



**Universidad César Vallejo**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Biorrefinería integrada de los residuos sólidos urbanos para impulsar la  
bio-economía circular. Revisión sistemática 2022**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
Ingeniero Ambiental**

**AUTOR:**

Mejía Carrasco, Elvis Manuel (orcid.org/0000-0003-3558-8337)

**ASESORA:**

Mg. Cabello Torres, Rita Jaqueline (orcid.org/0000-0002-9965-9678)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:**

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

LIMA - PERÚ

2022

## DEDICATORIA

A mi padre y madre por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida. Por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarlo cada día más, A mis hermanos por acompañarme y aconsejarme cuando pudieron, A mis profesores, gracias por su tiempo, por su apoyo, así como por la sabiduría que me transmitieron en el desarrollo de mi formación profesional.

## **AGRADECIMIENTO**

Por el esfuerzo, dedicación, paciencia, por su confianza y por todo lo que me han dado a lo largo de mi carrera y de mi vida, esto va dedicado a mi Padre Manuel y Madre Josefa.



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

### **Declaratoria de Autenticidad del Asesor**

Yo, CABELLO TORRES RITA JAQUELINE, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ESTE, asesor de Tesis titulada: "Biorrefinería Integrada de los Residuos Sólidos Urbanos para Impulsar la Bio-economía Circular. Revisión Sistemática 2022", cuyo autor es MEJIA CARRASCO ELVIS MANUEL, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 5.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

LIMA, 14 de Diciembre del 2022

<b>Apellidos y Nombres del Asesor:</b>	<b>Firma</b>
CABELLO TORRES RITA JAQUELINE <b>DNI:</b> 08947396 <b>ORCID:</b> 0000-0002-9965-9678	Firmado electrónicamente por: RCABELLOTO15 el 14-12-2022 16:48:51

Código documento Trilce: TRI – 0487929





**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Declaratoria de Originalidad del Autor**

Yo, MEJIA CARRASCO ELVIS MANUEL estudiante de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ESTE, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Biorrefinería Integrada de los Residuos Sólidos Urbanos para Impulsar la Bio-economía Circular. Revisión Sistemática 2022", es de mi autoría, por lo tanto, declaro que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. He mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, nicopiados.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

LIMA, 14 de Diciembre del 2022

Nombres y Apellidos	Firma
MEJIA CARRASCO ELVIS MANUEL DNI: 46081317 ORCID: 0000-0003-3558-8337	Firmado electrónicamente por: EMEJIACA el 14-12- 2022 18:37:20

Código documento Trilce: INV - 1468955



# ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA.....	i
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD DEL ASESOR.....	iv
DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD DEL AUTOR.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III.METODOLOGÍA.....	17
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	17
3.2. Categoría, subcategorías y matriz de categorización.....	17
3.3. Escenario de estudio.....	17
3.4. Participantes.....	18
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	18
3.6. Procedimientos.....	18
3.7. Rigor científico.....	19
3.8. Método de análisis de datos.....	19
3.9. Aspectos éticos.....	19
IV.RESULTADOS.....	21
V. DISCUSIÓN.....	35
VI.CONCLUSIONES.....	41
VII. RECOMENDACIONES.....	43
REFERENCIAS.....	44
ANEXOS.....	51

## Índice de tablas

Tabla N°1. Resultados Objetivo Específico 1 .....	21
Tabla N°2. Resultados Objetivo Específico 2 .....	26
Tabla N°3. Resultados Objetivo Específico 3 .....	32

## Índice de Figuras

<b>Figura N°1.</b> Bioeconomía circular integrada con la biorrefinería de desechos.....	4
<b>Figura N°2.</b> Biorrefinería y sus productos derivados .....	8
<b>Figura N°3.</b> Bioeconomía circular que aborda los objetivos de desarrollo sostenible. Cuadrado azul: metas sociales y económicas; cuadrado verde: objetivos ecológicos; cuadrado rojo: industria limpia y objetivos económicos.....	12
<b>Figura N°4.</b> Bio refinería en economía circular de la caña de azúcar y sus residuos... .....	13
<b>Figura N°5.</b> Tecnología aplicada para generar biocombustibles.....	14

## RESUMEN

La biorrefinería integrada juega un rol importante en el nuevo enfoque de bioeconomía circular. Esta investigación tuvo el objetivo de evaluar el nuevo enfoque de biorrefinería integrada de los residuos sólidos urbanos para impulsar la bioeconomía circular. La metodología aplicada consistió en una revisión sistemática siguiendo categorías seleccionadas cuyos objetivos fueron analizar las tecnologías involucradas, los pretratamientos aplicados para facilitar el desarrollo de los procesos y los principios de la bioeconomía circular. Los resultados mostraron que se ha comenzado a desarrollar procesos en cadenas es decir la biorrefinería en cascada, la cual combina diversos procesos como la fermentación, la hidrólisis ácida o enzimática, así como la digestión anaerobia el compostaje requieren hoy en día integrar internamente varias técnicas para incrementar la eficiencia además a partir de grupos de residuos sólidos estos se combinan y se aprovechan todos los compuestos sólidos y licores para la producción de nuevos productos de todo tipo, farmacológicos, metabolitos, y bioenergía principalmente. Asimismo, es importante solubilizar los ácidos grasos volátiles presentes en moléculas más complejas, así como la lignina para formar moléculas más simples que mejoren el rendimiento de los procesos. Este enfoque es un componente fundamental de la bioeconomía que requiere un cambio en la mente y conciencia de las personas e industria de bienes y servicio sintiendo que el ecosistema, la vida y el hombre están integrados y deben cuidarse aprovechando la biomasa generada en sus diversas actividades como una nueva fuente del desarrollo sostenible.

**Palabras clave:** biorrefinería, tecnología, procesos, bioeconomía circular, residuos sólidos urbano.

## ABSTRACT

The integrated biorefinery plays an important role in the new circular bioeconomy approach. This research had the objective of evaluating the new approach of integrated biorefinery of urban solid waste to promote the circular bioeconomy. The applied methodology consisted of a systematic review following selected categories whose objectives were to analyze the technologies involved, the pre-treatments applied to facilitate the development of the processes and the principles of the circular bioeconomy. The results showed that chain processes have begun to be developed, that is, the cascade biorefinery, which combines various processes such; as fermentation, acid or enzymatic hydrolysis, as well as anaerobic digestion, composting, and today requires the internal integration of several techniques to Also increase efficiency from groups of solid waste, these are combined and all solid compounds and liquors are used for the production of new products of all kinds, pharmacological, metabolites, and bioenergy mainly. It is also important to solubilize the volatile fatty acids present in more complex molecules as well as lignin to form simpler molecules that improve the performance of the processes. This approach is a fundamental component of the bioeconomy that requires a change in the mind and awareness of people and the goods and services industry, feeling that the ecosystem, life and man are integrated and must be taken care of by taking advantage of the biomass generated in their various activities. as a new source of sustainable development.

**Keywords:** biorefinery, technology, processes, circular bioeconomy, solid urban waste.

## I. INTRODUCCIÓN

Los residuos sólidos urbanos (RSU) representa una de las principales cargas producidas a nivel global con un 50-60% de composición biogénica, pero su valorización apropiada genera una nueva economía y por ende la reducción de los impactos ambientales relacionados con su manejo y disposición, ya que casi 1.300 millones de TM de alimentos se desperdician cada año y esto es equivalente a un tercio de su producción a nivel mundial generando un costo de 900 mil millones de dólares americanos para la economía mundial (Dahiya et al., 2018).

Según Badgujar y Bhanage (2018) el planteamiento de la “cláusula del principio de química verde”, define a la materia prima, como un material renovable, que se puede aplicar en el concepto de biorrefinería, ya que en esta se usa cualquier tipo de residuo o materiales renovables usados en la generación de energía y productos con valor agregado que favorece la disminución de los impactos ambientales por residuos.

Duan et al. (2020) señala que la biorrefinería representa como una alternativa impecable con la capacidad de producir diversos bioproductos usando diversos desechos sólidos de tipo orgánico para lo cual aplica una diversidad de tecnologías de transformación química generando nuevos productos. Además, existe un enfoque prometedor que mejora el ámbito de la bioeconomía circular y que exigen de la actualidad sobre el incremento de la demanda energética por presión social y en la conservación de la biodiversidad, así la biorrefinería constituye un mecanismo emergente estratégica de sostenibilidad para la bioeconomía circular.

El permanente uso de las fuentes fósiles para la generación de energía y los impactos al ambiente causados por el uso indiscriminado de sus combustibles han producido una economía lineal y dependiente de los combustibles fósiles y la necesidad de cambiar hacia una bioeconomía (Khoshnevisan et al. 2020). El uso de material residual es importante, uno de los más investigados son los residuos de la biomasa lignocelulósica, residuos madereros, forestales, partes no comestibles de plantas, residuos orgánicos urbanos, domésticos, desechos de papeles, de alimentos, abonos, de frutas, estiércol de ganado, porcino, gallinas, etc., residuos orgánicos industriales, de aceite, alimentarias, de mataderos, etc. (Badgujar y Bhanage 2018).

En este contexto, la biorrefinería resulta alentadora ya que la producción de bioproductos empleando los desechos sólidos orgánicos agrícolas, industriales y también municipales incurren en el desarrollo de nuevas técnicas (Duan et al. 2020), integradas y combinadas, para convertir especialmente residuos municipales (Rajendran et al. 2021). Su desarrollo hacia un incremento en el servicio por la demanda energética y por la conservación ambiental y protección de biodiversidad la convierten en un ingrediente fundamental de la economía circular (Duan et al. 2020), no obstante, también, se generen impactos ambientales en la aplicación de la biorrefinería, por eso es importante conocer y medir los impactos ambientales (Liu et al. 2021). Las técnicas de biorrefinería se basan generalmente en métodos de digestión anaeróbica, generación de biocombustible, incineración, pirólisis y producción de gases, lo cual permite convertir los desechos municipales en energía alternativa (Rajendran et al. 2021).

Sin embargo, se requiere la aplicación de pretratamiento para preparar la muestra o material precursor antes de pasar a su procesamiento en las distintas tecnologías de la biorrefinería. Pretratamientos físico-térmicos son comunes; la variedad cuenta con principios termoquímicos, químicos y bioquímicos entre otros. Los métodos de pretratamiento requieren la combinación de diversos procesos para romper moléculas y prepara la muestra para incrementar la solubilidad de compuestos bioquímicos de interés (Shrestha et al. 2020).

En este contexto resulta crucial investigar en las limitaciones, deficiencias o limitaciones de la aplicación de las biorrefinerías, cuyo resultado pueda identificar y evaluar el impacto ambiental (Liu et al. 2021). El proceso biológico resulta ser más viable desde el punto de vista económico a diferencia del proceso térmico, de mayor inversión capital y energético (Rajendran et al. 2021), asimismo parte de los procesos térmicos, la producción de gases o gasificación produce la menor emisión y la pirólisis requiere de una menor inversión de capital (Rajendran et al. 2021), esta tecnología de conversión de residuos en energía reduce de manera significativa las emisiones y la demanda de energía (Rajendran et al. 2021).

Ante esta realidad problemática y sabiendo que los datos primarios son escasos y que existe una falta de estimación de las influencias de diversos factores externos imposibles de control en los procesos de biorrefinería (Liu et al. 2021) se plantea identificar los aspectos críticos y los desafíos futuros para mantener una sostenibilidad de la bioeconomía circular (Duan et al. 2020). Surge la pregunta:

¿Puede la biorrefinería de los RSU impulsar la bio-economía circular? Para la cual se planteó las siguientes interrogantes:

**PE1:** ¿Cuáles son las tecnologías implicadas en el desarrollo de labiorrefinería de los residuos sólidos urbanos?

**PE2:** ¿Cuáles son las rutas de pretratamiento relacionado con la aplicación de la biorrefinería sobre los RSU?

**PE3:** ¿Cuáles son los elementos de la bioeconomía circular relacionada con lo aprovechamiento de los RSU?

Es así como se formuló el objetivo de estudio: Evaluar la Biorrefinería de los RSU para impulsar la bio-economía circular.

**OE1:** Analizar las tecnologías implicadas en el desarrollo de la biorrefinería de los residuos sólidos urbanos

**OE2:** Analizar las rutas de pretratamiento relacionado con la aplicación de la biorrefinería sobre los RSU.

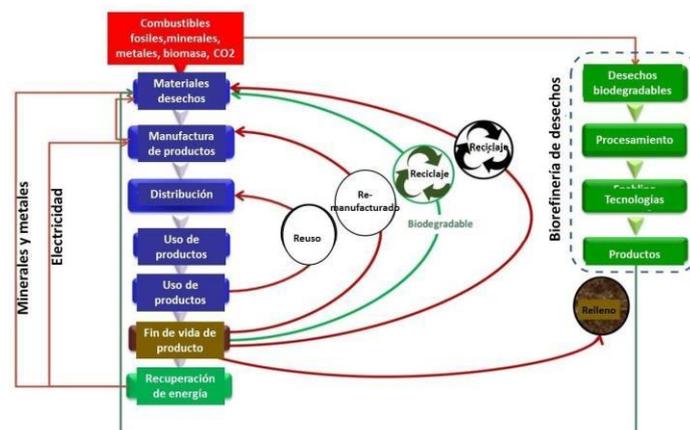
**OE3:** Evaluar los elementos de la bioeconomía circular relacionada con lo aprovechamiento de los RSU.

Esta investigación pretende describir una revisión sistemática de la influencia del desarrollo de la biorrefinería sobre los residuos sólidos orgánicos municipales para impulsar la bioeconomía circular (Duan et al. 2020).

## II. MARCO TEÓRICO

**Metabolismo urbano.** Las grandes ciudades se caracterizan por sus ingresos elevados que son observados en el PIB nacional, es decir en su producto interno bruto, es un indicador de su dinámica económica de bienes y servicios, y de la corriente dinámica de materiales y energía, que usan millones de ciudadanos, así este sistema de flujo de materia tan diversa y de la energía dentro de cada ciudad se define como metabolismo urbano, el cual presenta una serie de desafíos socio- ambientales con fragmentaciones en el manejo ciudadano, incluso en los tiempos actuales que define un periodo de transición entre la economía lineal y la bioeconomía circular (Mohan et al. 2019). En este contexto el principal recurso son los residuos sólidos producidos por las actividades humanas desde sus diversas actividades domésticas y económicas, se puede aprovechar de reusar los mismos artículos empleados anteriormente antes de desecharse en un mismo proceso, reciclaje o quema para recuperar energía incluyendo la fabricación de nuevos bioproductos (ver figura 1). Es importante considerar cada proceso propio de una comunidad como las medidas de protección y disminución de los desechos, así como la restauración del daño causado (Iacovidou et al., 2017), esto disminuiría la presión ejercida por poblaciones más grandes encajando con la bioeconomía circular en un ambiente o ecosistema en constante regeneración con una gestión eficiente de recursos (Mohan et al. 2019).

