuo de las hojas de la caña de azúcar para la alimentación animal debido a que este residuo contiene grandes cantidades de nutrientes y minerales.	(Romero & Galán, 2014)
Cogollo	La cantidad del residuo del cogollo que se genera por cada hectárea de cultivo de la caña de azúcar es de 6.2 toneladas con un rendimiento de 7,1 toneladas de caña cosechada.	El residuo del cogollo lo utilizan para la alimentación de ganado bovino y ovino, ya que aporta en las animales fuentes de fibras las cuales ayudan a mantener una mejor digestión en los rumiantes.	(Romero & Galán, 2014)
Paja	La cantidad de residuo de paja que se genera por cada hectárea de cultivo de la caña de azúcar es de 2,9 toneladas con un rendimiento de 7,1 toneladas de caña.	El residuo de la paja lo utilizan para nutrir los suelos antes de la siembra de la caña de azúcar.	(Romero & Galán, 2014)

## **4.2. Los residuos generados a partir de la caña de azúcar en la etapa industrial que fueron investigados son:**

### **4.2.1. Bagazo**

El bagazo de la caña de azúcar es un residuo fibroso que se obtiene de la molienda de la caña de azúcar, en la Amazonía los fabricantes de panela y etanol lo utilizan como combustibles o leña para encender los calderos, también lo utilizan para la alimentación animal debido a que contiene grandes cantidades de fibras las mismas que ayudan a mantener una mejor digestión en los bovinos (Villacis, 2016).

En la investigación realizada por (Guerrero, 2017), pudo determinar que a partir de cada hectárea cosechada de la caña de azúcar se generan 13,5 toneladas de residuo de bagazo anualmente, el residuo del bagazo lo utilizan para la elaboración de papel artesanal y celulosa, como se aprecia en la tabla 2.

### **4.2.2. Cachaza**

En la Amazonía la fruta de la caña de azúcar es procesada para elaborar panela, en la fabricación de la panela se obtiene el residuo de la cachaza la misma que se genera en la etapa de clarificación del jugo, en la investigación realizada por (Pineda, 2019), establece que a partir del residuo de cachaza se pueden elaborar fertilizantes y biogás los mismos que aportan a mejorar el rendimiento de los suelos antes de la siembra de la caña de azúcar.

En cuanto al residuo de la cachaza en la investigación realizada se pudo determinar que el promedio que se obtiene del residuo de cachaza por cada tonelada de caña que se muele es de 30 kg (Farfán et al., 2015), como se aprecia en la tabla 2.

### **4.2.3. Vinaza**

La vinaza, es un residuo que se genera en la etapa de destilación del alcohol, se caracteriza por ser un líquido de color café oscuro, además posee un alto contenido de materia orgánica y elemento minerales, según la investigación realizado por (Zúñiga & Gandini, 2013), establece que las vinazas pueden ser utilizadas como abono en los campos de cultivo de la caña de azúcar, debido a que su uso fomenta el crecimiento, aumenta el tamaño de la planta y en el rendimiento de la cosecha de la caña de azúcar, a partir del residuo de la vinaza se puede fabricar fertilizantes.

En cuanto al residuo de la vinaza en la investigación realizada se pudo determinar que por cada litro de etanol producido a partir de miel final se obtienen de 12 a 15 litros de vinaza

como residual, este residuo generalmente lo usan para la elaboración de biofertilizante orgánicos y biogás, (Ibarra, 2018), como se aprecia en la tabla 2.

Tabla 2. Pérdida de los residuos en la etapa industrial de la caña de azúcar

<b>Residuo</b>	<b>Cantidad de toneladas de desperdicio por cada hectárea cultivada</b>	<b>Aprovechamiento de los residuos que se generan en la producción industrial de la caña de azúcar</b>	<b>Referencia</b>
Bagazo	En el caso del bagazo por cada hectárea cosechada se obtiene 13,5 toneladas de residuo.	El residuo del bagazo es empleado en la elaboración de papel artesanal y celulosa.	(Guerrero, 2017)
Cachaza	El residuo de la cachaza de obtiene a partir del proceso de clarificación del jugo de la caña, el promedio que se obtiene del residuo de la cachaza por cada tonelada de caña molida es de 30 kg.	El residuo de la cachaza lo utilizan para la elaboración de biogás.	(Farfán et al., 2015)
Vinaza	Por cada litro de etanol producido se generan de 12-15 litros de residuo de la vinaza.	El residuo de la vinaza lo utilizan para elaborar biofertilizantes.	(Ibarra, 2018)

#### **4.3. Tecnologías aplicadas a los residuos de la caña de azúcar en la etapa de cultivo y producción industrial a pequeña y mediana empresa.**

En la tabla 3. Se describen el tipo de materia tecnologías y productos que se pueden obtener a partir de los residuos generados de la caña de azúcar en la etapa de cosecha e industrial

Tabla 3. Materias primas, tecnologías y productos que se obtienen a partir de los residuos dela caña de azúcar en la etapa de cosecha como en su transformación industrial.

<b>Materia prima</b>	<b>Tecnología</b>	<b>Producto</b>	<b>Referencia</b>
Hojas	Tecnología 1. Remoción de metales alcalinos a partir del residuo de las hojas de la caña de azúcar.	Remoción de metales alcalinos	(Tirado, 2016)
Paja	Tecnología 2. Elaboración de papel artesanal a partir del residuo de la paja de la caña de azúcar	Papel artesanal	(Salgado et al., 2017)
Cogollo	Tecnología 3. Elaboración de ensilaje a partir residuo del cogollo de la caña de azúcar.	Ensilaje	(Orta et al., 2017)



Vinaza	Tecnología 4. Elaboración de un fertilizante orgánico a partir del residuo de la vinaza.	Biofertilizante	(Pineda, 2019)
Cachaza	Tecnología 5. Elaboración de un fertilizante a partir del residuo de la cachaza.	Biogás	(Ríos, 2021)
Bagazo	Tecnología 6. Elaboración de papel a partir del residuo del bagazo de la caña de azúcar.	papel	(Omari, 2013)

---

#### **4.3.1. Descripción de la tecnología 1. Remoción de metales alcalinos a partir del residuo de las hojas de la caña de azúcar que se encuentra detallado en la tabla 3.**

La tecnología utilizada por (Tirado, 2016), para el proceso de remoción de metales alcalinos a partir de los residuos de la caña de azúcar en la investigación realizada lo primero que realizaron fue el trozado de las hojas de la caña de azúcar en donde utilizaron una guillotina la cual les ayudo a disminuir la longitud de las hojas, posteriormente las hojas troceadas fueron llevadas al proceso de tamizado en donde utilizaron una zaranda vibratoria con el objetivo de poder retener o extraer cualquier material extraño que pueda perjudicar el proceso como por ejemplo polvo, piedras y tierra. Las hojas tamizadas fueron llevadas a un molido para la cual utilizaron una licuadora en un periodo de 10 minutos, seguidamente las hojas molidas fueron llevadas al proceso de cribado en donde utilizaron una cribadora vibratoria para poder obtener hojas a nivel granulométrico, luego procedieron a lavar las hojas a una temperatura de 80°C para este proceso utilizaron una olla metálica, seguidamente procedieron a escurrir las hojas y de esta manera poder medir la conductividad térmica del agua, el agua residual obtenida fue envasada en un vidrio y de esta manera poder medir su conductividad mediante un conductímetro, en la investigación realizada determinaron que a mayor conductividad tiene el agua residual mayor es el número de alcalisis, es decir que las hojas de la caña de azúcar ha cedido un mayor álcalis al agua residual.