**Figura 1. Bioeconomía circular integrada con la biorrefinería de desechos.**



Fuente: Mohan et al. (2019)

**Enfoque de biorrefinería y reciclaje.** Ciudades turísticas muy visitadas como.

La Meca en Arabia Saudita acoge a miles de devotos y practicantes de su fe y religión siempre, produciendo toneladas de desechos sólidos urbanos de tal forma que los rellenos sanitarios recepciona 2.4 mil toneladas de residuos diariamente, y cantidades de RSU que alcanzan la cifras de 3.1 a 4.6 mil toneladas diarias y no cuentan con biorrefinerías o instalaciones para la conversión de fracciones de residuos sólidos como fuentes de energía renovable para valorar y reducir el uso de vertederos (Nizami et al. 2017). La implementación de la biorrefinería de residuos sólidos en la ciudad de La Meca, debe integrar diversas tecnologías entre las que destacan la digestión anaerobia, la transesterificación, la tecnología paralítica y el biocombustible, con una capacidad de tratamiento cercano a los 88% del residuo total de la ciudad, mientras que 12.2% de fracciones de residuos que sobran pueden ser reciclados, entonces Nizami propuso dos enfoques, el de biorrefinería a partir de los desechos y el reciclaje, como generadores de cerca de 87.6 millones de riyal saudí en créditos de carbono como una fuente de ahorro por otro lado, producir ingresos importantes por la desviación de vertederos y por generar electricidad y ahorrarían 1.95 millones de barriles de petróleo y de otros combustibles fósiles con una disminución de 1.15 millones de MT CO<sub>2</sub> equiv. de calentamiento global (Nizami et al. 2017).

**Clasificación de la materia prima de base biológica.** Se han clasificado 2 grupos de materiales, el primero definido por la materia prima primaria o no residual conocida como cultivos energéticos y la segunda por los residuos o desechos basados en carbono provenientes de la agricultura o de silvicultura, desechos industriales o acuícolas, además en el primer caso, se cultivan plantas como material fresco basado en carbono, especialmente en los sectores agrícola, acuícola y forestal (Badgujar y Bhanage 2018). Todos estos materiales varían en su composición fisicoquímica que contiene fundamentalmente carbono, hidrogeno y oxígeno en cantidades muy bajas (trazas), así como NPK, humedad, cenizas y minerales. Estos materiales pueden diferir en el potencial calórico, volumen

específico sin embargo es el carbono es el elemento fundamental de cualquier material precursor aprovechado en la biorrefinería (Badgujar y Bhanage 2018).

**La materia lignocelulósica** resulta muy útil para producir biocombustible, así como otros productos con valor agregado mediante la biorrefinería, es importante destacar que el fin supremo es el desarrollo sostenible (Dong et al. 2019). Existen ciertas preocupaciones por algunos factores que influyen en los procesos, desde el tipo de desecho sólidos por ejemplo la el contenido de materia lignocelulosa de difícil degradación y que no permite la producción dinámica y buen rendimiento de algún producto de interés requiere el pre tratamiento de residuos, ya que esto le confiere distintas propiedades e implicarequerimiento diversos en los procesos lo cual cambia las condiciones operativas en cada procesos de un misma tecnología y dentro del sistema integrado de la biorrefinería misma así como el consumo del agua, insumos químicos, por lo que hay que realizar estudios previos de factibilidad económica y ambiental para el desarrollo de procesos de producción de biocombustibles de alta eficiencia (Dong et al. 2019).

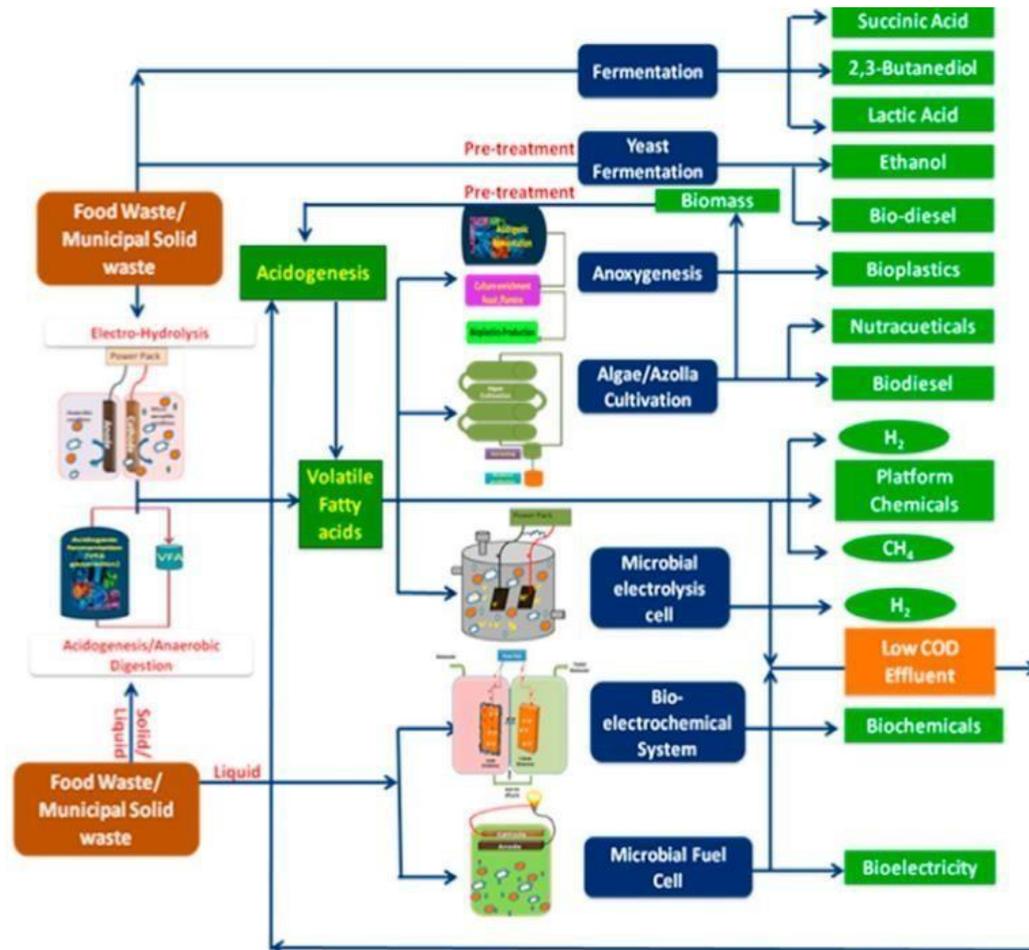
También Battista et al. (2020) señala la importancia de esta actividad como bioeconomía, incide en el documento actualizado sobre la estrategia de una Bioeconomía sostenible para Europa, que conlleva a reforzar la conexión con el desarrollo sostenible planteado por la Comisión Europea en 2018, señala que es importante promover la explotación de residuos/desechos orgánicos siguiendo la jerarquía piramidal respecto a la extracción de metabolitos importantes, que se utilizarán tal cual o como precursoras de compuestos de alto valor agregado, es una prioridad en la producción de biocombustibles.

**Métricas de sostenibilidad sobre materiales lignocelulósicos.** La biorrefinería presenta una dificultad al tratar de transformar biomasa lignocelulósica como residuos en biocombustibles/biopolímeros y es necesario buscar soluciones debido a la importancia de este tipo de residuos que poseen muchos componentes y metabolitos ricos para su explotación en el contexto de sostenibilidad (Khairul et al.2019). Las fracciones de los componentes químicos necesitan muchas veces pretratamiento, esto se realiza aplicando diversas operaciones unitarias esto resulta fundamental para el subsecuente desarrollo de los demás procesos en cola en la biorrefinería, sin embargo, es importante

medir la sostenibilidad de las distintas técnicas de pretratamiento y sus riesgos operativos durante la urbanización a través de ciertos indicadores económicos, ambientales y sociales (Khairul et al. 2019). Se debe tener en cuenta ciertos índices ecológicos sobre los logros del fraccionamiento, el potencial de reciclaje químico, la ruta de operaciones y las variables de seguridad en el contexto del diseño de valorización de la lignina y de la biomasa, y la relación de balance de materia y energía, el consumo de agua definen la factibilidad de del desarrollo de la biorrefinería en una ciudad; hay una cuestión muy importante que se tiene que considerar, el uso de disolventes y compuestos químicos para tratar el material lignocelulósico puede generar problemas ambientales y lo cual significa que la industria contemple procesos operativos y desafíos que superar especialmente en ciudades densamente pobladas y en la gestión de residuos municipales (Khairul et al. 2019).

**Técnicas usadas en la biorrefinería.** Retendrán et al. (2021) investigo en técnicas orientadas a disminuir la generación de desechos y a cambio generar beneficios de sostenibilidad a largo plazo, ya que es posible fabricar productos con valor agregado a través de enfoques holísticos e integrados como la aplicación de la digestión anaeróbica, elaboración de biocombustible, procesos térmicos y pirolíticos incluida la gasificación para producir energía limpia en las que se usa los desechos municipales como materia prima. Gran parte de las técnicas de conversión son muy eco amigables con el ambiente en el manejo de los residuos sólidos urbanos, se sabe que las tecnologías biológicas son menos costosas comparadas con las tecnologías térmicas o pirolítico, por el alto costo de capital y uso energético (Rajendran et al. 2021). La gasificación como parte de la tecnología térmica esta genera bajas emisiones, mientras que la pirólisis requiere de un menor capital convirtiéndose en una técnica económicamente viable comparada con los demás procesos térmicos, esto significa que estas tecnologías de conversión de los desechos sólidos municipales o urbanos reducen de manera significativa las emisiones y la demanda de energía (Rajendran et al. 2021) (Ver la figura 2).

**Figura 2. Biorrefinería y sus productos derivados**



Fuente: Mohar et al. (2019).

**Economía circular y co-digestión anaerobia.** Moretto, et al. (2019) evaluó la definición de economía circular, al crear productos mercantiles con valor agregado y de generar energía limpia usando residuos orgánicos lo cual ejercía la disminución de un impacto positivo especialmente ambiental (Moretto, et al. 2019). Entonces desarrolló a escala piloto una biorrefinería urbana integrada basada en una serie de procesos y de tecnologías en la circunscripción municipal en la ciudad de Treviso, Italia, con la finalidad de producir biopolímeros de última generación como el polihidroxialcanoatos- PHA y biogás (Moretto, et al. 2019). A escala piloto inferior a los 500 L se conformó unidades de proceso: fermentación ácido génica de los residuos orgánicos y de lodos; dos etapas relacionadas con las separaciones de las fracciones sólido-líquido mediante la aplicación de una centrífuga coaxial y de una membrana tubular; de un reactor secuencial discontinuo para generar biomasa aerobia con

capacidad de almacenar el polímero PHA; otro reactor aerobio para acumula PHA discontinuo y un sistema de co-digestión anaerobia(Moretto, et al. 2019). Al confirmar la composición de los desechos y lapresencia de lignocelulosa se aplicó un pretratamiento a los desechos a 72 °Cpor 48 h y logro solubilizar parte del material orgánico, transformándolo en ácidos grasos volátiles (AGV) en condiciones semi-estacionarias bajo condiciones de fermentación a 37°C que produjo 30 g DQO/L con un rendimiento significativa (0.65 g COD SVG/g (Moretto, et al. 2019). Así se logró optimizar la calidad de la biomasa con capacidad de almacenar PHA, porque se impidió que el microbiota no útil es decir aquella sin capacidad de almacenar estos biopolímeros. Para optimizar el proceso se aplicó el método de hambruna-festín en condiciones aerobias para la biomasa seleccionada en funcionamiento continuo por seis meses con una carga orgánica aproximada de 4.4 g DQO/Ld, tiempo de retención hidráulica diario (Moretto, et al. 2019). Posteriormente la co-digestión anaerobia se realizó por 15 días, con una cargaorganiza de 3.5 kg SV/m<sup>3</sup>. d a partir de los sólidos residuales recuperados del pretratamiento en la centrifuga axial para la producción de biogás que logro unrendimiento máximo de 0.51 m<sup>3</sup>/kg SV y el digestato; en conjunto se produjo el7.6%en peso de PHA, estos resultados le dieron a la comunidad una nueva visión de reaprovechamiento de los desechos urbanos (Moretto, et al. 2019).

Battista et al. (2020) investigo a la biorrefinería para la adopción de desechos alimentarios y lodos de depuradora con la finalidad de generar ácidos grasos volátiles usando la fermentación oscura como proceso de transformación. La fermentación de los ácidos se optimiza con un pH ligeramente ácido (6–7), un tiempo de retención hidráulico corto de hasta 7 días) y una alta tasa de carga orgánica de 10 g de solidos totales/L.d. Se destaca que los ácidos grasos volátiles son muy explotados para producir PHA usando nuevamente el método de festín y hambruna en reactores discontinuos y logro rendimiento de hasta 0.5 gPHA g/DQO(Battista et al. 2020). Es bien sabido que los AGV como ácidos orgánicos sus componentes químicos fácilmente pueden generar biocombustibles, como hidrógeno y metano, usando la tecnología de la digestión

anaeróbica; es importante destacar que estas formas innovadoras actualizan los principios y enfoque sobre bioelectroquímica para la generación de biocombustible y favorecen la producción de biometano a ser usado en el sector automovilístico (Battista et al. 2020). Más aun, se viene avanzando desde la producción de biogás hacia la producción dePHA, que es un termoplástico muy biodegradable y compatible que se logra usando microorganismos los cuales tiene fuentes de carbono C1 en forma de CO<sub>2</sub> y de CH<sub>4</sub>, así los digestatos de los reactores anaerobios poseen una riqueza en componentes nitrogenados y fosforados y eso resulta bueno ya que en Europa hay poca disponibilidad de estas sustancias y esto permite cerrar el ciclo bioeconómico (Battista et al. 2020).

La fracción orgánica de los desechos sólidos urbanos son usados en la producción de bioproductos y bioenergía mediante la biorrefinería por distintas rutas de valorización e innovación como, proteína unicelular, ácido biosuccínico/ácido láctico, bioenergía, o mejorando el biogás asistida por el consumo de hidrógeno, se aprovechó esta producción para consumo energético para continuar procesando el reciclaje del digestato rico en nitrógeno, de tal forma que se genera un beneficio ambiental bajo cualquier escenario mediante la valorización de los residuos biológicos (Khoshnevisan et al. 2020). Esta condición ocasiono la disfunción de las proteínas microbianas de 58 a 147 kg de CO<sub>2</sub>, eq/t de biopulpa usada, también disminuyeron la generación del ácido succínico y de la emisión de 173 kg de CO<sub>2</sub>, eq/t de biopulpa (Khoshnevisan et al. 2020). Se destaca Este proyecto productivo de biogás es capaz de recuperar 9724 MJ/t de biopulpa contribuyendo en cualquier escenario de sostenibilidad; sin embargo, las políticas de gestión ambiental, gestión política y la dinámica del mercado de carbono deben considerarse para perfilar los procesos de valorización de desechos en una biorrefinería integrada (Khoshnevisan et al. 2020).

La biorrefinería para la bio-transformación de residuos de alimentos mediante microalgas heterótrofas que contienen una riqueza proteínica, también contempla extraer pigmentos con alto valor como la Astaxantina, carotenod, riboflavina entre otros, así como una serie de vitaminas entre ellas el retinol, o el ácido ascórbico y flavonoides de los desechos de alimentos

está siendo desarrollada con éxito, este enfoque se puede incluir en la gestión urbana y producción de diferentes productos, como sustancias químicas y disminuir los riesgos ambientales (Laibach et al. 2021; González-García et al. , 2018 a, 2018b).