#### **4.3.2. Descripción de la tecnología 2. Elaboración de papel artesanal a partir del residuo de la paja de la caña de azúcar que se encuentra detallado en la tabla 3.**

La tecnología utilizada por (Salgado et al., 2017), para el proceso de elaboración del papel artesanal inicio con el picado de la paja en la investigación realizada para este proceso utilizaron una picadora de forraje de malla 4 mm, una vez picada la paja fue trasladada a una estufa de aire forzado utilizando una temperatura de 65°C durante 24 horas para poder

secarlas, las hojas secas pasaron por un molino el cual trituro las hojas, seguidamente procedieron a realizar la extracción de la pulpa de la celulosa en donde utilizaron el método de sosa para lo cual utilizaron 1lts de agua, 250 gr de hidróxido de sodio (NaOH), y posteriormente procedieron a colocar la paja en una olla de peltre, seguidamente acondicionaron la paja con el hidróxido de sodio (NaOH), luego procedieron a realizar el proceso de cocción en la cual colocaron la pulpa en una olla y procedieron a calentar por un periodo de 20 minutos a una temperatura de 90°C, posteriormente procedieron a enjuagar la pulpa hasta que se desfibre, gran parte de la pulpa obtenida procedieron a secarle mediante presión manual con el propósito de eliminar el exceso de agua, para el proceso de formación de las hojas diluyeron 5 litros de agua con la pulpa luego la sumergieron en un bastidor y distribuyeron la pulpa uniformemente y dejaron drenar el agua sobre la misma tina, luego colocaron boca abajo el bastidor con la pulpa sobre el fieltro para eliminar el exceso de agua utilizaron una esponja, posteriormente desplegaron el bastidor y colocaron el fieltro sobre las hojas húmedas, continuamente secaron las hojas al aire libre y procedieron a desplegar obtenido de esa manera las hojas a partir del residuo de la paja de la caña de azúcar.

#### **4.3.3. Descripción de la tecnología 3. Elaboración de ensilaje a partir del residuo del cogollo de la caña de azúcar que se encuentra detallado en la tabla 3.**

La tecnología utilizada por (Orta et al., 2017), para la elaboración del ensilaje a partir del residuo del cogollo de la caña de azúcar comienza con molienda para este procedimiento utilizaron un pica pastos, el forraje obtenido procedieron a mezclarlo con los aditivos de urea sales minerales y melaza con el propósito de que el ensilaje contenga un gran porcentaje de nutrientes que son necesarios para la alimentación de los animales posteriormente la mezcla del forraje con los aditivos (la urea, sales minerales y la melaza), se procede a realizar la compactación, para este procedimiento se utiliza tractores los cuales son movilizadas por encima del forraje hasta poder obtener la compactación requerida.

#### **4.3.4. Descripción de la tecnología 4. Obtención del fertilizante a partir del residuo de la vinaza que se encuentra detallado en la tabla 3.**

La tecnología utilizada para la elaboración de un fertilizante utilizando el residuo de la vinaza según (Pineda, 2019), establece las etapas para la elaboración de un fertilizante utilizando el residuo de la vinaza, en la primera etapa del proceso se concentran el residuo de las vinazas que se obtienen a partir del proceso de elaboración de etanol, se debe concentrar la vinaza con un porcentaje de sólidos del 50%. En la segunda etapa se añade los aditivos de la pajilla de arroz con el fin de eliminar todas las materias extrañas presentes en el proceso,

seguidamente vertieron el aditivo en la vinaza concentrada. En la tercera etapa del proceso se mezcla la vinaza concentrada con el bagazo para poder obtener la consistencia deseada del biofertilizante. En la cuarta etapa se procede a granular la mezcla que se obtuvo en la segunda etapa del proceso, hasta lograr obtener un producto solido granulado el cual puede ser utilizado como fertilizante.

#### **4.3.5. Descripción de la tecnología 5. Elaboración del biogás a partir del residuo de la cachaza que se encuentra detallado en la tabla 3.**

La tecnología aplicada según (Ríos, 2021), establece que existen varias tecnologías para elaborar biogás, una de ellas es mediante la utilización de residuos que se generan de la agroindustria azucarera y de los subproductos que se obtienen de la misma, uno de los residuos más usados para la elaboración de biogás es la cachaza, para la elaboración del biogás a partir de la cachaza utilizo un digestor el cual se describirá seguidamente, la cachaza se recibió a una temperatura de 80 °C, para el proceso de digestión anaeróbica se debe ajustar la cachaza a un pH de 6.5- 7, para ajustar el pH se debe colocar a la cachaza lechada de cal, seguidamente adiciono nitrógeno y fosforo los cuales actúan como nutrientes, el diseño del reactor a utilizar permite que se produzca una extracción del biogás, mientras que el exceso de biomasa que se produce es empleado en la elaboración de biofertilizantes orgánicos, el biogás obtenido se procese a lavar en una torre con el fin de excluir el sulfuro de hidrogeno.

#### **4.3.6. Descripción tecnología 6. Elaboración de papel a partir del residuo del bagazo de la caña de azúcar que se encuentra detallado en la tabla 3.**

El proceso de elaboración de papel a partir del residuo de la hojas de la caña de azúcar según la tecnología aplicada por (Omari, 2013) , empieza con la cosecha de la caña de azúcar, la caña cosechada es transportada al trapiche en donde se va a extraer el jugo y el bagazo, el bagazo obtenido pasa por un proceso de separación en donde se extrae la fibra del bagazo desmedulado, seguidamente la fibra continua con el proceso de digestión, en los digestores la fibra absorbe el proceso a la soda, en la cual consiste que se aplicara una cocción en soda caustica y vapor con el fin de poder eliminar la lignina para que se pueda transformar la fibra en una pulpa, en el proceso el color de la pulpa es marrón, seguidamente la pulpa es transportada a unos filtros lavadores con el propósito de poder eliminar el color marrón de la pulpa, posteriormente la pulpa pasa a un proceso de depuración para poder eliminar las impurezas presentes, seguidamente la pulpa es llevada al proceso de blanqueo para la cual se utilizan procesos químicos para poder obtener una pulpa blanca y a la vez poder ser utilizada en la elaboración de papel, a la pulpa blanca le agregan aditivos de acuerdo a la

formulación establecida, seguidamente la pulpa es llevada a la máquina de papel donde se drena el agua de la pulpa por medio de mallas plásticas giratorias para obtener una estructura húmeda de fibras las cuales son prensadas y secadas con el propósito de eliminar el exceso de humedad y de esta manera se forman las hojas de papel a partir del residuo de la caña de azúcar.

#### **4.4. Análisis técnico-económico de las posibles alternativas de aprovechamiento de los residuos generados en el ciclo de vida de la caña de azúcar.**

##### **4.4.1. Análisis técnico para la elaboración de un fertilizante**

Para el análisis técnico se buscó en bibliografía la tecnología que se puede usar en la elaboración de un fertilizante a base de vinaza, también se determinó que tipo de materia prima e insumos se utilizan para la elaboración del fertilizante.

##### **4.4.2. Tecnología utilizada para la obtención de un fertilizante a partir del residuo de la vinaza de la caña de azúcar.**

Existen tecnologías como la de (Pérez, 2020), para la obtención de un fertilizante, para la elaboración del proceso consta de las siguientes etapas selección de las materias primas, etapa de concentración de la materia prima, adición de aditivos y las evaluaciones del parámetro de calidad del producto final que en este caso sería el fertilizante.

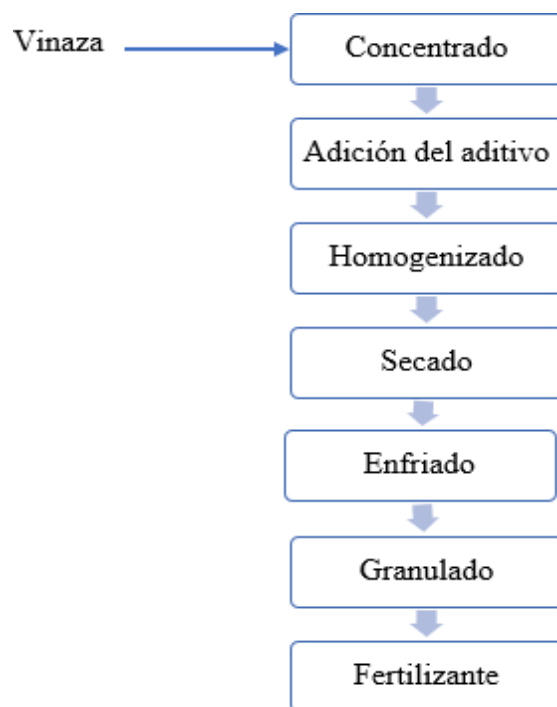
La tecnología planteada por (Varnero et al., 2012), expone las etapas para la elaboración del biofertilizante, lo primero que realizó fue la preparación de la materia prima que van a ser utilizadas en el proceso, seguidamente realizaron el mezclado de la materia prima utilizando el reactor, posteriormente dejaron reposar la mezcla, y posteriormente el producto obtenido (fertilizante), tomaron una muestra y la llevaron al laboratorio para poder determinar si el producto contiene las características físico-químicas y de calidad.

La tecnología utilizada para la elaboración de un fertilizante utilizando el residuo de la vinaza según (Pineda, 2019), establece que las etapas para la elaboración de un fertilizante utilizando el residuo de la vinaza, en la primera etapa del proceso se concentran el residuo de las vinazas que se obtienen a partir del proceso de elaboración de etanol, se debe concentrar la vinaza con un porcentaje de sólidos del 50%.

En la segunda etapa se añade los aditivos de la pajilla de arroz con el fin de eliminar todas las materias extrañas presentes en el proceso, seguidamente vertieron el aditivo en la vinaza concentrada.

En la tercera etapa del proceso se mezcla la vinaza concentrada con el bagazo para poder obtener la consistencia deseada del biofertilizante.

En la cuarta etapa se procede a granular la mezcla que se obtuvo en la segunda etapa del proceso, hasta lograr obtener un producto solido granulado el cual puede ser utilizado como fertilizante, como se expresa en la figura 5.



*Figura 5. Tecnología utilizada para la elaboración de un fertilizante a base del residuo de la vinaza*

#### **4.4.3. Insumos que se utilizan en la elaboración del fertilizante.**

En la tabla 4 según (Pineda, 2019), detalla los insumos que ingresan en la elaboración del fertilizante a base del residuo de la vinaza, como es el caso del Ácido fosfórico, Nitrato de amonio y el Nitrato de potasio.

Tabla 4. Insumos que se utilización en la elaboración del fertilizante

---

Ácido fosfórico
Nitrato de amonio
Nitrato de potasio

---

#### 4.4.4. Materias primas que se utilizan en la elaboración del fertilizante.

En la tabla 5 según (Pineda, 2019), detalla las materias primas que se utilizan en la elaboración del fertilizante como es el caso de las cascarillas que actúa como un aditivo necesario para la eliminación de los materiales extraños presentes en la vinaza, también se utiliza el bagazo de la caña de azúcar y por último la vinaza que es el componente principal para la elaboración del biofertilizante.

Tabla 5. Materias primas que se utilizan en la fabricación del fertilizante

Materias primas:
cascarilla
bagazo
vinazas

#### 4.4.5. Costo unitario por unidad de presentación del fertilizante.

Para el costo unitario de presentación del fertilizante, según la investigación realizada por (Chiriguaya, 2021), determino que la presentación del fertilizante se realizara en canecas de 5 galones con un contenido por caneca de 20 litros, en base al contenido de 20 litros de fertilizante por cada caneca procedieron a determinar los insumos necesarios para llevar a cabo la elaboración del fertilizante. En la tabla 6. Se puede apreciar que el costo unitario de la caneca de 20 litros de fertilizante es de 15,17 dólares como se aprecia en la tabla 6.

Tabla 6. Costo unitario por unidad de presentación del fertilizante

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Total
Vinaza	kg.	10,28	0,23	2,36
Ácido Fosfórico	kg.	2,66	1,30	3,46
Nitrato de Amonio	kg.	11,30	0,38	4,29
Nitrato de potasio	kg.	0,76	0,90	0,68
Etiqueta frontal	und.	1	0,35	0,35
Etiqueta Posterior	und.	1	0,35	0,35
Envase Plástico 5gl.	und.	1	3,68	3,68
Total				15,17

#### 4.4.6. Indicadores dinámicos de factibilidad en la producción del fertilizante

Los indicadores dinámicos de factibilidad nos ayudaran a establecer si el proyecto será viable o no, para determinar los indicadores de evaluación en la investigación realizada se

utilizo tres herramientas el valor actual neto (VAN), tasa interna de retorno (TIR) y la relación costo/ beneficio.

#### 4.4.6.1. Cálculo del valor actual neto (VAN)

Para proceder a realizar el cálculo del valor actual neto (VAN), en la investigación realizada por (Chiriguaya, 2021), lo primero que determino fue los ingresos y egresos del flujo de caja en el periodo de los 5 años, como se puede apreciar en la tabla 7. Se observa que la suma de ingresos tuvo un total de \$672.360,93, mientras que los egresos que calcularon fueron de \$474.278,89 y por último el flujo de efectivo neto tuvo un valor total de 198.073,04.

Tabla 7. Total, de ingresos, egresos y flujo de efectivo neto en el periodo de 5 años.

AÑO	Flujo de ingresos (A)	Flujo de egresos (B)	Flujo de efectivo neto(A-B)
1	120.000,00	87.121,90	32.878,10
2	126.835,51	90.827,36	36.008,15
3	134.060,38	94.521,13	39.539,26
4	141.696,81	98.856,72	42.840,09
5	149.768,22	102.960,78	46.807,45
Total	672.360,93	474.287,89	198.073,04

Teniendo en cuenta los resultados del total de los ingresos, egresos y flujo de efectivo neto generados se puede determinar el valor actual neto (VAN), y la tasa interna de retorno (TIR), y la relación costo/beneficio, en la investigación realizada utilizaron la siguientes formulas:

#### a) Cálculo del valor actual neto (VAN)

$$VAN = Inv. i \frac{Cn}{(1+r)^n}$$

Inv. i = Inversión inicial

n = Año de operación

r = Tasa de descuento

C = Flujo de caja

$$VAN = -52.778,22 + \frac{32.878,10}{(1+0.057)^1} + \frac{36.008,15}{(1+0.057)^2} + \frac{39.539,26}{(1+0.057)^3} + \frac{42.840,09}{(1+0.057)^4} + \frac{46.807,45}{(1+0.057)^5}$$

**VAN = \$113.106,54**

### b) Cálculo de la tasa interna de retorno

$$TIR = -Inv. i \frac{Cn}{(1 + TIR)^n}$$

Inv. i = Inversión inicial

n = Año de operación

C = Flujo de caja

$$TIR = -52.778,22 + \frac{32.878,10}{(1 + TIR)^1} + \frac{36.008,15}{(1 + TIR)^2} + \frac{39.539,26}{(1 + TIR)^3} + \frac{42.840,09}{(1 + TIR)^4} + \frac{46.807,45}{(1 + TIR)^5}$$

**TIR = 63,29%**

### c) Relación costo/beneficio

RC/B= Ingresos / egresos

RC/B= 672.360,93 / 474.287,89

**RC/B= \$1.41**

#### 4.4.7. Análisis técnico para la elaboración del biogás a partir del residuo de la cachaza

La tecnología planteada por (Mamani et al., 2021), establece que cuenta con una planta productora de biogás, para el desarrollo de la producción empieza con la recepción de la materia prima, etapa del mezclado y la etapa de biodigestión para la cual utilizaron un biodigestor de flujo de cajón, este prototipo de digestor se utiliza sin agitación, solo lo utilizan para trabajar desechos de estiércol del ganado bovino.

Existen tecnologías para la elaboración de biogás una de ellas es la que está expuesta por (Rojas & Mendoza, 2012) donde elaboraron biogás a partir de los lodos residuales, para la elaboración del proceso iniciaron con la recolección y la mezcla de los lodos, luego llevaron los lodos a la etapa de digestión, seguidamente realizaron dos procesos por medio de tanques, en el primer tanque realizaron una hidrólisis y acidogénesis, y el otro tanque realizaron las fases de acetogénesis y terminaron con la metanogénesis, seguidamente realizaron la absorción del dióxido de carbono.