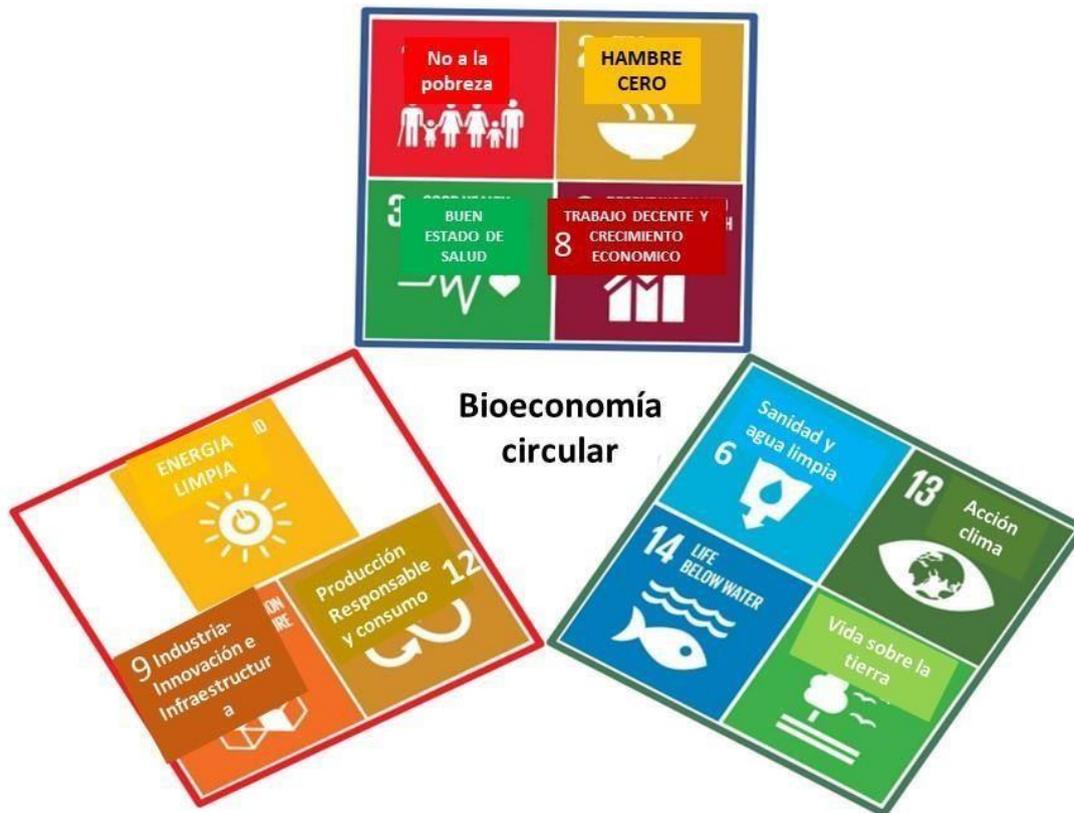
Respecto a la materia prima dedicada, esta contempla los cultivos de biomasa de lignocelulosa a partir de la cual produce energía, destacan la madera dura forestal, maderas blandas, pinos y *miscanthus*, también hierbas, ensilados, cereales germinados, arbustos, brotes de vegetales y pastos, biomasa de algas, plantas marinas, cultivos oleaginosos que permiten producir aceites por ejemplo de colza, de coco, de soja, de palma, a semillas de algodón etc., trigo, maíz, azúcar y sus derivados como remolacha papa, etc. (Badgujar y Bhanage 2018).

Duan et al. (2020) describió la situación del manejo de los residuos sólidos orgánicos producidos por las actividades agrícolas, actividades industriales con una visión urbana hacia una visión de biorrefinería potencial evaluando los aspectos de tecnología y costos –beneficios que conducen a los desafíos coyunturales y la perspectiva futura para la sostenibilidad de la bioeconomía circular en China, entre sus hallazgos reporto una amplia variedad de tipos de residuos sólidos lo cual considero crucial para la implementación de la biorrefinería en el contexto de una bioeconomía circular. Concluyo que para lograr el desarrollo de la bioeconomía circular este debía ser sostenible y por tanto requiere integrar los aspectos económicos, ambientales y sociales; sin embargo, aún faltos un mayor desempeño para llevar la biorrefinería hacia una bioeconomía por lo que se requiere una mayor investigación sobre las técnicas fundamentales para lograr su sostenibilidad (Duan et al. 2020).

Mohan et al. (2019) manifestó su preocupación por el riesgo de agotar los recursos y el cambio climático llevándonos al límite, lo que implica la necesidad urgente de lograr una transformación dinámica y revolucionaria mediante una economía circular, la cual desarrolla esfuerzos por integrar los beneficios económicos- ambientales en un enfoque sostenible, esta bioeconomía se va convirtiendo en piedra angular de una economía sostenible aplicando los residuos como material precursor. Una transformación sostenible requiere en principio interrelacionar los principios fundamentales de economía circular y la

bioeconomía en el contexto de la biorrefinería de residuos, concreta y real capaz de enfrentar el agotamiento de los recursos, ante una creciente demanda social, el cambio climático y la variabilidad de los precios (Mohan et al. 2019).

**Figura. 3. Bioeconomía circular que aborda los objetivos de desarrollo sostenible.**

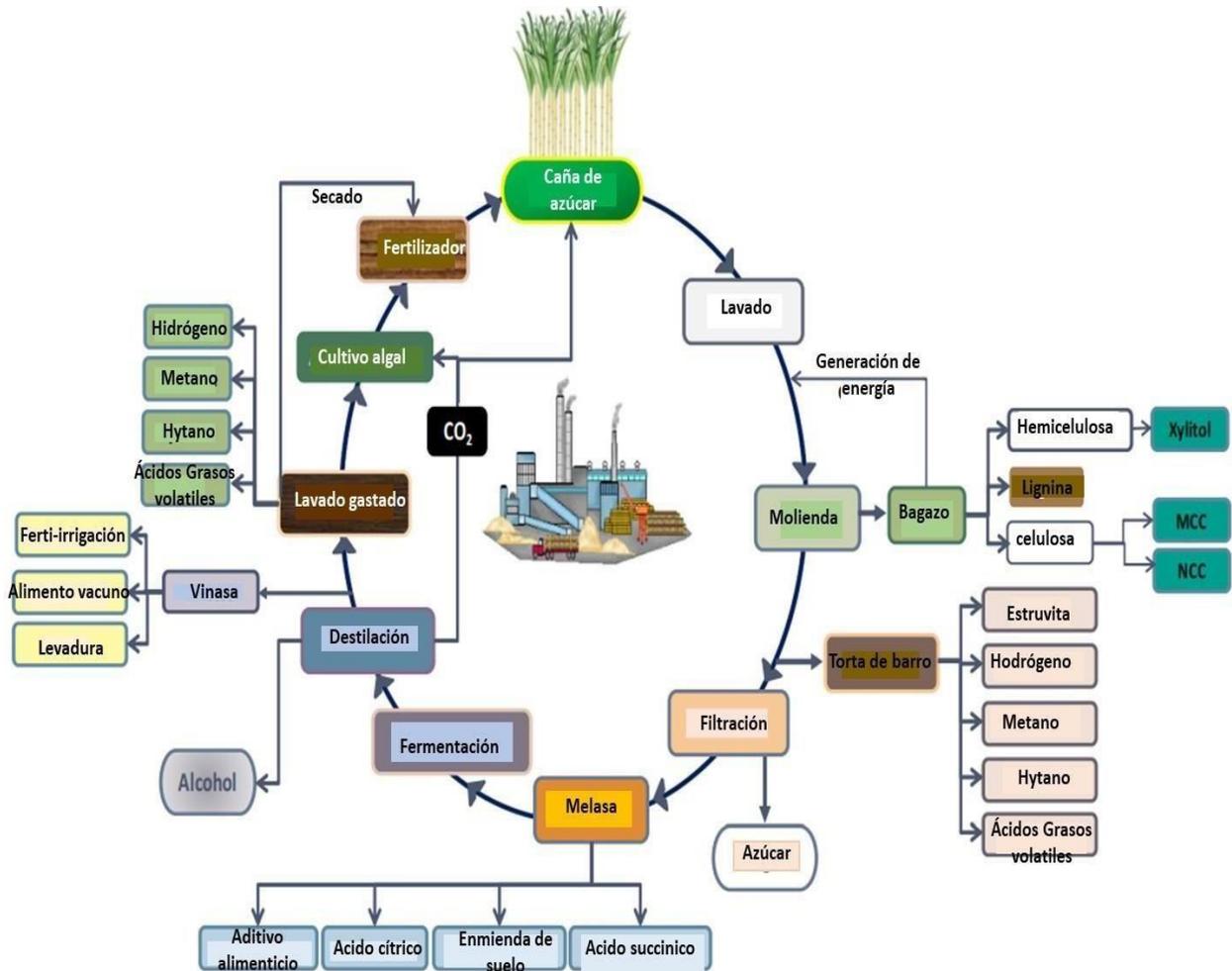


Fuente: Mohan et al. (2019).

Cristóbal et al., (2018) es importante hacer un cambio en la dirección de los residuos orgánicos desde los rellenos sanitarios hacia las biorrefinerías, pero es importante diferenciar las biorrefinerías en función del tipo de residuos y procesamiento que se aplica en ella, la biorrefinería de residuos alimentarios, agroalimentarios destacan entre otras, también se ha desarrollado la biorrefinería de pulpa de remolacha azucarera, de la lignina que ha generado una creciente economía (Adiletta et al., 2019; Hassan et al., 2019) han sido ampliamente discutidas en estudios anteriores. Algunos productos logrados generalmente son productos químicos básicos, biocombustibles, bioenergía y compost, pero es crucial considerar la viabilidad económica paralela a la sostenibilidad ambiental para mitigar la generación de la huella de carbono

(Beltrán-Ramírez et al., 2019), un ejemplo clásico es la biorrefinería de la caña de azúcar (ver figura 4), cada proceso genera distintos productos, la producción se desarrolla en cascada en todo el ciclo integrado con el valor de los productos mediante su reúso cerrando así el ciclo (Mohan et al. 2019).

**Figura 4. Bio-refinería en economía circular de la caña de azúcar y sus residuos.**



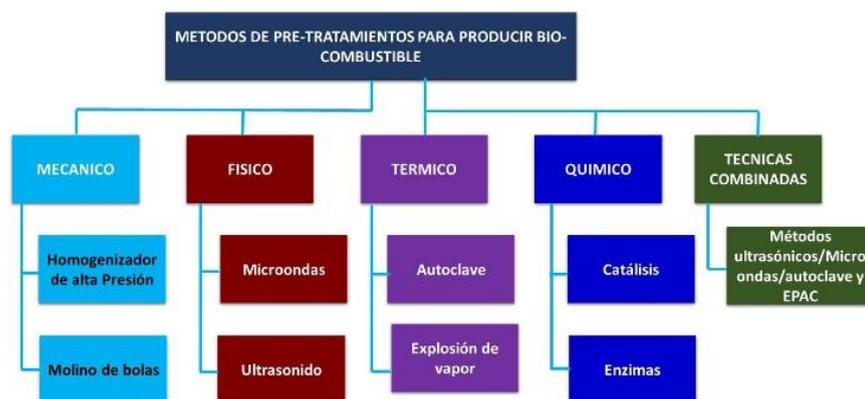
Fuente: Mohar et al. (2019).

Haddadi et al. (2017) expresa una nueva biotecnología presenta un potencial para resolver aspectos del calentamiento global y la contaminación del ambiente que preocupa a la población mundial. Es importante integrar los procesos de la biorrefinería usando además la biomasa para mejorar la fuente renovable, el cambio del uso de combustibles fósiles por energía limpia y generar productos biológicos saludables a nivel industria (Haddadi et al. 2017). La ingeniería genética ha mejorado los diseños y funcionamientos de los

biorreactores mediante la introducción de organismos mejorados, usados con enfoques centrados en incrementar el rendimiento de las biorrefinerías de nueva generación con el uso de materias primas que necesitan nuevas rutas y más flexibles, en este contexto los enfoques biológicos han llamado la atención por la transformación de biomasa en biomaterial y biocombustible (Haddadi et al. 2017). El incremento de nuevos productos valiosos debido a la transformación de la biomasa residual por los procesos de la biorrefinería integrada puede dirigirse al reemplazo del uso de combustibles fósiles y cambiar a la economía en una economía verde y autosostenible (Golden et al 2017). La ingeniería genética y metabólica, usa los principios biológicos de las células vivas tales como bacterias, microalgas, bacterias incluyendo los hongos, de tal forma que se puede reducir los GEI y el CO<sub>2</sub> con este enfoque, en conjunto, la combinación de vías biológicas con otras convencionales ayuda a disminuir el costo de operación al usar materiales de desecho, prevenir la contaminación del ambiente y, por lo tanto, producir subproductos valiosos.

En la actualidad el pre-tratamiento de residuos incluye técnicas mecánicas, térmicas y pirolíticas, fisicoquímicas y otras integradas que se usan para romper la molécula y lograr un mejor rendimiento en la producción de biocombustible, la figura demuestra los diversos procesos usados con este fin (Onumaegbu et al., 2018).

**Figura 5. Tecnología aplicada para generar biocombustibles.**



Fuente: Onumaegbu et al., (2018)

**El Pretratamiento integrado**, recientemente se ha visto que ya no es posible que un tratamiento basado exclusivamente en una técnica resulte eficiente para lograr una disposición de la mayor parte de los constituyentes químicos de la biomasa, por ello se ha ido integrando distintas componentes tecnológicas y biotecnológicas y gracias a las combinaciones de ellos y de sus eficiencias es posible complementar la eficiencia global y ampliar la limitación inicial de un solo método. Por ejemplo, se ha integrado métodos y para optimizar la solubilidad de los lodos de depuradoras y aprovecharlos en procesos de digestión anaerobia para la producción de biogás o biocombustibles, así un sistema integrado consume menos energía y desarrollo menores costos de operación y fijos entre otros (Shrestha et al. 2020).

Nuevamente los aspectos de factibilidad son cruciales, para lograr la implementación de los procesos que formaran parte de la biorrefinería, por ejemplo ¿a cuánto será el consumo requerido de energía?, ¿a cuánto asciende todos los gastos y el rendimiento del proyecto que incluyen todas las combinaciones posibles para eliminar la carga de residuos sólidos y producir un rendimiento efectivo de biogás por la tecnología de digestión anaerobia (Shrestha et al. 2020).

Moretto et al. (2019) busco además producir biopolímeros (polihidroxialcanoatos, PHAs) y biogás a partir de estos residuos, mediante una separación de las fases sólido-líquido usando la técnica de centrífuga coaxial y una membrana tubular con una porosidad de 0.2  $\mu\text{m}$  y posteriormente de un reactor secuencial por lotes para producir biomasa aerobia con potencial de generar PHA; también uso un reactor de acumulación de PHA discontinuo con aireación y uso finalmente un proceso de codigestión anaeróbica. Para el pretratamiento Mecánico-Térmico, se cuenta con mecanismos térmicos de fuerzas de corte el sustrato se presuriza mediante la aplicación de calor térmico con vapor con método mecánicos y luego pasa por una etapa de calentamiento con la finalidad de suavizar los enlaces químicos de cada componente molecular y luego romper estos enlaces hasta obtener unidades o compuestos más simples (Shrestha et al. 2020).

Con relación al pretratamiento químico-térmico, en este caso, se usan bajas como las temperaturas, las bajas comprenden valores menores de 90°C más o

menos y las altas podrían alcanzar 200°C, más o menos; respecto al tratamiento químicos, se han usado diversos compuestos químicos, alcalinos, alcoholes, ozono, u otro agente de oxidación como el peróxido de hidrógeno y la integración que logra una mejor solubilizarían combinada resulta más eficiente (Shrestha et al. 2020).

El pretratamiento biológico, presenta diversos métodos, pero destacan la tecnología de la hidrólisis esta puede involucrar el uso de enmiendas enzimáticas para lograr que los procesos posteriores no perjudiquen el rendimiento, por ejemplo para lograr una digestión eficiente en menor tiempo en condiciones aerobias, el proceso auto hidrolítico y la digestión dual suelen ser usados para lograr la reducción de sólidos, a veces se requieren tiempos de tratamiento más prolongados, así que al adición de enzimas como celulasa, peptidasa, carbohidrasa, proteasas y lipasa logran más materia soluble disponible por eso es crucial investigar acerca de las dosis y valores o condiciones fisicoquímicas más convenientes para su aplicación en los procesos ya que hay pocos estudios de que combinen las enzimas para conseguir el mejoramiento en el rendimiento de degradación de las moléculas más recalcitrantes (Shrestha et al. 2020).