Según (Ríos, 2021), establece que el biogás se produce a partir de la mezcla de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), sulfuro de hidrogeno(H<sub>2</sub> S), hidrogeno(H) y nitrógeno(N), la cantidad de estos compuestos está determinada en el tipo de materia que se la va emplear para el proceso como se expresa en la tabla 8.



Tabla 8. Composición del biogás

Componente	Símbolo	Contenido %
Metano	CH <sub>4</sub>	50 - 70
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	30 - 45
Hidrogeno	H	1.0 - 3.0
Nitrógeno	N	0.5 - 3.0
Sulfuro de hidrogeno	H <sub>2</sub> S	0.1 - 3.0

En la figura 6. Se puede apreciar la tecnología que fue planteada por (Ríos, 2021), para la elaboración del biogás a partir del residuo de la cachaza de la caña de azúcar, en donde estableció que existen varias tecnologías para elaborar biogás, una de ellas es mediante la utilización de residuos que se generan de la agroindustria azucarera y de los subproductos que se obtienen de la misma, uno de los residuos más usados para la elaboración de biogás es la cachaza, para la elaboración del biogás a partir de la cachaza utilizo un digestor el cual se describirá seguidamente, la cachaza se recibió a una temperatura de 80 °C, para el proceso de digestión anaeróbica se debe ajustar la cachaza a un pH de 6.5- 7, para ajustar el pH se debe colocar a la cachaza lechada de cal, seguidamente adiciono nitrógeno y fosforo los cuales actúan como nutrientes, el diseño del reactor a utilizar permite que se produzca una extracción del biogás, mientras que el exceso de biomasa que se produce es empleado en la elaboración de biofertilizantes orgánicos, el biogás obtenido se procesa a lavar en una torre con el fin de excluir el sulfuro de hidrogeno.

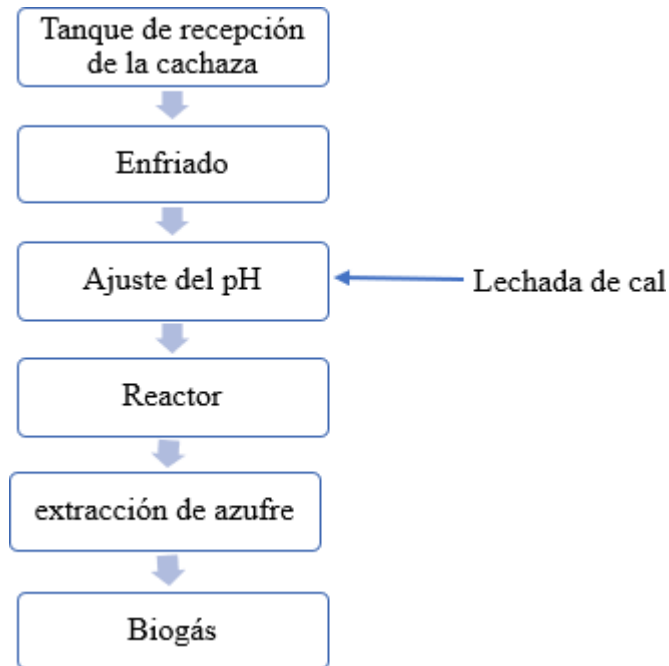


Figura 6. Tecnología aplicada para la elaboración de biogás a partir del residuo de la cachaza.

#### 4.4.8. Insumos que se utilizan en la fabricación del biogás

En la tabla 9. Se puede apreciar cuales son los insumos que ingresan en la elaboración del biogás a partir del residuo de la cachaza entre ellos tenemos el en nitrógeno (N) y el fosforo (P), los cuales son de gran ayuda ya que aportan nutrientes al biogás (Rios, 2021).

Tabla 9. Insumos que se utilizan en la fabricación del biogás.

Nitrógeno
Fosforo

#### 4.4.9. Materias primas que se utilizan en la elaboración del biogás.

En la tabla 10. Se puede apreciar cuales son las materias primas que se utilizan en la fabricación del biogás, dentro de ellas tenemos a la lechada de cal el cual actúa como un agente regulador de pH, y la cachaza el cual es el componente principal en la elaboración del biogás (Rios, 2021).

Tabla 10. Materias primas que se utilizan en la elaboración del biogás

Materias primas usadas en la elaboración del biogás
Lechada de cal
cachaza

#### 4.4.10. Análisis económico para producir 1m<sup>3</sup> de biogás.

Para el análisis económico se buscó en bibliografía los costos que se generan en la compra de insumos y en los gastos operativos para producir 1m<sup>3</sup> de biogás.

En la tabla 11. Se puede apreciar los costos de los insumos para fabricar 1m<sup>3</sup> de biogás, según la investigación realizada por el autor (Gutierrez, 2019), expone que las cantidades adecuadas de fosforo(P) y nitrógeno(N), que se requiere en la producción de biogás es de 0,12 gramos de nitrógeno y 0,12 gramos de fosforo, el costo unitario para producir un 1m<sup>3</sup> de biogás es de 5,54.

Tabla 11. Costo unitario por presentación del biogás

Componente	Cantidad / g	Costo * g	total
Nitrógeno	0,12	16.32	1,94
Fosforo	0,12	30	3,6
total			<b>5,54</b>

#### 4.4.11. Indicadores dinámicos de factibilidad en la producción del biogás

Los indicadores dinámicos de factibilidad nos ayudaran a establecer si el proyecto será viable o no, para determinar los indicadores de evaluación en la investigación realizada por utilizo tres herramientas el valor actual neto (VAN), tasa interna de retorno (TIR) y la relación costo/ beneficio.

##### 4.4.11.1. Cálculo del valor actual neto (VAN)

Para proceder a realizar el cálculo del valor actual neto (VAN), en la investigación realizada por (Medina & Luna, 2009), lo primero que determino fue los ingresos y egresos del flujo de caja en el periodo de los 5 años, como se puede apreciar en la tabla 12. Se observa que la suma de ingresos tuvo un total de \$38.707,94, mientras que los egresos que calcularon fueron de \$15.456,81 y por último el flujo de efectivo neto tuvo un valor total de \$23.251,15.

Tabla 12. Total, de ingresos, egresos y flujo de efectivo neto en el periodo de 5 años.

AÑO	Flujo de ingresos (A)	Flujo de egresos (B)	Flujo de efectivo neto(A-B)
1	7.512,80	3.000,00	4.512,80
2	7.625,49	3.045,00	4.580,49
3	7.739,87	3.090,68	4.649,20
4	7.855,97	3.137,04	4.718,94

5	7.973,81	3.184,09	4.789,72
Total	38.707,94	15.456,81	23.251,15

---

**a) Cálculo del valor actual neto (VAN)**

$$VAN = Inv. i \frac{Cn}{(1+r)^n}$$

Inv. i = Inversión inicial

n = Año de operación

r = Tasa de descuento

C = Flujo de caja

$$VAN = -4.834,25 + \frac{4.512,80}{(1+0,09)^1} + \frac{4.580,49}{(1+0,09)^2} + \frac{4.649,20}{(1+0,09)^3} + \frac{4.718,94}{(1+0,09)^4} + \frac{4.789,72}{(1+0,09)^5}$$

**VAN = \$15.159,03**

**b) Cálculo de la tasa interna de retorno (TIR)**

$$TIR = -Inv. i \frac{Cn}{(1+TIR)^n}$$

Inv. i = Inversión inicial

n = Año de operación

C = Flujo de caja

$$TIR = -4.834,25 + \frac{4.512,80}{(1+TIR)^1} + \frac{4.580,49}{(1+TIR)^2} + \frac{4.649,20}{(1+TIR)^3} + \frac{4.718,94}{(1+TIR)^4} + \frac{4.789,72}{(1+TIR)^5}$$

**TIR= 91%**

**c) Relación costo/beneficio**

RC/B= Ingresos / egresos

RC/B= 38.707,94/ 15.456,81

**RC/B= \$2,54**

#### **4.4.12. Discusión de los resultados técnico – económicos en la elaboración de un fertilizante a base del residuo de la vinaza y de la producción del biogás a partir del residuo de la cachaza y su aporte dentro de la economía circular.**