Respecto a las tecnologías usadas Moretto et al. (2019), la tecnología de fermentación para una combinación de residuos de alimento pre-tratados y lodos biológicos a través de un flujo rico en ácidos grasos volátiles es básica en la biorrefinería, para ello emplearon diversas temperaturas, condiciones de pH, además de los tiempos de retención hidráulica y distintas cargas orgánicas en corridas continuas y discontinuas, logro entonces mejores resultados cuando aplico temperatura de 37 °C y pH 9 y cuando pretrataba los residuos térmicamente a 72 °C por 6 h en un proceso continuo de 6 días y una carga orgánica menor de 7.7 kgSV/m<sup>3</sup> d y produciendo 0.77 DQO entre los ácidos grasos finales e iniciales y de 39 gDQO/L como ácidos grasos volátiles

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo y diseño de investigación**

El enfoque es cualitativo, porque nace de una literatura ya existente que se centra en recolectar información donde se puedan obtener datos claves que se requiere para la investigación (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014, p.7-9). La investigación a desarrollarse es de tipo descriptiva además de cualitativa (Espinoza y Toscano 2015, p.30), debido a ello se efectuará una revisión sistemática y de revisión de tópicos que comprenderá el análisis de artículos de ciencia relacionada con la biorrefinería de los residuos sólidos urbanos, las tecnologías usadas y su influencia sobre el impulso en la bioeconomía circular como un nuevo enfoque global encaminado a mitigar el calentamiento global e impulsar el desarrollo sostenible de las ciudades especialmente en las grandes urbes. Los artículos que se emplearán para la revisión comprenderán los últimos 5 años, es decir entre el 2017 y el 2022, con relación a la biorrefinería de los residuos sólidos de gestión municipal y urbana. La finalidad ha sido actualizar el conocimiento y desarrollo de valor agregado de los residuos sólidos y desechos basados en aportes científicos y de desarrollo sostenible y de economía circular, esta información está constituida por información verdadera.

#### **3.2. Categoría, Subcategorías y matriz de categorización**

La matriz de categorización apriorística desarrollado en esta investigación se presenta en el Anexo 1.

#### **3.3. Escenario de estudio**

Este tipo de investigación es de revisión sistemática basada en una selección de artículos escogidos en razón de las categorías planteadas en esta investigación relacionada con la biorrefinería de los residuos sólidos urbanos y la bioeconomía circular, por ello no se cuenta con un escenario físico, en este contexto se ha usado las distintas bases de datos de artículos indexados, se halló un registro ordenado y con secuencia lógica de los últimos conocimientos y experiencias

publicadas a nivel global. Se han cubierto casos de procesos de biorrefinería para aprovechar los residuos urbanos.

### **3.4. Participantes**

Los participantes comprenden el autor de este proyecto y asesora de la investigación, además debido a que el proyecto contempla exclusivamente la revisión de artículos científicos se cuentan como participantes las bases de datos escogidas para esta investigación como Scopus, Sciendirect, WoS, Google académico, para una recolección mínima de 40 artículos, seleccionados en función de las categorías planteadas en el proyecto.

### **3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Debido a que los instrumentos para la colecta de datos e información de los artículos, este consiste en la aplicación de una ficha que destaca, la referencia bibliográfica, y los extractos que responden a las categorías y subcategorías e indicadores planteados en este proyecto. De acuerdo con Cegarra, (2011, p. 102) las fichas técnicas pueden usarse para la colecta de datos permite aprovechar el proceso de búsqueda de información para organizarla adecuadamente en sus diferentes categorías (Domínguez, 2016, p. 55).

### **3.6. Procedimientos**

Se uso la siguiente cadena de búsqueda: TITLE-ABS-KEY (BIOREFINERY TECHNIQUES) AND (TYPES OF URBAN SOLID WASTE) AND (BIOREFINERY OF URBAN SOLID WASTE) AND (PRE-TREATMENT OF URBAN SOLID WASTE) AND (PRE-TREATMENT OF LIGNOCELLULOSIC WASTE) AND (BIOECONOMYCIRCULAR) AND (CIRCULAR BIOECONOMY ELEMENTS) AND (LIMIT-TO (PUBYEAR,2022) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2021) OR LIMIT- TO (PUBYEAR,2020) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2019) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2018) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2017) OR LIMIT-TO (DOCTYPE,"ar") OR LIMIT- TO (DOCTYPE,"re") OR LIMIT-TO

(DOCTYPE,"cp"). Se efectuará la filtración de los artículos que se obtengan como resultado de la búsqueda y se eliminarán aquellos que no cumplan con los criterios mencionados. En el Anexo 1 se presentan los resultados obtenidos.

### **3.7. Rigor científico**

El rigor científico para asegurar la confiabilidad de investigación este resulta un asunto central, y se relación con la aplicación de un instrumento, el trabajo de campo, trabajo analítico, así como un muestreo teórico y revisión y análisis de los enfoques actuales que pueden causar controversia o expliquen fundamentos teóricos contrarias al interés de la investigación, que confronte lo esperado, generar una saturación teórica e integridad del investigador. También se incluyen validez del constructo, la confiabilidad de los datos obtenidos, objetividad frente a la subjetividad, credibilidad, conformabilidad y transferibilidad (Aria y Giraldo 2011).

### **3.8. Método de análisis de datos**

Los datos colectados han sido extraídos desde diversas fuentes de publicación de revistas indexadas y arbitradas, y se han dispuesto en tablas en la sección de resultados y discusión dispuestos por cada categoría seleccionada respecto a tipos de desechos municipales, tipos de procesos de biorrefinerías, relación entre economía circular, biorrefinería la cual, se detalla en la parte de resultados.

### **3.9. Aspectos éticos**

Se considera como base fundamental para el desarrollo de la investigación, el respeto al derecho de autor mediante la cita correspondiente y la aparición en las referencias de cada autor, asimismo se tiene como norma del desarrollo del

proyecto la RCU N°200-2018-UCV LINEAS DE INVESTIGACIÓN y la RVI N°011-2020 para la elaboración de la investigación de fin de carrera y las normas éticas de código de ética institucional RCUN°0262-2020-UCV.

#### IV. RESULTADOS

En la tabla 1, se observa el análisis de las tecnologías integradas en el desarrollo de la biorrefinería de los residuos urbanos

**Tabla N°1. Análisis de las tecnologías integradas**

Tipo de residuos	Objetivo	Proceso	Prueba	Lugar	Referencia
Residuos sólidos orgánicos	Optimizar el proceso de fermentación y de co-digestión anaerobia	Pruebas de Tecnología de la fermentación Tecnología de la digestión anaerobia	Condiciones: 37 y 55 °C 72 C, 76 horas (algunas pruebas de 37°C) pH 5-9	EDAR de Treviso	Moretto et al. (2019)
Residuos sólidos orgánicos		i. Tecnología de la fermentación uso de ácidos sobre los residuos orgánicos sólidos urbanos y lodos de PTAR; ii. Separación de fases sólida y líquida mediante centrifugado co-axial; iii. Reactor en serie discontinuo para la producción de biomasa aeróbica de almacenamiento de PHA; iv. Reactor aerobio para acumular biopolímero- PHA y e) tecnología de la codigestión anaerobia	<u>Pretratamiento</u> térmico: 72 oC, 48 h modo discontinuo en condiciones de fermentación mesófila (37 C). carga organics de 4.4 g DQO/L d Tiempo de retención hidráulica: 1 día. Producción de biopolímeros (polihidroxialcanoatos, PHAs) y biogás AGV: 30 g COD/L Rendimiento total: 0.65 g DQO/g residuos: e 30% y 70% residuos exprimido 150 solidos totales g/kg Lodos biológicos 30 solidos totales g/kg	Treviso (noreste de Italia)	Moretto et al. (2020)
Residuos alimentarios		Planta piloto de transesterificación, más unidad de biodigestión más unidad de compostaje para procesar 3.3 toneladas diarias de residuos de alimentos producidas y biomasa de poda. El material lignocelulósico: celulosa, hemicelulosa, lignina detergente ácida, carbono, y nitrógeno. Los residuos de alimentos con poder calorífico superior: 18.660 J/g.	Biodiesel, biogás, compost orgánico, energía eléctrica Producción media de biogás: 0.584 Nm3 kg/VS Producción media de metano: 50% Generación de electricidad: 44 MWh/año		de Sousa et al. 2022
Residuos sólidos urbanos OFMSW		1. <u>Pretratamiento</u> : Uso de Organosolv de etanol catalizado con ácido acético Temperatura: 120 y 160 °C 2. Hidrólisis enzimática de los sólidos	1. <u>Pretratamiento con etanólico organosolv (85% v/v)</u> Temperatura: 120 y 160 °C tiempos de reacción: 30 y 60 min Biomasa: 20 g de residuos seco	Isfahan, Irán,	Ebrahimian et al. (2020)

		<p>residuales no hidrolizados: 3. Digestión anaeróbica</p>	<p>Final: Separación de sólidos secos para hidrólisis y fermentación</p> <p><u>2. Hidrólisis enzimática</u>          Uso de residuos crudo (celulosa: glucano): 1.5 g seco          Solución tampón: 30 ml citrato de sodio 0.05 M          pH: 4.8  <u>Hidrólisis de la fracción de celulosa (glucano):</u>          carga de celulosa de 20 FPU (26.4 mg de proteína)          /g sustrato seco          temperatura: 45 °C          tiempo: 72 h  <u>Hidrólisis de almidón:</u>          α-amilasa y glucoamilasa: 0.1 g/g de almidón.          Adición de 1g/l de CaCl<sub>2</sub>          Temperatura: 90 °C          pH: 6          tiempo: 2h  <u>Sacarificación:</u>          Sacarificación de almidón          Fermentación: <i>E. aerogenes</i></p> <p><u>3. Extracción de PHA</u>          Luego de 72 h de fermentación:          Separación de biomasa bacteriana centrifugación          Tiempo: 20 min          8000 rpm          Liofilización          Adición de cloroformo          Temperatura: 65 °C          Tiempo: 6 h          Mezcla en Petri y secado en estufa          Temperatura: 50°C</p> <p><u>4. Digestión anaeróbica de sólidos no hidrolizados para la producción de biogás</u>          Lodo de inóculo de PTAR: 20 ml          Residuos de hidrólisis sin tratar y pretratados: 0.25 g SV (sólido volátil)          Agua destilada: 5 ml          Temperatura: 37 °C          Tiempo: 45 días</p>		
--	--	--	---	--	--

Residuos sólidos municipales		<p>1. residuos sólidos municipales: organosolv etanólico</p> <p>2. Hidrólisis enzimática de celulosa y hemicelulosa con glucosa; xilosa y almidón de residuos secos sin proceso. Se obtiene hidrolizados mediante el Cocultivo: <i>Clostridium acetobutylicum</i> y <i>Enterobacter aerogenes</i></p> <p>Productos: hidrógeno, 2,3-butanodiol y acetona-butanol-etanol (ABE)</p> <p>Residuos de fermentación: Producción de biometano</p> <p>Fermentación:</p> <p>Residuos finales: Digestión anaeróbica para producir biometano</p>	<p>1. Pretratamiento: Residuos más etanol (85 %) + 1 % p/p de catalizador + ácido acético</p> <p>Temperatura: 120 °C</p> <p>Tiempo: 30 min</p> <p>Finalidad: Producir fracciones de glucano y xilano tratado</p> <p>2. <u>Hidrólisis enzimática de celulosa y hemicelulosa</u></p> <p>La hidrólisis de las fracciones de glucano y xilano sin tratar y pretratado se llevó a cabo usando una mezcla de enzimas.</p> <p>Mezcla de 1 g de solidos sin tratar. Temperatura: 121°C.</p> <p>Tiempo: 20 min + 20 FPU de enzimas/g de sustrato</p> <p>Hidrolisis: a 45 °C y 120 rpm por 72 h</p> <p>Producto: hidrolizado +fracción sólida</p> <p>3. <u>Fermentación</u></p> <p>Aplicación de: cultivos de <i>Enterobacter aerogenes</i> y <i>Clostridium acetobutylicum</i> adaptado a 37 °C y 72 h con pH: 6.8</p> <p>Uso de hidrolizados sin tratar y pretratados. Esterilización: 121 °C por 20 min</p> <p>Adición de nutrientes + cultivos</p> <p>Tiempo de fermentación: 72 h</p> <p>Centrifugación de solidos a 4000 rpm por 15 min</p> <p>4. <u>digestión anaerobia</u></p> <p>0.25 g SV (residuos de fermentación) + 20 ml lodo del inóculo mesófilo + 5ml de agua</p> <p>Condiciones: 37 °C y 45 días</p>	Isfahan, Irán,	Ebrahimián et al. (2022)
Residuos sólidos municipales		<p>Pre-tratamiento de residuos</p> <p>Hidrolisis enzimática</p> <p>Fermentación</p>	<p>1. Pretratamiento</p> <p>Desechos de jardín y fracción orgánica. Carga de sólidos: 10% (p/p): 30 g de sustrato + 300 g de Ácido sulfúrico (1% p/p)</p> <p>Temperatura: 160 °C, velocidad: 10 °C/min</p> <p>Tiempo: 30 min</p> <p>Separación de líquido y residuos sólidos (estos fueron liofilizados)</p> <p>2. Hidrólisis encimática</p> <p>Mezcla de Residuos sólidos pre-tratos o no + cóctel de celulasa comercial y cóctel de hemicelulasa comercial (9:1) con 149.8 mg/ml de proteína y actividad de celulasa (113.5 FPU/ml).</p> <p>Esterilización de mezclas con pre tratamiento o no a 121 °C por 20 min</p> <p>Incubación: 45 °C y 120 rpm por 72 h</p> <p>Centrifugación final: 5000 rpm por 10 min para separar el hidrolizado y los sólidos residuales.</p> <p>3. Fermentación.</p> <p>Todos los líquidos del pretratamiento e hidrolizados + 1 g/L de extracto de levadura + 3 g/L de peptona</p>	Isfahan, Irán,	Farmanbordar et al. (2020)