Los resultados obtenidos en la investigación técnico económico, son de gran importancia dentro de esta investigación ya que ayudaron a determinar una tecnología adecuada y los gastos tanto de insumos y operativos que se necesitan para la elaboración de un fertilizante a partir del residuo de la vinaza que se obtiene en el proceso de fabricación del etanol, esta investigación está enfocada en la bioeconomía circular es decir que a partir de los residuos que se generan en la etapa de cultivo e industrial de la caña de azúcar, estos residuos tienen que ser aprovechados para elaborar subproductos que ayuden a recircular los procesos, la materia prima principal es la caña de azúcar a partir de esta se obtienen todos los residuos que se generan, entonces mediante la aplicación del fertilizante que se obtuvo del residuo de la vinaza, según la investigación realiza por (Callejas et al., 2014), establecieron los efectos que se producen con la aplicación de fertilizantes elaboradas con el residuo de la vinaza, aumentaron la producción de biomasa en el cultivo de la caña así mismo, se produjo una brotación adecuada del cultivo de la caña, además que aumenta el tiempo de vida de la planta. La utilización del biofertilizante ayudara a mejorar las plantaciones del cultivo de la caña y a la vez mejorara sus propiedades morfológicas y estas tendrán un mayor aporte en los residuos en la etapa de cultivo como son el cogollo, paja y hojas ya que estos son utilizados para la alimentación del ganado, lo cual les generaría un mayor aporte de minerales y fibras, y también ayudaran a mejorar en los procesos industriales, como es en el caso la elaboración de panela y etanol, gracias al fertilizante se podrán mejorar los cultivos y los subproductos que se obtienen a partir de los residuos de la caña de azúcar, mientras tanto que la producción de biogás ayudara a la reducción de la contaminación, también ayuda a eliminar los desechos agropecuarios, la aplicación de estas dos tecnologías en los cultivos de la caña de azúcar ayudaran a obtener una economía circular en todo el proceso desde su cultivo hasta su transformación industrial final. En cuanto a los costos de inversión para la fabricación del fertilizante en la investigación realizada por (Chiriguaya, 2021), se pudo determinar que para producir una caneca de 20 litros de fertilizante se necesita gastar \$15,17 lo cual es muy rentable, en cuanto al cálculo de los indicadores dinámicos de factibilidad todos salieron positivos lo que se puede concluir que la fabricación del fertilizante es muy viable, en cuanto a los costos de inversión para la fabricación del biogás en la investigación realizada por (Medina & Luna, 2009), se pudo apreciar que el costo de producción de 1m<sup>3</sup> de biogás se necesita gastar \$5,54, en cuanto al cálculo de los indicadores dinámicos de factibilidad todos

salieron positivos lo que se pudo determinar que la fabricación del biogás es muy viable, la aplicación del fertilizante y biogás en los cultivos de la caña de caña de azúcar ayudara a mejorar el crecimiento y rendimiento de la planta, como también ayudara a disminuir los impactos ambientales.

#### **4.5. Análisis del esquema del ciclo de vida de la caña de azúcar desde su cultivo hasta su producción industrial y su aporte dentro de la bioeconomía circular.**

En la actualidad se ha establecido a la bioeconomía circular como una alternativa de economía sostenible y a la vez amigable con el planeta. La utilización de residuos orgánicos con fines industriales ha contribuido a reconciliar a la ecología con la economía debido a que se puede generar subproductos a partir de los residuos generados en las industrias y la vez se han venido disminuyendo los impactos ambientales debido a que la función principal de la bioeconomía circular es volver a integrar a los residuos en el ciclo de vida (Aragónes et al., 2020).

En el grafico 7. Se puede apreciar el ciclo de vida de la caña de azúcar la cual empieza con la etapa de siembra, seguidamente viene la etapa de crecimiento en donde se le agrega los fertilizantes, luego viene la etapa de la cosecha en donde se generan los residuos orgánicos de paja, cogollo y hojas, estos residuos en muchas ocasiones los agricultores de la caña lo utilizan como alimento para el ganado y como abono orgánico con el fin de mejorar la fertilidad del suelo, seguidamente la fruta de la caña es llevada al proceso industrial para la fabricación de panela y etanol, para la producción de panela primero se realizara la etapa de molienda en donde se extrae el jugo y producto de ello se obtiene el residuo del bagazo, posteriormente el jugo obtenido es trasladado al proceso de clarificación en donde se genera el residuo de la cachaza, seguidamente pasa al proceso de evaporado y concentrado obteniendo de esta manera la panela, mientras tanto que para la obtención del etanol primero se realiza la etapa de molienda en donde se extraer el jugo de la caña de azúcar y se obtiene el residuo del bagazo, el jugo obtenido es llevado al proceso de fermentación, luego es llevada a la etapa de destilación en donde se genera el residuo de la vinaza obteniendo de esta manera el etanol. Los residuos obtenidos en la etapa de cultivo de la caña de azúcar como es el caso de cogollo, hojas y paja, y los residuos que se obtienen en la etapa industrial en la elaboración de la panela y el etanol los cuales son el bagazo, cachaza y la vinaza ingresan al proceso de Codigestión y digestión anaeróbica, obtenido de esta manera el biogás

y fertilizantes los cuales se reutilizan en el ciclo del crecimiento de la caña de azúcar, la aplicación de este fertilizante obtenido de los residuos de la vinaza ayudara a mejorar el crecimiento de la fruta y su rendimiento.