			. Condiciones pH: 6.8. Esterilización: 115 °C por 10 min +inoculo <i>Clostridium acetobutylicum</i> (6 %). Fermentacion: 37 °C, tiempo: 72 h		
Residuos sólidos municipale		Limpieza y esterilización de residuos, Cosustratos de residuos municipales urbanos: a. lodos de depuradora secos procedente de digestión anaerobia de aguas residuales municipales b. digestato (liquido) de digestión anaerobia de residuos solidos c. compost  Hidrolisis enzimatica	Residuos orgánicos esterilizados a 121 °C por 30 min. Condiciones de hidrolisis enzimática: Temperatura: 50 °C y pH: 4.5. relación sólido-líquido inicial se fijó en 10 % (p v-1). + cóctel de enzimas (mezcla de celulasas y pectinasas, hemicelulasa, β-glucosidasa y α-amilasa) tiempo: 24 h (180 rpm) Cultivo microbiana: <i>Bacillus thuringiensis var israelensis</i> : caldo nutritivo, Incubación: Temperatura: 30 °C (130 rpm), tiempo: 20 h, densidad óptica (2.5-3.0). Separación de biomasa: Centrifugación: 10 min, 3500 rpm , 4 °C. Adición de Carbonato de calcio 1 M al hidrolizado sólido hasta pH =7 a mezclas de sustratos + hidrolizado sólido: 25 y 50% p/p Experimento: flujo de aire humidificado: 37 mL/g.h para garantizar condiciones aeróbicas. Temperatura: 30 °C como reactor en baño maria. Volumen inicial: 0.5 L para muestras con carbonato y de cosustratos para crecimiento y esporulación de <i>bacillus</i> . Carga: 90 g de sustrato + 20 g de agente de carga (1:2 v/v) + 3 mL de Bacillus (107 UFC/g).	Mancomunitat La Plana (Malla, Barcelona)	Molina-Peñate et al 2022
Residuos forestales y verdes municipales		hidrólisis enzimática fermentación	<u>Pretratamiento</u> a. SE: 250 g de residuo seca + 250 g de solución de catalizador, tiempo: 16 h, humedad: método: explosión de vapor, temperaturas 185-220 °C; tiempo: 20 min. b. MS-SE: FeCl3 (0.1 M, 90 mg/g de residuos); temperatura: 180 y 195 °C; tiempo: 20 min. c. OC-SE: Organosolv + SE: Etanol (50%, v/v); Temperatura, 180 y 200 °C; y tiempo: 20 min. d. DA-SE: H2SO4 (60 mg/g de residuos); Temperatura: 180-215 °C; y tiempo: 5-15 min <u>hidrólisis enzimática</u> a. Residuos sólidos (5-20% p/p) + mezcla de enzimas de celulasa (celulasas, β-glucosidasa y hemicelulasas). Temperatura: 50 °C, pH 5; carga de enzima de sustrato de 15 FPU/g. Tiempo: 72 h, centrifugación (10000 g por 5 min)	Madrid	Negro et al. (2020)

			<p>b. Residuos secos + carga enzimática (xilanas: 15, 30 y 45 FPU por g de glucano) proporción 9:1 (v/v) para ensayos de hidrólisis enzimática. Tiempo: 0, 24, 48 y 72 h.</p> <p><u>Fermentación</u> El hidrolizado enzimático SE + 0.15 g células de <i>Saccharomyces cerevisiae</i>/L + etanol. Incubación: 37 °C y 150 rpm, tiempo: 30 h</p>		
Aserrín		<p><u>Pre tratamiento físico:</u> separador magnético para eliminar cuerpos metálicos y magnéticos, molido (0.25 y 1.50 mm), secado por 7 días (12 horas/día); humedad (9 y 14 %)</p>	<p><u>Hidrólisis ácida</u> HCl y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0.6 M; 6 M, 11 M). Temperatura: 25°C. Mezcla: 100 g de residuos aserrín pretratados + ácidos (pruebas separadas). Tiempo: 48 h. Filtración y lavado con agua Prueba de azúcares reductores (glucosa): Reactivo de Benedict Filtrado: tratamiento con 50 g de carbón activado, tiempo: 24 ajuste de pH (4.8 a 6) <u>Fermentación</u> Aplicación de 30 g de levadura (<i>Saccharomyces cerevisiae</i>) /hidrolizado. Temperatura: 30°C, tiempo: 5 días, enzima: zimasa <u>Destilación</u> Obtención de bioetanol del macerado hidrolizado después de la fermentación. Temperatura de 78-83 °C</p>	municipio de Cape Coast	Tulashie, et al. (2021)
Residuos sólidos urbanos	mejorar el potencial de la fracción orgánica de los residuos sólidos municipales (OFMSW) para producir bioenergía y productos bioquímicos	<p>Metodod: Combinación de fermentación oscura con un pretratamiento con ácido fórmico. <u>Pretratamiento:</u> Aplicación de concentración de ácido fórmico: 5-15% Temperatura de funcionamiento: 80-120 °C Tiempo: 35-70 min</p>	<p><u>Rango de tratamientos:</u> Acido fórmico: 5 - 15 % Temperatura: 80-120oC Tiempo de operación: 35-70 min <u>Pruebas de potencial de biohidrógeno</u> 220 ml de sustrato, más soluciones tampón para mantener pH a 6, temperatura: 37 °C</p>	Italia	Cesaro et al. (2020)

Fuente. propia

En la tabla 2, se observa el análisis de las rutas de pre-tratamiento relacionado con la aplicación de la biorrefinería

**Tabla N°2. rutas de pre-tratamiento**

Tipo de residuos	Proceso	Prueba	Lugar	Referencia
residuos sólidos municipales OFMSW	hidrólisis ácida diluida de almidón con tratamiento de residuos con lignina	1. Ácido sulfúrico (0.5 y 1 % (p/p)) Temperatura: 130 y 160 °C tiempo: 0, 30 y 60 min. 2. Fermentación etanólica: Cepa de hongos: <i>Zygomycetes (Mucor indicus)</i> Propiedad: Tolerante a los inhibidores	Isfahan, Irán	Mahmoodi et al. (2018)
residuos sólidos urbanos OFMSW	1. Pretratamiento: Uso de Organosolv de etanol catalizado con ácido acético Temperatura: 120 y 160 °C 2. Hidrólisis enzimática de los sólidos residuales no hidrolizados: 3. Digestión anaeróbica	1. Pretratamiento con etanol organosolv (85% v/v) Temperatura: 120 y 160 °C tiempos de reacción: 30 y 60 min Biomasa: 20 g de residuos seco Final: Separación de solidos secos para hidrólisis y fermentación 2. Hidrolisis enzimática Uso de residuos crudo (celulosa: glucano): 1.5 g seco pH: 4.8 <u>Hidrólisis de la fracción de celulosa (glucano):</u> carga de celulasa de 20 FPU (26.4 mg de proteína) /g sustrato seco temperatura: 45 °C tiempo: 72 h <u>Hidrólisis de almidón:</u> $\alpha$ -amilasa y glucoamilasa: 0.1 g/g de	Isfahan, Irán,	Ebrahimian et al. (2020)

		<p>almidón.          Temperatura: 90 °C, pH: 6          tiempo: 2h  <u>Sacarificación:</u>          Sacarificación de almidón          Fermentación: <i>E. aerogenes</i></p> <p>3. <u>extracción de PHA</u>          Luego de 72 h de fermentación:          Separación de biomasa bacteriana          Adición de cloroformo          Temperatura: 65 °C, Tiempo: 6 h          Mezcla en Petri y secado en estufa          Temperatura: 50oC</p> <p>4. Digestión anaeróbica de sólidos no hidrolizados para la producción de biogás          Lodo de inóculo de PTAR: 20 ml          Residuos de hidrólisis sin tratar y pretratados: 0.25 g SV (solido volátil)          Agua destilada: 5 ml          Temperatura: 37 °C          Tiempo: 45 días</p>		
Residuos sólidos municipale	<p>1. residuos sólidos municipales (BFMSW): organosolv etanólico          2. Hidrólisis enzimática de celulosa y hemicelulosa con cargas sólidas y almidón de residuos secos sin proceso. Se obtiene hidrolizados          Cocultivo: <i>Clostridium acetobutylicum</i> y <i>Enterobacter aerogenes</i>          Products: hidrógeno, 2,3-butanodiol y acetona-butanol-etanol (ABE)          Residuos de fermentación: Producción de biometano          Fermentación:          Residuos finales: Digestión anaeróbica para producir biometano</p>	<p>1. <u>Pretratamiento</u>: Residuos más etanol (85 %) + catalizador + ácido acético          Temperatura: 120 °C, Tiempo: 30 min          Finalidad: Producir fracciones de glucano y xilano tratado          2. <u>Hidrólisis enzimática de celulosa y hemicelulosa</u>          La hidrólisis de las fracciones de glucano y xilano de BFMSW sin tratar y pretratado se llevó a cabo usando una mezcla de enzimas con una proporción de 9:1 vol y 95 FPU/mL de actividad enzimática.          Mezcla de 1 g de solidos sin tratar o de 1.6 g tratado. Temperatura: 121°C.          Tiempo: 20 min + 20 FPU de enzimas/g de sustrato</p>	Isfahan, Irán,	Ebrahimian et al. (2022)

		<p>Hidrolisis: a 45 °C y 120 rpm por 72 h          Producto: hidrolizado +fracción sólida</p> <p>3. <u>Fermentación</u>          Aplicación de: cultivos de <i>Enterobacter aerogenes</i> y <i>Clostridium acetobutylicum</i> adaptado a 37 °C y 72 h con pH: 6.8          Uso de hidrolizados sin tratar y pretratados. Centrifugación de</p> <p>4. <u>digestión anaerobia</u>          0.25 g SV (residuos de fermentación) + 20 ml lodo del inóculo mesófilo + 5ml de agua          Condiciones: 37 °C y 45 días</p>		
Residuos sólidos municipal	Pre-tratamiento de residuos Hidrolisis enzimática Fermentación	<p>1. <u>Pretratamiento</u>          Desechos de jardín y fracción orgánica.          Carga de sólidos: sustrato + Ácido sulfúrico          Temperatura: 160 °C, velocidad: 10 °C/min, Tiempo: 30 min          Separación de líquido y residuos sólidos (estos fueron liofilizados)</p> <p>2. <u>Hidrólisis encimática</u>          Mezcla de Residuos sólidos pre-tratos o no + cóctel de celulasa comercial y cóctel de hemicelulasa comercial (9:1) con 149.8 mg/ml de proteína y actividad de celulasa (113.5 FPU/ml).          Esterilización de mezclas con pre tratamiento o no a 121 °C por 20 min          Incubación: 45 °C y 120 rpm por 72 h          Centrifugación final: 5000 rpm por 10 min para separar el hidrolizado y los sólidos residuales.</p> <p>3. <u>Fermentación.</u>          Todos los líquidos del pretratamiento e hidrolizados + 1 g/L de extracto de levadura + 3 g/L de peptona. Condiciones pH: 6.8. Esterilización: 115 °C por 10 min</p>	Isfahan, Irán,	Farmanbordar et al. (2020)

		+inoculo <i>Clostridium acetobutylicum</i> (6 %). Fermentacion: 37 °C, tiempo: 72 h		
Residuos sólidos municipal	<p>Limpieza y esterilización de residuos, Cosustratos de residuos municipales urbanos:</p> <p>a. lodos de depuradora secos procedente de digestión anaerobia de aguas residuales municipales</p> <p>b. digestato (liquido) de digestión anaerobia de residuos sólidos</p> <p>c. compost</p> <p>Hidrolisis enzimática</p>	<p>Residuos orgánicos esterilizados a 121 °C por 30 min.</p> <p><u>Condiciones de hidrolisis enzimática:</u>          Temperatura: 50 °C y pH: 4.5. Relación sólido-líquido inicial se fijó en 10 % (p v-1).</p> <p>+ cóctel de enzimas (mezcla de celulasas y pectinasas, hemicelulasa, β-glucosidasa y α-amilasa) tiempo: 24 h (180 rpm)</p> <p><u>Cultivo microbiana:</u>  <i>Bacillus thuringiensis var israelensis</i>: caldo nutritivo,          Incubación: Temperatura: 30 °C (130 rpm), tiempo: 20 h, densidad óptica (2.5-3.0).</p> <p>Separación de biomasa:          Centrifugación: 10 min, 3500 rpm, 4 °C.          Adición de Carbonato de calcio 1 M al hidrolizado sólido hasta pH =7 a mezclas de sustratos + hidrolizado sólido: 25 y 50% p/p</p> <p><u>Experimento:</u>          flujo de aire humidificado: 37 mL/g.h para garantizar condiciones aeróbicas.          Temperatura: 30 °C como reactor en baño maria. Volumen inicial: 0.5 L para muestras con carbonato y de cosustratos para crecimiento y esporulación de bacillus. Carga: 90 g de sustrato + 20 g de agente de carga (1:2 v/v) + 3 mL de Bacilus (107 UFC/g).</p>	Mancomunitat La Plana (Malla, Barcelona)	Molina-Peñate et al 2022

residuos forestales y verdes municipales	hidrólisis enzimática fermentación	<p><u>Pretratamiento</u></p> <p>a. SE: 250 g de residuo seca + 250 g de solución de catalizador, tiempo: 16 h, humedad: 50%, método: explosión de vapor, temperaturas 185, 205 y 220 °C; tiempo: 20 min.</p> <p>b. MS-SE: FeCl<sub>3</sub> (0,1 M, 90 mg/g de residuos); temperatura: 180 y 195 °C; tiempo: 20 min.</p> <p>c. OC-SE: Organosolv + SE: Etanol (50%, v/v); Temperatura, 180 y 200 °C; y tiempo: 20 min.</p> <p>d. DA-SE: H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (60 mg/g de residuos); Temperatura: 180-215 °C; y tiempo: 5-15 min</p> <p><u>hidrólisis enzimática</u></p> <p>a. Residuos sólidos (5%, 15% y 20% p/p) + mezcla de enzimas de celulasa (celulasas, β-glucosidasa y hemicelulasas). Temperatura: 50 °C, pH 5 (citrato de sodio 0,05 M); carga de enzima de sustrato de 15 FPU/g. Tiempo: 72 h, centrifugación (10000 g por 5 min)</p> <p>b. Residuos secos + carga enzimática (xilanasas: 15, 30 y 45 FPU por g de glucano) proporción 9:1 (v/v) para ensayos de hidrólisis enzimática. Tiempo: 0, 24, 48 y 72 h.</p> <p><u>Fermentación</u></p> <p>El hidrolizado enzimático SE + 0.15 g células de <i>Saccharomyces cerevisiae</i>/L + etanol. Incubación: 37 °C y 150 rpm, tiempo: 30 h</p>	Madrid	Negro et al. (2020)
--	---------------------------------------	---	--------	---------------------

Aserrín	<p><u>Pre tratamiento físico:</u> separador magnético para eliminar cuerpos metálicos y magnéticos, molido (0.25 y 1.50 mm), secado por 7 días (12 horas/día); humedad (9 y 14 %)</p>	<p><u>Hidrólisis ácida</u>  HCl y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0.6 M; 6 M, 11 M).  Temperatura: 25°C. Mezcla: 100 g de residuos aserrín pretratados + ácidos (pruebas separadas). Tiempo: 48 h.  filtración y lavado con agua  Prueba de azúcares reductores (glucosa): Reactivo de Benedict  Filtrado: tratamiento con 50 g de carbón activado, tiempo: 24 h, ajuste de pH (4.8 a 6)  <u>Fermentación</u>  Aplicación de 30 g de levadura (<i>Saccharomyces cerevisiae</i>)/hidrolizado.  Temperatura: 30°C, tiempo: 5 días, enzima: zimasa  <u>Destilación</u>  Obtención de bioetanol del macerado hidrolizado después de la fermentación.  Temperatura de 78-83 °C</p>	municipio de Cape Coast	Tulashie, et al. (2021)
Residuos sólidos urbanos	<p>Combinación de fermentación oscura con un pretratamiento con ácido fórmico.  <u>Pretratamiento:</u>  Aplicación de concentración de ácido fórmico: 5-15%  Temperatura de funcionamiento: 80-120 °C  Tiempo: 35-70 min</p>	<p><u>Rango de tratamientos:</u>  Acido fórmico: 5 - 15 %  Temperatura: 80-120oC  Tiempo de operación: 35-70 min  <u>Pruebas de potencial de biohidrógeno</u>  220 ml de sustrato, más soluciones tampón para mantener pH a 6, temperatura: 37 °C</p>	Italia	Cesaro et al. (2020)

Fuente: propia

En la tabla 3, se observa el análisis de los principios de la bioeconomía circular relacionada con lo aprovechamiento de los RSU