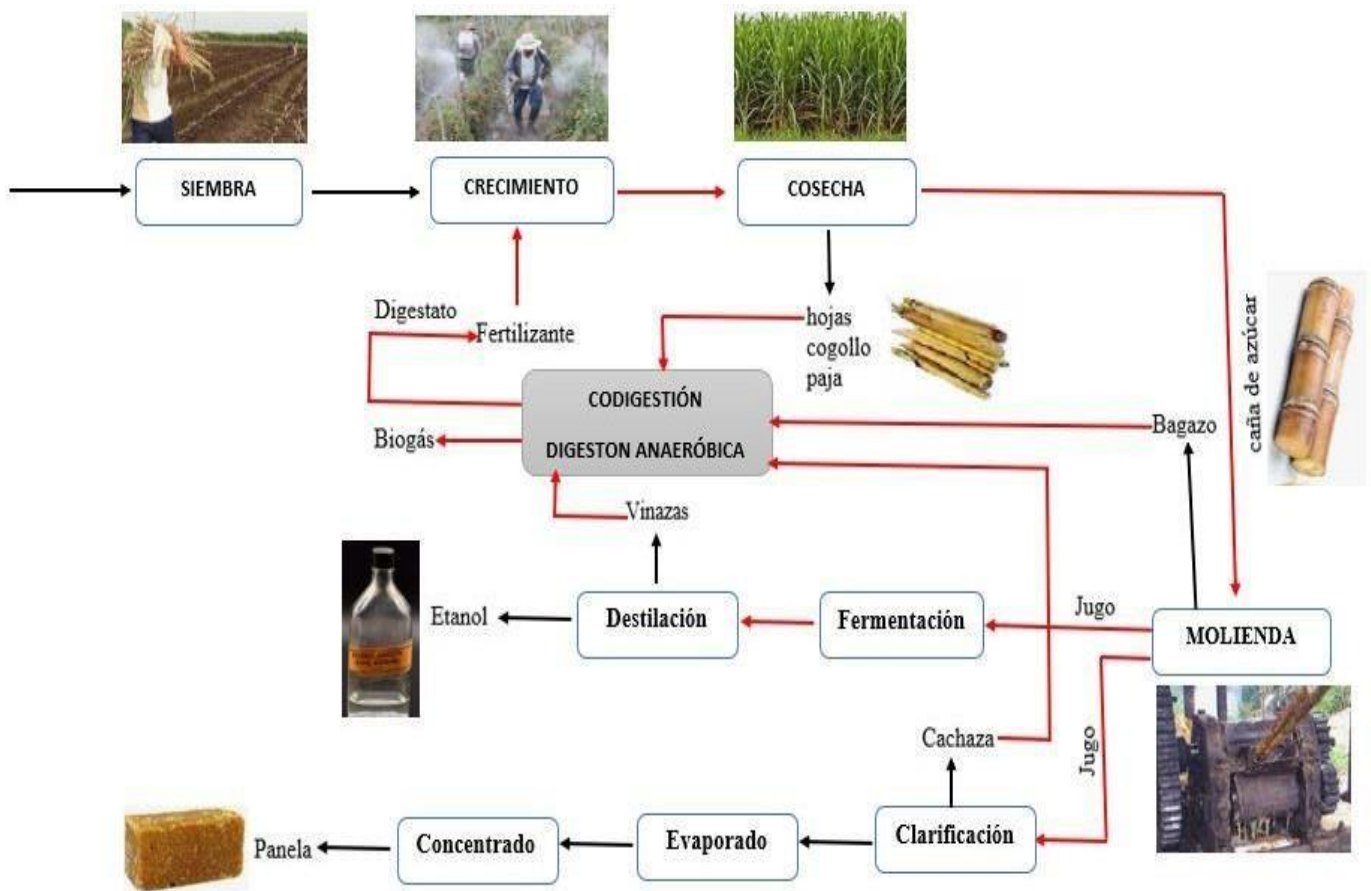


Figura 7. Esquema del ciclo de vida de la caña de azúcar desde su cultivo hasta su transformación industrial

## CONCLUSIONES

- Las etapas identificadas del ciclo de vida de la caña de azúcar en la etapa agronómica del cultivo se generan residuos como es el caso de la paja, cogollo y las hojas, y una segunda etapa de transformación de la caña de azúcar donde se puede obtener panela en la región amazónica que consta de las etapas de molienda, clarificación, evaporación y punteo y los residuos que se generan en el proceso es el bagazo y la cachaza, mientras tanto que la producción de etanol en la región amazónica que consta de las etapas de molienda, clarificación, fermentación y destilación se generan los residuos del bagazo, cachaza y vinaza.
- A partir de los residuos generados en la etapa de cultivo e industrial de la caña de azúcar, se pueden transformar estos residuos en los siguientes productos como es el caso del papel artesanal, fertilizantes, biogás, celulosa, ensilaje y abonos orgánicos, la investigación se enfocó en la producción del digestato para que se cumpla la bioeconomía circular, a partir de los residuos generados la tecnología que se propone es la de la obtención de fertilizantes para poder abonar o fertilizar los suelos nuevamente al cultivo de la caña de azúcar.
- A partir de los residuos que se generan en la industria de la caña de azúcar, la ruta para producir los fertilizantes y el biogás, incluyen los procesos de digestión anaerobia y la Codigestión cuando son residuos lignocelulósicos, estas tecnologías son viables desde el punto de vista técnico por su simplicidad o su poca complejidad tecnológica y sus bajos costos de inversión generando un producto que en este caso sería el digestato que se utiliza como fertilizante en los cañaverales.
- Teniendo en cuenta que los resultados del valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y la relación costo beneficio salieron positivos en la elaboración del fertilizante y biogás se puede concluir que producir estas tecnologías es factible.
- La propuesta tecnológica con todos los residuos identificados, conlleva a la producción del digestato, que se reincorporaría al ciclo de vida de la caña de azúcar como un fertilizante, en la etapa de crecimiento, cerrando el lazo de la bioeconomía circular.



## **RECOMENDACIONES**

- Que se profundicen las investigaciones, sobre el aprovechamiento de los residuos que se generan en las etapas de cultivo, como en la etapa industrial de la caña de azúcar y a partir de ello buscar la manera de crear tecnologías que puedan combinar estos residuos y por medio de eso generar varios coproductos.
- Que se utilicen los fertilizantes que se obtienen de residuos generados de la caña de azúcar para aplicarlos en los cultivos ya que estos ayudan a mejorar las plantaciones del cultivo de la caña y a la vez mejorara sus propiedades morfológicas y su rendimiento.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, N., Debernardi, T., & Herrera, H. (2017). Subproductos, coproductos y derivados de la agroindustria azucarera. *Agroproductividad*, 10(11), 13–20. <https://www.siiiba.conadesuca.gob.mx/siiaca/Consulta/verDoc.aspx?num=994>
- Aguilera, A. (2017). El costo-beneficio como herramienta de decisión en la inversión en actividades científicas. *Cofin Habana*, 11(2), 14–22. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2073-60612017000200022](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2073-60612017000200022)
- Alvarez, F. (2015). *Implementación de nuevas tecnologías : valuación, variables, riesgos y escenarios tecnológicos*. <https://biblioteca.ufg.edu.sv/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=19855>
- Aragónes, M., Dominguez, C., Nieto, M., Chavier, N., Rodríguez, D., Ureña, M., Moreno, J., García, M., & Nieto, G. (2020). Tecnologías de la bioeconomía para valorizar residuos y desperdicios. *Revista Tecnología Agropecuaria*, 1(2), 15–18. <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/12942/BVE20109022e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Argiles, J. (2007). LA INFORMACIÓN CONTABLE EN EL ANÁLISIS Y PREDICCIÓN DE VIABILIDAD DE LAS EXPLOTACIONES AGRÍCOLAS. *Revista de Economía Aplicada*, 10, 109–135. <https://www.redalyc.org/pdf/969/96915882004.pdf>
- Assureira, E., & Assureira, M. (2022). Transformación de las hojas de la caña de azúcar en biocarbón para su uso como combustible y agente reductor en los procesos de reducción directa de minerales de hierro. *Información Tecnológica*, 33(3), 6–10. [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642022000300051&lng=es&nrm=iso&tlng=es](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642022000300051&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Aucatoma, B., Chicaiza, B., Fajardo, K., & Solis, G. (2005). No Title. *Centro de Investigación de La Caña de Azúcar Del Ecuador*, 7(1), 15–16. <https://cincae.org/wp-content/uploads/2013/05/utilizacion-de-subproductos-de-la-cana-de-azucar-y-de-la-industria-alcoholera-ecuatoriana-para-uso-en-la-fertilizacion-en-los-cultivos-de-cana1.pdf>
- Avalos, J., & Pacheco, J. (2012). Programación del riego de la caña de azúcar en la provincia de Villa Clara, Cuba. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21(4), 61–66. <http://scielo.sld.cu/pdf/rcta/v21n4/rcta10412.pdf>

- Basanta, R., Garcia, M., Cervantes, J., Mata, H., & Bustos, G. (2007). Sostenibilidad de reciclaje de los residuos de la agroindustria azucarera. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 5(4), 293–305. <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/11358120709487704>
- Becerra, A., Buitrago, A., & Pinto, P. (2016). Sostenibilidad del aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar en el Valle del Cauca, Colombia. *Ingeniería Solidaria*, 12(20), 133–149. <file:///C:/Users/Lenovo/Downloads/document.pdf>
- Benavides, H., & León, G. (2007). *Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gases+de+Efecto+Invernadero+y+el+Cambio+Climatico.pdf>
- Blanco, M., Borroto, J., Capdesuñer, Y., Cervantes, A., Rodríguez, S., Rivas, M., & Peralta, H. (2003). Dinámica de crecimiento y desarrollo de cuatro variedades de caña de azúcar: aspectos fisiológicos y azucareros. *Cultivos Tropicales*, 24(1), 47–54. <https://www.redalyc.org/pdf/1932/193218221008.pdf>
- Bravo, E., Andrade, A. J., Herrera, M., & Gonzales, O. (2017). Propiedades de un compost obtenido a partir de residuos de la producción de azúcar de caña. *Revista Centro Agrícola*, 44(3), 49–55.
- Cabrera, J., & Zuaznábar, R. (2010). Impacto sobre el ambiente del monocultivo de la caña de azúcar con el uso de la quema de la cosecha y la fertilización nitrogenada. I. balance del carbono. *Cultivos Tropicales*, 31(1). <file:///C:/Users/Lenovo/Desktop/CITAS Y BIBIOGRAFIAS MAESTRIA/articulo 11.pdf>
- Cadavid, L., & Bolaños, I. (2015). Aprovechamiento de residuos orgánicos para la producción de energía renovable en la ciudad de Colombia. *Revista Del Instituto de Energía, Facultad de Minas*, 0(46), 23–28. <file:///C:/Users/Lenovo/Desktop/CITAS Y BIBIOGRAFIAS MAESTRIA/articulo 8.pdf>
- Callejas, R., Silva, A., Peppi, C., & Seguel, O. (2014). Factibilidad agronómica del uso de vinazas, subproductos de la elaboración del pisco, como biofertilizante en viñedos. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 8(2), 230–241. <http://www.scielo.org.co/pdf/rcch/v8n2/v8n2a06.pdf>