**Tabla N°3. Los principios de la bioeconomía circular**

<b>Principios</b>	<b>Limitaciones</b>	<b>Camino</b>	<b>Referencias</b>
salvaguardar y regenerar la salud de nuestros (agro)ecosistemas;	El hombre debe reconsiderar su relación con el planeta y la vida, el COVID-19 es una pandemia global que ha señalado la necesidad de realinear una mejor relación entre el ser humano y la naturaleza, e interconectar la vulnerabilidad de las personas	Comprender que da vida a los ecosistemas, educación para una transformación que emerge cubierta de las distintas disciplinas que explican la vida de los sistemas y brindan vías creativas para el camino que deben seguir las civilizaciones regenerativas	Kuenkel, (2022)
	La sostenibilidad es diseñar para mantener una salud humana y del planeta, mediante una cultura humana regenerativa, que tenga resistencia y capacidad de adaptación, que mantenga una salud del ecosistema y resiliencia a diversas escalas	Aplicar el Principio de Precaución que genere una nueva expresión cultural, que enseñe una cultura de seres humanos totalmente regenerativos, para vivir nuevas maneras de relación con la naturaleza, uno mismo, con todo	Wahl, D. C. (2019).
	El problema del consumo de suelo debe dirigirse hacia la regeneración urbana es decir el suelo consumido debe restaurarse especialmente cuando se trata de transformar áreas para recuperar áreas libres	La comunidad local diagnóstica la situación y juega un rol primordial, atiende los casos urgentes del entorno es activo en la transformación del territorio, de la sociedad y de la cultura.	Salvo et al. (2019)

<p>evitar productos no esenciales y el desperdicio de los esenciales</p>	<p>La pandemia del COVID-19 cambio la dinámica global de producción de residuos biomédicos, plásticos y alimentarios y se requiere respuestas dinámicas motivo de gran preocupación, porque no tiene una cooperación activa ciudadana, los residuos contaminados por el virus con la basura doméstica representa serios</p>	<p>Se necesita una mayor conciencia del público en la compra de productos y producción de desechos de alimentos en las viviendas los hogares puedan reducirse debido a una mayor compra consciente de los artículos no perecederos en el confinamiento que puede quebrar a las cadenas de</p>	<p>Santiago-Omar Caballero-Morales (2021)</p>
--	---	---	---

	problemas negativos de salud e inseguridad alimentaria	suministro, hay que hacerlas resilientes para evitar situaciones de crisis en futuras pandemias	
	El COVID-19 afectó la cadena de suministro un aspecto clave para el sector industrial a nivel global porque cambió la cadena de suministro para el futuro.	Es importante educar al público para impulsar sus vidas frente al covid19 y al mundo	Katcher, M. (2021).
utilizar y reciclar subproductos de (agro)ecosistemas	Rediseñar el sistema de producción agrícola que existen para promocionar el reciclaje de residuos agrícolas.	Los residuos representan sostenibilidad ambiental una convertidos en biofertilizantes relacionado con la disminución de la huella de carbono por emisiones de gases de efecto invernadero y la rotación de cultivos	Diacono et al. (2019)
	Falta de unas metodologías para la medición de energía y exergía en los procesos agrícolas en los hogares que permitan el uso de materiales alternativos para reducir emisiones GEI	Auto provisión para el consumo de combustible y electricidad mediante biocombustibles producidos con residuos	Thao et al. 2020
uso de energía renovable mientras se minimiza el uso total de energía	Incesante aumento en la demanda y costos en electricidad por alto consumo energético y emisiones GEI son un problema crítico	Producción de energía renovable para cubrir las demandas humanas y sostenibilidad del ambiente	Gao et al. (2020)
priorizar los flujos de biomasa para las necesidades humanas básicas	La implementación de la sostenibilidad de las producciones, transformaciones y comercialización de bienes biológicos es desnivelada en sectores del globo	Desarrollar opciones para la intervención, fortalecimiento y optimización de sinergias y compensaciones en el círculo de las cadenas de valor en la industria de la biomasa alimentaria y no alimentaria en los países pobres y en desarrollo	Callo-Concha et al. (2020)

Fuente. propia

## V. DISCUSIÓN

La tabla 1 muestra los resultados obtenidos con relación al OE1. La temperatura juega un rol importante en la fermentación de residuos urbanos especialmente en procesos discontinuos, Moretto et al. (2019) demostraron que las condiciones mesófilas fueron contundentes a diferencia de otras como termófilos o mesófilos pretratado con una base, eso se debe a que a temperaturas mayores la producción de ácidos grasos volátiles se retrasa al principio pero se incrementa con los días cuando el pH es alcalino (9), al parecer la aplicación de mayores temperaturas contribuye en una mayor solubilización de la materia orgánica aunque no necesariamente en la solubilización de la DQO, mientras que el mesofílico es más veloz para producir sólidos grasos volátiles. Así la composición de residuos de lodo (65–70 % v/v) y de residuos sólidos municipales (30–35 % v/v) a pH alcalino y condiciones mesófilas y el pretratamiento térmico (72 °C, 76 h) produjeron 40 g DQO/L como sólidos volátiles grasos para la recuperación de bioproductos de valor añadido (como biopolímeros) con otros procesos combinados aerobios y anaerobios en cascadas.

Posteriormente Moretto et al. (2020) produjo biopolímeros (polihidroxicanoatos, PHAs) y biogás a con estos residuos usando el método de producción en cascada, uso también la tecnología de la fermentación de residuos mezclados con lodo para enriquecerlos con sólidos grasos volátiles, entonces separó el licor rico en ácidos grasos volátiles (líquidos) mediante la centrifuga axial para alimentar un reactor secuencial por lotes y producir PHA en etapas siguientes de almacenamiento, mientras que los sólidos fueron usados en la codigestión anaerobia para la producción de biogás. Una vez más, aplicó el pretratamiento térmico (72 °C, 48 h) para los residuos y solubilizar los ácidos grasos volátiles hasta 30 DQO/L y luego aplico la fermentación mesófila (37 °C). Además, logro bajo esta condición la selección de biomasa especial que almacena PHA (7.6 % en peso) bajo la técnica de festín-hambruna, limitando el crecimiento de microbiota que no es capaz de almacenar PHA en condiciones aerobias, mientras que la tecnología de la codigestión anaerobia fue aplicada durante 15 días en función del tiempo de retención hidráulica logrando producir biogás (0.44 - 0.51 m<sup>3</sup>/kg SV) y digestato a partir de una carga orgánica de 3 a 3.5 kg SV/m<sup>3</sup>d.

La biorrefinería es más amplia aun, De Sousa et al (2020) evaluó una estructura de biorrefinería integrada para aprovechar residuos de aceite de cocina usado, biomasa de poda y residuos orgánicos y de alimentos transformándolos en biocombustible: biodiesel, biogás, compost orgánico, 1,3-propanodiol y energía eléctrica. A diferencia de Moretto et al. (2019 y 2020) de Sousa trato aceite residual de cocina y residuos sólidos de poda vegetal y de comida, en una biorrefinería aplico la transesterificación para el aceite, para los residuos de alimentos uso la biodigestión, para ello dispusieron del material molido a un tanque de alimentación más agua no clorada; antes aplico 1500 kg de estiércol de ganado fresco diluido con agua estabilizado por 35 días y luego añadió la mezcla de sustrato duró 45 días con un carga orgánica de 0.2 kg SV/m<sup>3</sup> días en condiciones mesofílica, el sustrato s fluyo al biodigestor para luego convertir el biogás a electricidad, mientras que el digestato paso a una laguna cubierta para convertirla en biofertilizante; también uso estos residuos y los residuos lignocelulósicos en la tecnología de compostaje ero para los residuos urbanos de interés de esta investigación desarrollo la tecnología del compostaje muy poco integrado en sistema de biorrefinería para procesar 3.3 toneladas diarias de residuos municipales. El compost orgánico producido cumplió con los requisitos de calidad de los fertilizantes orgánicos, como la maduración y el contenido de nutrientes.

También, Ebrahimian et al. (2020) produjo bioenergía a partir de la fracción orgánica (residuos de alimentos), pero a diferencia de De Sousa, aplico un pre tratamiento, basado en etanol-agua (85% v/v) a temperaturas entre 120 y 160 °C y tiempos de 30 y 60 min, esto disminuyó la cantidad de almidón porque se solubilizó el 65 % a 60 °C, además se eliminó la lignina y los azúcares hemicelulósicos, conduciendo a un mayor contenido de glucano (del 43 al 70 %); luego, aplico la tecnología de hidrólisis enzimática de los sólidos usando un cóctel de celulasa, para generar glucano, y posterior sacarificación a 65 °C por 24 h, eliminando la lignina, entonces los sólidos hidrolizados pasaron a una etapa de digestión anaerobia para la producción de metano, mientras que los sólidos no hidrolizados con elevado contenido de glucosa se fermento y se usaron en la producción de biohidrógeno (146.4 mL/g VS), 2,3-butanodiol, etanol, ácido acético, y PHA. Un mecanismo similar vuelve a aplicarse posteriormente por el mismo investigador al probar dos bacterias cocultivadas *Clostridium acetobutylicum* y *Enterobacter aerogenes*

durante la fermentación para producir hidrógeno, 2,3-butanodiol y acetona-butanol-etanol (ABE); mientras que los sólidos restantes se aplicaron en la generación de metano (Ebrahimian et al. 2022). Cada vez que se cuenta con material lignocelulósicos los investigadores han usado distintos componentes químicos para descomponerlo pasando por las hemicelulosas a celulosa, luego la aplicación de la hidrolización genera un hidrolizado rico en almidón. Farmanbordar et al. (2020), aprovechó los residuos de jardín y papel, para lo cual aplicó HCl y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> para comparar los mejores resultados en la producción de butanol. La fermentación de los hidrolizados produjo un máximo de 6.4 g/L de Acetona-Butano-Etanol.

La hidrólisis enzimática es un proceso dirigido a producir una fracción rica en azúcares y estos compuestos pueden ser posteriormente fermentados obteniéndose fracciones líquidas y sólidas estas últimas parcialmente hidrolizadas, por lo cual se someten a fermentaciones para sólidos. Molina-Peñate et al. (2022) contrariamente a los demás autores prueba el mejor valor de pH del sustrato sólido, que facilite el crecimiento del *Bacillus thuringiensis* formador de bioplaguicidas; además aplica residuos o cosustratos alcalinos para lodos de depuradora digeridos y fracción orgánica digerida de residuos sólidos municipales aumentando el contenido de esporas; esto pone en evidencia la necesidad de buscar mejoras en las tecnologías que permitan una mayor producción de compuesto solubles especialmente derivados de azúcares y almidón para la producción de biocombustibles, bioalcoholes, y otros aditivos químicos.

Asimismo Negro et al. (2020) solo llega a producir fermentados, es decir prueba varias combinaciones con la finalidad de solubilizar los azúcares con pretratamientos, pero usa una explosión de vapor con altas temperaturas que alcanzan los 220 °C, o sales como FeCl<sub>3</sub>, y también compara con soluciones de etanol como lo señalado por Ebrahimian et al. (2020; 2022) y HCl como Farmanbordar et al. (2020), en cambio aplica las levaduras *Saccharomyces cerevisiae* en la fermentación consiguiendo también buenos resultados en la liberación de azúcares y almidones de los residuos sólidos urbanos; coincidiendo con la metodología de Tulashe, et al. (2021) basada en la aplicación de HCl y la misma bacteria.

La tabla 2 muestra: El pre-tratamiento no está dirigido solo a degradar la lignina para obtener compuestos derivados de la hemicelulosa y celulosa, sino que se trata de solubilizar azúcares hasta obtener glucosa, así se liberan en mayor cantidad almidones y azúcares, destinados a procesos de hidrolizarían que enriquece los licores destinados a concentrar ácidos orgánicos ligeros, entre otros. Mahmoodi et al. (2018) aplicó ácido sulfúrico en pequeñas dosis menores del 1 % en peso a los residuos sólidos urbanos a 130 y 160 °C entre 0, y 60 min sometidos a altas presiones, luego de la reacción el sólido residual fue separado del licor rico en almidón y azúcares y sirvió para posteriores aplicaciones en fermentación, mientras que los residuos sólidos fueron liofilizados. Esto indica que los tratamientos dependerán de la naturaleza de los residuos y de los costos, Farmanbordar et al. (2020) aplicó ácido sulfúrico para romper las estructuras lignocelulósicos de los desechos de jardín y fracción orgánica de residuo de alimentos a 160°C y separó líquidos ricos en azúcares y almidón, y también aprovechó los sólidos liofilizados, de esta forma logro desarrollar la hidrólisis enzimática y la fermentación en la producción de biobutanol. Ebrahimian et al. (2020) usó soluciones etanólicas concentradas como organosolv (85% v/v) entre temperaturas y tiempos similares para evaluar el rendimiento en la liberación de celulosa, azúcares y almidón antes de su paso a la fermentación y al proceso de hidrolización, a pesar de los resultados prometedores, el mismo autor incluye el uso de un catalizador para acelerar el proceso de tratamiento y poder obtener glucano, sin embargo este proceso está sujeto al pH, siendo necesario usar una solución tampón que mantenga estable su valor, posteriormente se desarrolla la hidrólisis enzimática y de los residuos crudos y de la fracción de celulosa Ebrahimian et al. (2022). Mientras que Negro et al. (2020) evidenció el uso de catalizador con explosión de vapor a temperaturas elevadas que alcanzaron 220°C asociados a sales como el FeCl<sub>3</sub>, organosolv de etanol y ácido sulfúrico para liberar las moléculas derivadas de la lignina para producir azúcares. En tanto Tulashie, et al. (2021) logra los procesos indicando un pretratamiento físico mediante un separador magnético para eliminar cuerpos metálicos y magnéticos, molido menores a 1.50 mm para el aserrín y consecutivos hidrólisis y fermentación para su transformación a bioetanol.

La Tabla 3 señala: La regeneración de la salud de los ecosistemas según Kuenkel, (2022) depende de que el ser humano comprenda y visualice la vida del ecosistema desde su propia vida en un contexto interdisciplinario y como somos seres creativos se debe lograr esa interconexión necesaria que debe alimentar a las generaciones futuras para llevar una vida ecosistema –humanidad en equilibrio; mientras que Wahl, (2019), insiste que es necesario mantener y cultivar una cultura regenerativa, dinámica porque debe desarrollar una capacidad de adaptación como un ingrediente para lograr es armonía con el ambiente, es más Salvo et al. (2019) señala directamente al uso del suelo, su consumo que es tan desmejorado este debe ser mejorado esto implica su conservación, y protección como un bien valioso, por lo que es crucial mantenerlo y recuperarlo y esto requiere de una transformación de la cultura de la vida. En este sentido Callo-Concha et al. (2020) prioriza relaciona el servicio ecosistema a la humanidad para cubrir las necesidades básicas, el cual necesita una reformulación que alcance a todas las regiones del mundo, equilibrio en la cadena de valor de los bienes y servicios generados en beneficio de los más necesitados y de la misma naturaleza.

Otro aspecto resulta en evitar el uso de productos no esenciales y el desperdicio de los esenciales, Santiago-Omar y Caballero-Morales (2021), evidencia claramente que la pandemia del COVID-19 marco un cambio radical y dinámica de los biorresiduos producidos por el uso con los enfermos por COVID en razón de la comunidad poblacional por el manejo de los residuos contaminados por el virus SARS COV 2 y estos son mal manejados, es necesario lograr un cambio de actitud desde el hogar para evitar el quiebre a las cadenas de suministro logrando las resiliencia ante futuras pandemias mientras que Katcher (2021) considera los impactos al suministro de la cadena de valor para el sector industrial.

Sin embargo, también la bioeconomía circular también considera el uso y reciclaje de subproductos de ecosistemas, esto demanda el aprovechamiento de los residuos en la agricultura para disminuir la huella de carbono y reducir la huella de carbono (Diacono et al. 2019), esto implica asimismo la necesidad de valorar la

energía y exergía relacionada con la gestión de los ecosistemas, del suelo, especialmente agrícola aprovechando los residuos en la autogeneración de electricidad en los campos agrícolas (Thao et al. 2020). Sin embargo, no menos importante es el uso de energías renovables debido a la demanda poblacional también señalado por (Gao et al. 2020).