- Cardenas, V. (2019). *Economía circular: una estrategia aplicable a la gestión integral de los residuos sólidos* [Universidad Santiago de Cali, Facultad de Ingeniería, Gerencia Ambiental Y Desarrollo Sostenible Empresarial]. [https://repository.usc.edu.co/bitstream/handle/20.500.12421/4520/ECONOMÍA\\_CIRCULAR.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://repository.usc.edu.co/bitstream/handle/20.500.12421/4520/ECONOMÍA_CIRCULAR.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- Carus, M., & Dammer, L. (2018). The circular bioeconomy Concepts, opportunities and limitations. *Biotecnología Industrial*, 34(2), 12–18. <https://www.liebertpub.com/doi/10.1089/ind.2018.29121.mca>
- Castillo, R., & Cifuentes, E. (2004). FISIOLÓGÍA, FLORACIÓN Y MEJORAMIENTO GENÉTICO DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN ECUADOR. *Centro de Investigación de La Caña de Azúcar Del Ecuador*, 3, 17–18. <https://cincae.org/wp-content/uploads/2013/05/FISOLOGIA-Y-MEJORAMTO.pdf>
- Castillo, R., & Silva, E. (2004). Fisiología , Floración Y Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar en Ecuador. *Centro de Investigación de La Caña de Azúcar Del Ecuador*, 3, 17.
- Chiriguaya, A. (2021). *APLICACIÓN DE LA RAZÓN COSTO-BENEFICIO COMO DETERMINANTE PARA MEDIR LA FACTIBILIDAD DE UNA PLANTA PROCESADORA DE VINAZA PARA LA PRODUCCIÓN DE FERTILIZANTE* [Universidad Católica de Cuenca]. [https://dspace.ucacue.edu.ec/bitstream/ucacue/10195/1/CHIRIGUAYA\\_MENDEZ\\_ANGEL\\_ALEJANDRO %281%29.pdf](https://dspace.ucacue.edu.ec/bitstream/ucacue/10195/1/CHIRIGUAYA_MENDEZ_ANGEL_ALEJANDRO%281%29.pdf)
- Cordova, C., Sanchez, O., Montoya, M., & Quintero, J. (2005). Simulación de los procesos de obtención de etanol a partir de la caña de azúcar y maíz. *Ciencia y Tecnología*, 11(28), 187–192. <https://www.redalyc.org/pdf/849/84911707033.pdf>
- Diaz, L., & Portocarrero, E. (2002). *Manual de producción de la caña de azúcar (Saccharum officinarum L.)* [Universidad de Zamorano]. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/a66402aa-4881-4ad1-bd65-f52a1ee5fff1/content>
- Duarte, O. (2019). *Guía técnica del cultivo de la caña de azúcar*.
- Duque, C. (1993). *Programa de sensibilización sanitario ambiental para la PYME, de la área de jurisdicción de la C.A.R.*

<https://sie.car.gov.co/bitstream/handle/20.500.11786/33795/05175.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Farfan, K., Saltos, I., Guerrero, S., Valdivieso, W., & Arellano, K. (2015). *Diseño de una línea de producción de la panela granulada*.

Fernandez, M. (2003). *Evaluación del uso de los subproductos de la industrialización de la caña de azúcar en la elaboración de compost*.  
[http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/02/02\\_1064.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/02/02_1064.pdf)

Guerrero, A. (2017). Residuos orgánicos de la industria azucarera: retos y oportunidades. *Agroproductividad*, 10(11), 16–20. [https://redib.org/Record/oai\\_articulo2286193-residuos-orgánicos-de-la-agroindustria-azucarera-retos-y-oportunidades](https://redib.org/Record/oai_articulo2286193-residuos-orgánicos-de-la-agroindustria-azucarera-retos-y-oportunidades)

Gutierrez, D. (2019). Evaluación de producción de biogas y reducción de carga orgánica de vinazas mediante la digestión anaeróbica. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 2(3), 15–22.  
<file:///C:/Users/Lenovo/Downloads/Evaluaciondeproducciondebiogasyreducciondecargaorganicadevinazasmediantedigestinanaerobia.pdf>

Ibarra, R. (2018). Caracterización Químico-Física de vinazas de destilerías. *Ciencia En Su PC*, 1(2), 1–13.  
<https://www.redalyc.org/journal/1813/181358410001/html/#:~:text=Por cada litro de etanol,60 y 70 g%2FL>.

Jaramillo, E. (2018). Bioeconomía: El futuro sostenible. *Ciencias Naturales*, 42(0), 188–201. <http://www.scielo.org.co/pdf/racefn/v42n164/0370-3908-racefn-42-164-00188.pdf>

Lagos, E., & Castro, E. (2019). Caña de azúcar y subproductos de la agroindustria azucarera en la alimentación de rumiantes. *Agronomía Mesoamericana*, 30(10), 917–934.  
<https://www.redalyc.org/journal/437/43760145020/html/#:~:text=El cultivo de la caña de azúcar genera residuos agrícolas,la melaza y la vinaza>.

León, T., Dopico, D., Triana, O., & Medina, M. (2013). Paja de la caña de azúcar y sus usos en la actualidad. *ICIDCA. Sobre Los Derivados de La Caña de Azúcar*, 47(2), 13–22.  
<https://www.redalyc.org/pdf/2231/223128548003.pdf>

Lopez, A., Veleza, L., Solorzano, M., Acosta, G., Hernandez, M., Salgado, S., & Cordova,

- S. (2016). Obtención de celulosa a partir de bagazo de la caña de azúcar. *Agroproductividad*, 9(7), 41–45.
- Mamani, J., LLumipanta, F., Ramos, S., Rea, J., Alucho, J., Saltos, D., Llanos, F., & Jacome, C. (2021). Sistemas de producción de biogás, fundamento, técnicas de mejora, ventajas y desventajas. *Agroindustrial Science*, 11(2), 239–247. <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/agroindscience/article/view/3820/4446>
- Martinez, Y., Matos, N., Lazaro, R., & Madruga, Y. (2011). Optimización del proceso cosecha, transporte y la recepción de la caña de azúcar. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 5(3), 1–7. <https://www.redalyc.org/pdf/3783/378343673009.pdf>
- Medina, I., & Luna, J. (2009). *Estudio de pre factibilidad para el aprovechamiento del biogás con fines energéticos a partir del estiércol de ganado bovino en la Unidad de Ganado Lechero de Zamorano, Honduras* [Universidad de Zamorano]. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/c5a442a0-4059-4ca2-b4d5-fbe018522fab/content>
- Mete, M. (2014). Valor actual neto y tasa de retorno, su utilidad como herramienta para el análisis y evaluación de proyectos de inversión. *Revista de Difusión Cultural y Científica de La Universidad La Salle En Bolivia*, 7(7), 12–18.
- Nassir, C. (2011). *Proyectos de inversión. Formulación y evaluación*. [http://daltonorellana.info/wp-content/uploads/sites/436/2014/08/Proyectos\\_de\\_Inversion\\_Nassir\\_Sapag\\_Chain\\_2E\\_dic.pdf](http://daltonorellana.info/wp-content/uploads/sites/436/2014/08/Proyectos_de_Inversion_Nassir_Sapag_Chain_2E_dic.pdf)
- Omari, M. (2013). *Fabricación de papel a partir del bagazo de la caña de azúcar*. Estudio de Desarrollo Económico, Social y Ecológico. <http://inennormalizacion.blogspot.com/2018/05/fabricacion-de-papel-partir-del-bagazo.html>
- Orta, V., Correa, J., Romero, E., & Lopez, D. (2017). Cogollo de caña de azúcar, una alternativa sustentable de alimentación animal. *ICIDCA. Sobre Los Derivados de La Caña de Azúcar*, 51(2), 31–34. <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223154251005.pdf>
- Ortiz, L., Garcia, S., Castelán, M., & Cordova, M. (2012). Perspectivas de la cosecha de la caña de azúcar cruda en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 0(4), 767–773. <https://www.redalyc.org/pdf/2631/263125299020.pdf>

- Perez, L. (2020). *Diseño del proceso de elaboración de un fertilizante líquido químico para el cultivo agroindustrial intensivo de uva en la zona de piura* [Universidad Nacional de Piura]. <https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/UNP/2167/FIM-PER-VEL-2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pineda, S. (2019). *Producción de fertilizante a partir de las vinazas azucareras por gluconacetobacter diazotrophicus* [Universidad Nacional de Colombia]. [https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/76021/Producción de biofertilizante a partir de la fermentación de vinazas azucareras por Gluconacetobacter diazotrophicus..pdf?isAllowed=y&sequence=1](https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/76021/Producción_de_biofertilizante_a_partir_de_la_fermentación_de_vinazas_azucareras_por_Gluconacetobacter_diazotrophicus..pdf?isAllowed=y&sequence=1)
- Quiroz, I., & Perez, A. (2013). Vinaza y compost de cachaza: efecto en la calidad del suelo cultivado con caña de azúcar. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5, 1069–1075.
- Ramirez, L. (2021). *Marco teórico sobre la economía circular en el área metropolitana de Bucaramanga* [UNIVERSIDAD COOPERATIVA DE COLOMBIA]. [https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/34371/7/2021\\_marco\\_teorico\\_economia.pdf](https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/34371/7/2021_marco_teorico_economia.pdf)
- Riera, M., Maldonado, S., & Palma, R. (2018). Residuos agroindustriales generados en Ecuador para la elaboración de bioplásticos. *Revista Ingeniería Industrial*, 17(3), 227–246.
- Rios, M. (2021). Biogás de subproductos de la caña de azúcar. *Juventud Tecnica*, 1(0), 12–15. [file:///C:/Users/Lenovo/Desktop/CITAS\\_Y\\_BIBIOGRAFIAS\\_MAESTRIA/articulo\\_39.pdf](file:///C:/Users/Lenovo/Desktop/CITAS_Y_BIBIOGRAFIAS_MAESTRIA/articulo_39.pdf)
- Rodriguez, J., Garcia, A., Rodriguez, G., & Galvez, A. (2010). Herramientas de la evaluación económica y la investigación operacional que apoyan la toma de decisiones en salud. *Salud En Tabasco*, 16(3), 933–938. <https://www.redalyc.org/pdf/487/48720965005.pdf>
- Rojas, R., & Mendoza, L. (2012). Utilización de biosólidos para la recuperación energética en México. *Producción Mas Limpia*, 7(2), 74–94. [https://www.researchgate.net/publication/236578740\\_Utilizacion\\_de\\_biosolidos\\_para\\_la\\_recuperacion\\_energetica\\_en\\_Mexico\\_The\\_use\\_of\\_biosolids\\_for\\_energy\\_recover\\_y\\_in\\_Mexico](https://www.researchgate.net/publication/236578740_Utilizacion_de_biosolidos_para_la_recuperacion_energetica_en_Mexico_The_use_of_biosolids_for_energy_recover_y_in_Mexico)
- Romero, A., & Galán, A. (2014). La biomasa de los cultivos en el oecosistemay sus

- beneficios agroecológicos. *Cultivos Tropicales*, 35(1).  
<http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v35n1/ctr02114.pdf>
- Salgado, S., Cordova, S., Turrado, J., Saucedo, A., Fuentes, J., Garcia, Y., Lopez, L., Garcia, S., & Garcia, N. (2017). Papel artesanal de la paja de la caña de azucar. *Agroproductividad*, 10(11), 48–53. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/66/61>
- Salgado, S., Nuñez, R., & Bucio, L. (2003). Determinación de la dosis óptima económica de fertilización de la caña de azucar. *Tierra Latinoamericana*, 21(2), 267–272. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57315595012.pdf>
- Timana, M., Echeverria, M., Buendia, M., & Cordero, A. (2017). Alimentar con cogollo de caña tratado hace mas eficiente los costos de producción en el ganado vacuno. *Agroindustrial Science*, 7(2), 67–71. <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/agroindscience/article/view/1662/1661>
- Tirado, A. (2016). “*Estudio experimental de la efectividad del proceso de lavado en la remoción de metales alcalinos respecto de variables del tiempo y temperatura de lavado aplicado a las hojas de caña de azúcar picadas con miras a su empleo en procesos de combustión.* Universidad Católica del Perú.
- Torres, P., Silva, J., Parra, B., Cerón, V., & Madera, C. A. (2015). Influencia de la aplicación de biosólidos sobre el suelo, la morfología y la productividad de la caña de azucar. *Rev. U.D.C.A Actividad & Divulgación Científica*, 1(0), 69–79. <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v18n1/v18n1a09.pdf>
- Triana, O., León, T., Cespedes, M., & Camara, A. (2014). Caracterización de los residuos de la cosecha de la caña de azucar almacenados a granel. *ICIDCA: Sobre Los Derivados de La Caña de Azucar*, 48, 65–70. <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223131337010.pdf>
- Uribe, H. (2014). EXPANSIÓN CAÑERA EN EL VALLE DEL CAUCA Y RESISTENCIAS COMUNITARIAS (COLOMBIA). *Revista Del Doctorado Interinstitucional En Ciencias Ambientales*, 4(4), 16–30. <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/8272/expansioncanera.pdf;jsessionid=65FF8A1BCE6199D7375C2CE5CDDF4285?sequence=1>
- Vargas, Y. A., & Perez, L. I. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales para el



- mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Facultad de Ciencias Basicas*, 14, 59–72. file:///C:/Users/Lenovo/Downloads/3108-Texto del artículo-13312-2-10-20190408 (2).pdf
- Varnero, M., Caru, M., Galleguillos, K., & Achondo, P. (2012). Tecnologías disponibles para la purificación de Biogás usando en la generación eléctrica. *Información Tecnológica*, 23(2), 31–40. <https://www.scielo.cl/pdf/infotec/v23n2/art05.pdf>
- Viera, F., & Escobar, L. (2015). EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE HERBICIDAS EN EL CONTROL DE ARVENSES EN EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN TRES TIPOS DE SUELOS DE MAJIBACOA, LAS TUNAS. *Cultivos Tropicales*, 36(1), 122–128. <https://www.redalyc.org/pdf/1932/193237111016.pdf>
- Villacis, C. (2016). *UTILIZACIÓN DEL BAGAZO DE LA CAÑA DE AZÚCAR PARA LA FABRICACIÓN DE COMPLEMENTOS DECORATIVOS PARA EL HOGAR*. [Universidad Católica del Ecuador]. file:///C:/Users/Lenovo/Downloads/76123 (2).pdf
- Villazón, J., Morales, A., Gutierrez, G., & Cobo, Y. (2017). Efecto del manejo de la caña de azúcar sobre la compactación en un vertisol. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 26(2), 31–37. file:///C:/Users/Lenovo/Desktop/CITAS Y BIBIOGRAFIAS MAESTRIA/Articulo 26.pdf
- Zuñiga, V., & Gandini, M. (2013). Caracterización ambiental de las vinazas de residuos de caña de azúcar resultantes de la producción de etanol. *DINA*, 80(177), 124–131. <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v80n177/v80n177a15.pdf>