## VI. CONCLUSIONES

**OE1:** La Biorrefinería integrada constituye una práctica reciente que puede aplicar una serie de tecnologías particulares, como la fermentación, digestión anaerobia, hidrólisis ácida, alcalina, enzimática, etc.), compostaje principalmente, con la finalidad de obtener especialmente biocombustibles, metabolitos bioquímicos, bioplásticos, etc. En este contexto, la fermentación resalta por la generación de licores ricos en ácidos grasos volátiles, biopolímeros y otros metabolitos que faciliten futuros procesos en la producción especialmente de biocombustibles entre otros, mientras que los residuos sólidos pueden someterse a procesos de hidrólisis, en este punto la hidrólisis ya sea enzimática o química, o fermentación, busca que optimizar la aplicación de temperaturas, pH, tiempos de procesos, dosis de ácidos, bases et casi como el tipo de residuo sólidos urbanos, ya que se cuentan también los lodos de PTAR, residuos de alimentos, de poda, ricos en lignocelulosa. Es importante romper estas moléculas, del material conformado por los residuos de conversión, a hemicelulosas, celulosas, la ruptura de las moléculas de almidón y liberación de azúcares, glucosas solubles con mayor dinámica de reacción en los procesos de transformación. La codigestión anaerobia como tecnología reciente, aun busca también mejorar sus condiciones de producción de biogás, metano o hidrogeno entre otros componentes energéticos, incluyendo biofertilizantes. Para ello, la temperatura, dinámica microbológica, relaciones carbono/nitrógeno, pH, carga orgánica, tiempo de residencia para la producción de biocombustible resultan cruciales. El compostaje también está incluyendo en una biorrefinería integrada para lo cual, se analiza las etapas para identificar los procesos parciales importantes de higienización, maduración y propiedades fisicoquímicas comparadas con los estándares de calidad para su comercialización.

**OE2:** El desarrollo de cada tecnología en la biorrefinería integrada requiere una facilidad de transformación en los productos esperados en calidad y rendimiento que se traduce en al final en términos de costo/beneficio como componente de la sostenibilidad, para ello, la naturaleza de los residuos sólidos urbanos resulta crucial, la composición varía desde los restos de papel, vidrio, metálicos, plásticos (inorgánicos) y los residuos orgánicos, son

las fracciones orgánicas de especial interés. Sin embargo, esta fracción es muy variable, desde restos de poda urbana, forestal, hasta los lodos de PTAR, residuos de alimentos, etc. La lignina es el principal problema por resolver, los pretratamientos se establecen para degradar la lignina y obtener compuestos derivados de hemicelulosa y celulosa, también incluye la obtención de glucosas como un anticipo al paso a la tecnología de hidrólisis o fermentación. El uso de molinos, como parte del tratamiento mecánico o físico, se suma la aplicación de ácido sulfúrico, ácido clorhídrico, hidróxido de sodios, sales como el  $\text{FeCl}_3$ , etanol etc. se aplican como solventes para separar el licor rico en almidón y azúcares y sirvió para posteriores aplicaciones en fermentación, mientras que los residuos sólidos fueron liofilizados, Finalmente parámetros como el pH, la temperatura que en ocasiones alca los  $220\text{ }^{\circ}\text{C}$ , son también factores determinantes en la preparación de las muestras para el siguiente proceso de fermentación o hidrólisis, para luego seguir con la digestión anaerobia principalmente.

**OE3:** Los principios de la bioeconomía circular, está relacionada totalmente con la regeneración de la salud de los ecosistemas para ello es importante que la humanidad interiorice su vida con el ecosistema mediante el desarrollo de conocimiento interdisciplinario para llevar una vida en equilibrio con el ambiente y sus recursos , también se resalta el valor, uso y regeneración del suelos, es importante que la humanidad aplique una cultura de regeneración y considerar la importancia y dinámica mutua entre los servicios y bienes brindados por el ambiente y la actitud humana. De otro lado, es crucial la transformación de los residuos en los campos para fertilizar y recuperar la calidad del suelo y también procesar los residuos para el autoabastecimiento energético local y finalmente se debe que evitar el uso de productos no esenciales y desperdiciar los esenciales, el COVID ha dado una lección a la humanidad, porque demostró el impacto a la cadena de valor, de los productos, lo que significa corregir los errores para que las cadenas nos e corten en futuras pandemias que enfrentará la humanidad.

## **VII. RECOMENDACIONES**

Las tecnologías de biorrefinería integrada están en pleno desarrollo ya que su aplicación depende de la naturaleza particular de los residuos sólidos urbanos, de su composición, especialmente por la presencia de material lignocelulósicos que es más difícil de degradar, también la biorrefinería integrada al ser más rentables necesita más investigación en optimizar las técnicas de pre- tratamientos, el reemplazo de componentes ecoamigables con el ambiente debe desarrollarse con mayor intensidad.

## REFERENCIAS:

- ADILETTA, G., Brachi, P., Riianova, E., Crescitelli, A., Miccio, M., Kostryukova, N., 2019. A simplified biorefinery concept for the valorization of sugar beet pulp: ecofriendly isolation of pectin as a step preceding torrefaction. *Waste. Biomass. Valor.* 1–13.
- BADGUJAR, K. C., & Bhanage, B. M. (2018). Dedicated and Waste Feedstocks for Biorefinery: An Approach to Develop a Sustainable Society. *Waste Biorefinery*, 3–38. doi:10.1016/b978-0-444-63992-9.00001-x
- BATTISTA, Federico, et al. Food wastes and sewage sludge as feedstock for an urban biorefinery producing biofuels and added-value bioproducts. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 2020, vol. 95, no 2, p. 328-338.
- BELTRÁN-RAMIREZ F. Orona-Tamayo D., Cornejo-Coronal, Gonzales-Cervantes J., Esparza-Claudio J., Quintana-Rodríguez E. (2019) Chapter 5. Agro-industrial Waste Revalorization: The growing biorefinery. In *Biomass for Bioenergy: Recent Trends and Future Challenges* editado por Abd El- Fatah Abomohra
- Boccia, F., Di Donato, P., Covino, D., & Poli, A. (2019). Food Waste And Bio-Economy: A scenario for the Italian Tomato Market. *Journal of Cleaner Production*. doi:10.1016/j.jclepro.2019.04.180
- CALLO-CONCHA, Daniel, et al. Food and non-food biomass production, processing and use in sub-Saharan Africa: towards a regional bioeconomy. *Sustainability*, 2020, vol. 12, no 5, p. 2013.
- CANUL BACAB, Fernando, et al. Two phase anaerobic digestion system of municipal solid waste by utilizing microaeration and granular activated carbon. *Energies*, 2020, vol. 13, no 4, p. 933.

CESARO, Alessandra, et al. Formic acid pretreatment for enhanced production of bioenergy and biochemicals from organic solid waste. *Biomass and bioenergy*, 2020, vol. 133, p. 105455.

CHENG, Jiehong, et al. Effects of waste rusted iron shavings on enhancing anaerobic digestion of food wastes and municipal sludge. *Journal of Cleaner Production*, 2020, vol. 242, p. 118195.

CRISTÓBAL, Jorge, et al. Techno-economic and profitability analysis of food waste biorefineries at European level. *Bioresource Technology*, 2018, vol. 259, p. 244-252.

DAHIYA, Shikha, et al. Food waste biorefinery: Sustainable strategy for circular bioeconomy. *Bioresource technology*, 2018, vol. 248, p. 2-12.

DEHKORDI, Seyed Mohammad Mehdi Noorbakhsh, et al. Investigation of biogas production potential from mechanical separated municipal solid waste as an approach for developing countries (case study: Isfahan-Iran). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2020, vol. 119, p. 109586.

DE SOUSA, Maria Helena, et al. Valorizing municipal organic waste to produce biodiesel, biogas, organic fertilizer, and value-added chemicals: An integrated biorefinery approach. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 2021, p. 1-15.

DIACONO, Mariangela, et al. Recycling agricultural wastes and by-products in organic farming: Biofertilizer production, yield performance and carbon footprint analysis. *Sustainability*, 2019, vol. 11, no 14, p. 3824.

DONG, Chengyu, et al. New generation urban biorefinery toward complete utilization of waste derived lignocellulosic biomass for biofuels and value-added products. *Energy procedia*, 2019, vol. 158, p. 918-925.

DUAN, Yumin, et al. Organic solid waste biorefinery: Sustainable strategy for emerging circular bioeconomy in China. *Industrial Crops and Products*, 2020, vol. 153, p. 112568.

EBRAHIMIAN, Farinaz; KARIMI, Keikhosro; ANGELIDAKI, Irini. Coproduction of hydrogen, butanol, butanediol, ethanol, and biogas from the organic fraction of municipal solid waste using bacterial cocultivation followed by anaerobic digestion. *Renewable Energy*, 2022, vol. 194, p. 552-560.

EBRAHIMIAN, Farinaz; KARIMI, Keikhosro; KUMAR, Rajeev. Sustainable biofuels and bioplastic production from the organic fraction of municipal solid waste. *Waste Management*, 2020, vol. 116, p. 40-48.

FADZIL, Farizah, et al. Methane production from the digestion of thermally treated food waste at 80 C. *Journal of Environmental Treatment Techniques*, 2020, vol. 8, no 3, p. 1017-1022.

FARMANBORDAR, Sara; AMIRI, Hamid; KARIMI, Keikhosro. Synergy of municipal solid waste co-processing with lignocellulosic waste for improved biobutanol production. *Waste Management*, 2020, vol. 118, p. 45-54.

Fei, X., Chen, T., Jia, W., Shan, Q., Hei, D., Ling, Y., Feng, J., Feng, H., 2020. Enhancement effect of ionizing radiation pretreatment on biogas production from anaerobic fermentation of food waste. *Radiat. Phys. Chem.* 168, 108534. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2019.108534>

GARLAPATI, Vijay Kumar, et al. Circular economy aspects of lignin: towards a lignocellulose biorefinery. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2020, vol. 130, p. 109977.

GAO, Jiechao; WANG, Haoyu; SHEN, Haiying. Smartly handling renewable energy instability in supporting a cloud datacenter. *En 2020 IEEE international parallel and distributed processing symposium (IPDPS)*. IEEE, 2020. p. 769-778.

GOLDEN, Jay S., et al. Making sure the blue economy is green. *Nature Ecology & Evolution*, 2017, vol. 1, no 2, p. 0017.

GONZÁLEZ-GARCÍA, Sara; GULLÓN, Patricia; GULLÓN, Beatriz. Bio-compounds production from agri-food wastes under a biorefinery approach: exploring environmental and social sustainability. *Quantification of Sustainability Indicators in the Food Sector*, 2019, p. 25-53.

GONZÁLEZ-GARCÍA, Sara; MORALES, Pablo Comendador; GULLÓN, Beatriz. Estimating the environmental impacts of a brewery waste-based biorefinery: Bio-ethanol and xylooligosaccharides joint production case study. *Industrial Crops and Products*, 2018, vol. 123, p. 331-340.

Haddadi, M. H., Aiyelabegan, H. T., & Negahdari, B. (2017). Advanced biotechnology in biorefinery: a new insight into municipal waste management to the production of high-value products. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 15(3), 675- 686. doi:10.1007/s13762-017-1424-x

HASSAN, Shady S.; WILLIAMS, Gwilym A.; JAISWAL, Amit K. Moving towards the second generation of lignocellulosic biorefineries in the EU: Drivers, challenges, and opportunities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2019, vol. 101, p. 590-599.

KHOSHNEVISAN, Benyamin, et al. Environmental life cycle assessment of different biorefinery platforms valorizing municipal solid waste to bioenergy, microbial protein, lactic and succinic acid. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2020, vol. 117, p. 109493.

KUENKEL, Petra. The Systems Aliveness Approach—Shifting Mindsets from Navigating Emergency to Stewarding Wellbeing on a Healthy Planet. En *Transformation Literacy: Pathways to Regenerative Civilizations*. Cham: Springer International Publishing, 2022. p. 91-112.

Iacovidou, E., Millward-Hopkins, J., Busch, J., Purnell, P., Velis, C. A., Hahladakis, J. N., ... Brown, A. (2017). A pathway to circular economy: Developing a conceptual framework for complex value assessment of

resources recovered from waste. *Journal of Cleaner Production*, 168, 1279-1288. doi:10.1016/j.jclepro.2017.09.002

LAIBACH, Natalie, et al. An integrated, modular biorefinery for the treatment of food waste in urban areas. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 2021, vol. 4, p. 100118.

LI, Yemei, et al. High solid mono-digestion and co-digestion performance of food waste and sewage sludge by a thermophilic anaerobic membrane bioreactor. *Bioresource technology*, 2020, vol. 310, p. 123433.

LIU, Jianwei, et al. The effect of microwave pretreatment on anaerobic co-digestion of sludge and food waste: Performance, kinetics and energy recovery. *Environmental Research*, 2020, vol. 189, p. 109856.

LIU, Yang, et al. Review of waste biorefinery development towards a circular economy: from the perspective of a life cycle assessment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2021, vol. 139, p. 110716.

LYTRAS, G.; KOUTROUMANOU, E.; LYBERATOS, G. Anaerobic co-digestion of condensate produced from drying of Household Food Waste and Waste Activated Sludge. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2020, vol. 8, no 4, p. 103947.

MAHMOODI, Peyman; KARIMI, Keikhosro; TAHERZADEH, Mohammad J. Efficient conversion of municipal solid waste to biofuel by simultaneous dilute-acid hydrolysis of starch and pretreatment of lignocelluloses. *Energy conversion and management*, 2018, vol. 166, p. 569-578.

MOHAN, S. Venkata, et al. Can circular bioeconomy be fueled by waste biorefineries—A closer look. *Bioresource Technology Reports*, 2019, vol. 7, p. 100277.

MOLINA-PEÑATE, Esther; ARTOLA, Adriana; SÁNCHEZ, Antoni. Organic municipal waste as feedstock for biorefineries: bioconversion technologies integration and challenges. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 2022, vol. 21, no 1, p. 247-267.

MORETTO, Giulia, et al. An urban biorefinery for food waste and biological sludge conversion into polyhydroxyalkanoates and biogas. *Water Research*, 2020, vol. 170, p. 115371.

MORETTO, Giulia, et al. Optimization of urban waste fermentation for volatile

fatty acids production. *Waste Management*, 2019, vol. 92, p. 21-29.

NIZAMI, A. S., et al. Developing waste biorefinery in Makkah: a way forward to convert urban waste into renewable energy. *Applied Energy*, 2017, vol. 186, p. 189-196.

NEGRO, Maria José, et al. Sugars production from municipal forestry and greening wastes pretreated by an integrated steam explosion-based process. *Energies*, 2020, vol. 13, no 17, p. 4432.

ONUMAEGBU, Chaukwuma, et al. Pre-treatment methods for production of biofuel from microalgae biomass. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018, vol. 93, p. 16-26.

RAJENDRAN, Naveenkumar, et al. Recent advances in valorization of organic municipal waste into energy using biorefinery approach, environment and economic analysis. *Bioresource Technology*, 2021, vol. 337, p. 125498.

REMPEL, Alan, et al. Bioethanol from *Spirulina platensis* biomass and the use of residuals to produce biomethane: An energy efficient approach. *Bioresource technology*, 2019, vol. 288, p. 121588.

RICHARD, Edwin N., et al. A review on strategies to optimize metabolic stages of anaerobic digestion of municipal solid wastes towards enhanced resources recovery. *Sustainable Environment Research*, 2019, vol. 29, p. 1-13.

SALVO, Francesca; ZUPI, Massimo; DE RUGGIERO, Manuela. Land Consumption and urban regeneration. Evaluation principles and choice criteria. En *New Metropolitan Perspectives: Local Knowledge and Innovation Dynamics Towards Territory Attractiveness Through the Implementation of Horizon/E2020/Agenda2030–Volume 1*. Springer International Publishing, 2019. p. 582-589.

CABALLERO-MORALES, Santiago-Omar. Innovation as recovery strategy for SMEs in emerging economies during the COVID-19 pandemic. *Research in international business and finance*, 2021, vol. 57, p. 101396.

SHANTHI, M.; BANU, J. Rajesh; SIVASHANMUGAM, P. Effect of surfactant assisted sonic pretreatment on liquefaction of fruits and vegetable residue: Characterization, acidogenesis, biomethane yield and energy ratio. *Bioresource technology*, 2018, vol. 264, p. 35-41.

SHRESTHA, Bimi, et al. A review of pretreatment methods to enhance solids

reduction during anaerobic digestion of municipal wastewater sludges and the resulting digester performance: Implications to future urban biorefineries. *Applied Sciences*, 2020, vol. 10, no 24, p. 9141.

SINGH, Jyoti; DHAR, Dolly Wattal. Overview of carbon capture technology: microalgal biorefinery concept and state-of-the-art. *Frontiers in marine science*, 2019, vol. 6, p. 29.

SUN, Chen, et al. Enhancement on methane production and anaerobic digestion stability via co-digestion of microwave-Ca (OH)<sub>2</sub> pretreated sugarcane rind slurry and kitchen waste. *Journal of Cleaner Production*, 2020, vol. 264, p. 121731.

THAO, Nguyen Thi Thu, et al. Energy efficiency in an integrated agro-ecosystem within an acidic soil area of the Mekong Delta, Vietnam. *Energy, Sustainability and Society*, 2020, vol. 10, p. 1-15.

TULASHIE, Samuel Kofi, et al. Acid hydrolysis of sawdust waste into bioethanol. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 2023, vol. 13, no 7, p. 5743-5756.

WAHL, Daniel C. Sustainability is not enough: We need regenerative cultures. En *Green planet blues*. Routledge, 2019. p. 241-245.

YAN, Miao, et al. Effect of ammonia on anaerobic digestion of municipal solid waste: Inhibitory performance, bioaugmentation and microbiome functional reconstruction. *Chemical Engineering Journal*, 2020, vol. 401, p. 126159.

ZHANG, Jingxin, et al. Integrating food waste sorting system with anaerobic digestion and gasification for hydrogen and methane co-production. *Applied Energy*, 2020, vol. 257, p. 113988.

ZHU, Aijun, et al. Characterization of biogas production and microbial community in thermophilic anaerobic co-digestion of sewage sludge and paper waste. *Bioresource Technology*, 2021, vol. 337, p. 125371.

## ANEXOS

### Anexo 1. Matriz de Categorización

OBJETIVOS	PROBLEMAS	CATEGORIAS	SUBCATEGORIAS	REFERENCIAS
<p>OE1: Analizar las tecnologías implicadas en el desarrollo de la biorrefinería de los residuos sólidos urbanos</p>	<p>PE1: ¿Cuáles son las tecnologías implicadas en el desarrollo de la biorrefinería de los residuos sólidos urbanos?</p>	<p>Tecnologías de la biorrefinería</p>	<p>Fermentación, hidrolisis enzimática, digestión anaerobia, compostaje</p>	<p>Rempel et al 2019, Singh y Dhar, 2019, González-García et al. (2018b), Garlapati et al (2020), Badgujar et al. 2018, Rajendran et al (2021, Liu et al (2020) , Boccia et al (2019), Sun et al. 2020; Zhu et al. 2021.</p>
<p>OE2: Analizar las rutas de pre-tratamiento relacionado con la aplicación de la biorrefinería sobre los RSU</p>	<p>PE2: ¿Cuáles son las rutas de pre-tratamiento relacionado con la aplicación de la biorrefinería sobre los RSU?</p>	<p>Rutas de pre-tratamiento de RSU</p>	<p>rutas basadas en lignocelulosas y derivados en residuos alimentarios tales como ácidos bases, alcohol)</p>	<p>(Dehkordi, et al. 2019, Liu et al. (2020), Lytras et al 2020, Fei et al. 2019), Fadzil et al. 2020, Canul Baab et al., (2020), Shanthi</p>

<p>OE3: Evaluar los elementos de la bioeconomía circular relacionada con lo aprovechamiento de los RSU</p>	<p>PE3: ¿cuáles son los elementos de la bioeconomía circular relacionada con lo aprovechamiento de los RSU?</p>	<p>Elementos de la bioeconomía</p>	<p>biomimetismo, metabolismo urbano, simbiosis industrial</p>	<p>Canul Baab et al., (2020), Cheng et al. (2020), Yan et al. (2020), Dehkordi et al. (2020), Lytras et al. (2020), Li et al. (2020), Zhang et al. 2020a, Fei et al. (2020), Fadzil et al. 2020</p>
--	---	------------------------------------	---	---

## Anexo 2: Instrumentos de recolección de datos

	<b>FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO</b>
<b>TÍTULO: Biorrefinería Integrada de los Residuos Sólidos Urbanos para Impulsar la Bio-economía Circular. Revisión Sistemática 2022</b>	
<b>AÑO DE PUBLICACIÓN:</b> 2017 - 2022	<b>ESCUELA PROFESIONAL:</b> Ingeniería Ambiental
<b>AUTOR:</b> - Elvis Manuel Mejía Carrasco	
<b>TIPO DE INVESTIGACIÓN</b>	Revisión sistemática
<b>PALABRAS CLAVES</b>	: biorrefinería, tecnología, procesos, bioeconomía circular, residuos sólidos urbanos.
<b>OBJETIVO GENERAL</b>	Evaluar la Biorrefinería de los RSU para impulsar la bio-economía circular
<b>METODOLOGÍA</b>	Se hizo una revisión sistemática de artículos científicos publicados en revistas de alto impacto.
<b>RESULTADOS</b>	
<b>CONCLUSIONES</b>	



DNI: 40231227



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

“Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional”

SOLICITUD: validación de  
instrumentos de recojo de  
información

Dr. Espinoza Farfán Eduardo Ronald

Yo, Elvis Manuel Mejía Carrasco con DNI: 46081317, estudiantes del X ciclo me encuentro cursando el curso de **Desarrollo de Proyecto de Investigación**, por ello, a usted con el debido respeto me presento y le manifiesto, debido a que es un requisito indispensable el recojo de datos para la tesis que vengo elaborando titulada: “Biorrefinería Integrada de los Residuos Sólidos Urbanos para Impulsar la Bio-economía Circular. Revisión Sistemática 2022”, solicitó a Ud. se sirva validar el instrumento que adjuntamos bajo los criterios académicos correspondientes. Para este efecto se adjunta los siguientes documentos:

- Ficha de recolección de datos

Por lo expuesto, ruego a Usted, acceda a mi solicitud.

**Lima, 14 de diciembre del 2022.**

---

Elvis Manuel Mejía Carrasco  
**DNI: 46081317**

## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

### I. DATOS GENERALES - INSTRUMENTO Nº1

**Apellidos y Nombres:** Espinoza Farfán Eduardo Ronald

- **Cargo e institución donde labora:** UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO - LIMA ESTE
- **Especialidad o línea de investigación:** Tratamiento y gestión de residuos sólidos
- **Nombre del instrumento motivo de evaluación:** ficha de análisis de contenido
- **Autor de Instrumento:** Elvis Manuel Mejía Carrasco

### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MÍNIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. Claridad	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. Objetividad	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. Actualidad	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. Organización	Existe una organización lógica.											X		
5. Suficiencia	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales.											X		
6. Intencionalidad	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. Consistencia	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. Coherencia	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. Metodología	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. Pertinencia	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

a. El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación

X

b. El Instrumento no cumple con los Requisitos para su aplicación

c. **PROMEDIO DE VALIDACIÓN**

90



DNI: 40231227



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

“Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional”

SOLICITUD: validación de  
instrumentos de recojo de  
información

Dr Carlos Alberto Castañeda olivera

Yo, Elvis Manuel Mejía Carrasco con DNI: 46081317, estudiantes del X ciclo me encuentro cursando el curso de **Desarrollo de Proyecto de Investigación**, por ello, a usted con el debido respeto me presento y le manifiesto, debido a que es un requisito indispensable el recojo de datos para la tesis que vengo elaborando titulada: “Biorrefinería Integrada de los Residuos Sólidos Urbanos para Impulsar la Bio-economía Circular. Revisión Sistemática 2022”, solicitó a Ud. se sirva validar el instrumento que adjuntamos bajo los criterios académicos correspondientes. Para este efecto se adjunta los siguientes documentos:

- Ficha de recolección de datos

Por lo expuesto, ruego a Usted, acceda a mi solicitud.

Lima, 14 de diciembre del 2022.

---

Elvis Manuel Mejía Carrasco  
DNI: 46081317

### Anexo 3: Instrumentos de recolección de datos

	<b>FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO</b>
<b>TÍTULO: Biorrefinería Integrada de los Residuos Sólidos Urbanos para Impulsar la Bio-economía Circular. Revisión Sistemática 2022</b>	
<b>AÑO DE PUBLICACIÓN:</b> 2017 - 2022	<b>ESCUELA PROFESIONAL:</b> Ingeniería Ambiental
<b>AUTOR:</b> - Elvis Manuel Mejía Carrasco	
<b>TIPO DE INVESTIGACIÓN</b>	Revisión sistemática
<b>PALABRAS CLAVES</b>	: biorrefinería, tecnología, procesos, bioeconomía circular, residuos sólidos urbanos.
<b>OBJETIVO GENERAL</b>	Evaluar la Biorrefinería de los RSU para impulsar la bio-economía circular
<b>METODOLOGÍA</b>	Se hizo una revisión sistemática de artículos científicos publicados en revistas de alto impacto.
<b>RESULTADOS</b>	
<b>CONCLUSIONES</b>	


---

**Dr. Ing. Carlos Alberto Castañeda Olivera**  
 DOCENTE E INVESTIGADOR  
 CIP: 130267  
 RENACYT: P0078275

## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

### 1. DATOS GENERALES - INSTRUMENTO N°1

1.1 **Apellidos y Nombres:** Dr. Carlos Alberto Castañeda olivera

1.2 **Cargo e institución donde labora:** UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO - LIMA ESTE

1.3 **Especialidad o línea de investigación:** Tratamiento y gestión de residuos sólidos

1.4 **Nombre del instrumento motivo de evaluación:** ficha de análisis de contenido

1.5 **Autor de Instrumento:** Elvis Manuel Mejía Carrasco

### 2. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MÍNIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. Claridad	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. Objetividad	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. Actualidad	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. Organización	Existe una organización lógica.											X		
5. Suficiencia	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales.											X		
6. Intencionalidad	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. Consistencia	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. Coherencia	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. Metodología	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. Pertinencia	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

#### IV. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

d. El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación

El Instrumento no cumple con los Requisitos para su aplicación

#### PROMEDIO DE VALIDACIÓN

  
**Dr. Ing. Carlos Alberto Castañeda Olivera**  
 DOCENTE E INVESTIGADOR  
 CIP: 130267  
 RENACYT: P0078275



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

“Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional”

SOLICITUD: validación de  
instrumentos de recojo de  
información

Dr. Sernaque Auccahuasi Fernando Antonio

Yo, Elvis Manuel Mejía Carrasco con DNI: 46081317, estudiantes del X ciclo me encuentro cursando el curso de **Desarrollo de Proyecto de Investigación**, por ello, a usted con el debido respeto me presento y le manifiesto, debido a que es un requisito indispensable el recojo de datos para la tesis que vengo elaborando titulada: “Biorrefinería Integrada de los Residuos Sólidos Urbanos para Impulsar la Bio-economía Circular. Revisión Sistemática 2022”, solicitó a Ud. se sirva validar el instrumento que adjuntamos bajo los criterios académicos correspondientes. Para este efecto se adjunta los siguientes documentos:

- Ficha de recolección de datos

Por lo expuesto, ruego a Usted, acceda a mi solicitud.

**Lima, 14 de diciembre del 2022.**

---

Elvis Manuel Mejía Carrasco  
DNI: 46081317

#### Anexo 4: Instrumentos de recolección de datos

	<b>FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO</b>
<b>TÍTULO: Biorrefinería Integrada de los Residuos Sólidos Urbanos para Impulsar la Bio-economía Circular. Revisión Sistemática 2022</b>	
<b>AÑO DE PUBLICACIÓN:</b> 2017 - 2022	<b>ESCUELA PROFESIONAL:</b> Ingeniería Ambiental
<b>AUTOR:</b> - Elvis Manuel Mejía Carrasco	
<b>TIPO DE INVESTIGACIÓN</b>	Revisión sistemática
<b>PALABRAS CLAVES</b>	: biorrefinería, tecnología, procesos, bioeconomía circular, residuos sólidos urbanos.
<b>OBJETIVO GENERAL</b>	Evaluar la Biorrefinería de los RSU para impulsar la bio-economía circular
<b>METODOLOGÍA</b>	Se hizo una revisión sistemática de artículos científicos publicados en revistas de alto impacto.
<b>RESULTADOS</b>	
<b>CONCLUSIONES</b>	

DNI : 07268863

## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

### 1. DATOS GENERALES - INSTRUMENTO Nº1

- 1.1. **Apellidos y Nombres:** Dr. Sernaque Auccahuasi Fernando Antonio  
 1.2. **Cargo e institución donde labora:** UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO - LIMA ESTE  
 1.3. **Especialidad o línea de investigación:** Tratamiento y gestión de residuos sólidos  
 1.4. **Nombre del instrumento motivo de evaluación:** ficha de análisis de contenido  
 1.5. **Autor de Instrumento:** Elvis Manuel Mejía Carrasco

### 2. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MÍNIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. Claridad	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. Objetividad	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. Actualidad	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. Organización	Existe una organización lógica.											X		
5. Suficiencia	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales.											X		
6. Intencionalidad	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. Consistencia	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. Coherencia	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. Metodología	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. Pertinencia	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

### V. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- e. El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- f. El Instrumento no cumple con los Requisitos para su aplicación

X

90



DNI : 07268863

## Anexo 5: Registro de similitud – turnitin

The screenshot shows the Turnitin Feedback Studio interface. The main document area displays the following information:

- Universidad César Vallejo**
- FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**
- ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**
- Biorrefinería Integrada de los Residuos Sólidos Urbanos para Impulsar la Bio-economía Circular. Revisión Sistemática 2022**
- AUTOR:** Mejía Carrasco, Elvis Manuel (ORCID: 0000-0003-3588-8337)
- ASESOR:** Mg. Cabello Torres, Rita Jaqueline (ORCID: 0000-0002-8965-9676)
- LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:** Calidad y gestión de los recursos naturales
- LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:** Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático
- LIMA – PERÚ**
- 2022**

On the right side, a sidebar shows the similarity score: **5 %**. Below this, a list of matches is displayed:

Match Number	Source	Similarity Percentage
1	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1 %
2	Entregado a Universida... Trabajo del estudiante	1 %
3	Franco Penizzotto, Cla... Publicación	<1 %
4	www.revistaresiduos.c... Fuente de Internet	<1 %
5	Entregado a Aston Univ...	<1 %

At the bottom of the interface, there are navigation options: "Versión solo texto del informe", "Alta resolución", and a toggle for "Activado".