



Universidad
de Alcalá



Universidad
Rey Juan Carlos

ECONOMÍA CIRCULAR: OPTIMIZACIÓN DE LA ENERGÍA GENERADA EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

CIRCULAR ECONOMY: OPTIMIZATION OF THE ENERGY GENERATED IN WASTEWATER TREATMENT PLANTS

MÁSTER UNIVERSITARIO EN HIDROLOGÍA Y GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS

Presentado por: Ing. Yoanis Correa Serrano

D./D^a NOMBRE Y APELLIDOS

Dirigido por: Pedro Letón García

Dr./Dra. D./D^a NOMBRE Y APELLIDOS

Alcalá de Henares, a 06 de 06 de 2022

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, quiero agradecer a Dios por todo la sabiduría y entendimiento que me dio durante este periodo. A mi madre que aun no estando presente físicamente siempre me cuida y me protege, para que ande por la vida como una persona de bien. A mi abuela Milagros que pese a la distancia siempre me dio ánimo para enfrentar esta etapa de mi vida, a mi tía Marius que me ha sido un pilar fundamental en mí, en general a mi familia.

Agradecer además a mi tutor Pedro Letón, por su gran ayuda en la realización de este trabajo, por su paciencia, muchas gracias profe.

A los compis del aula y de la residencia por los momentos compartidos y que siempre se recordarán.

A dos personas que pese a que la he conocido aquí en un corto periodo de tiempo ya lo considero parte de mi familia (John Montero el Colombiano y Juan Carlos el Carlitiquitiquiti).

Al claustro de profesores en general por su dedicación y entrega a la hora de darnos las clases, por ayudarnos a cumplir un sueño ser Master, de transmitirnos sus conocimientos.

Por todo esto dicho y otras muchas más cosas

Muchas Gracias

Resumen

La economía circular es un modelo que se emplea por la unión europea con el fin de disminuir las contaminaciones ambientales y alargar la vida útil de los productos reutilizables. En el presente trabajo, titulado ***Economía Circular: Optimización de la energía generada en las plantas de tratamiento de aguas residuales***, se evalúa un sistema de lodos activados con aireación extendida, la EDAR en estudio: Hicacos, con un caudal de explotación de **4335 m³/día**, es una de las plantas con la que cuenta Cuba en su infraestructura. Este trabajo hace un punto de partida para fomentar el modelo y potenciar el aprovechamiento energético que contienen las aguas residuales. Dentro de la metodología seguida a lo largo de este estudio, se identifica que el Tratamiento biológico es la etapa con mayor consumo energético en la planta con **1065 kW-h/día** y dentro de la misma la aireación es la mayor consumidora que representa el **50 %** de la energía total que se consume en la planta. Se estima la cantidad de biogás que se pueden obtener de los lodos primarios de la EDAR mediante dos tipos de métodos de cálculos, obteniéndose un promedio de **330,27 m³/día** de biogás y **858,71 kW-h/día** de potencial energético que se puede extraer, esto representa **61 %** del consumo total de la planta. Para optimizar los procesos de la planta de tratamiento de residuales, se evalúa el ácido paracético (APA) utilizando el software estadístico "GeNle-Academic", del cual se obtiene como resultado una disminución del consumo de energía en el tratamiento biológico a un **39 %** aumentando la eficiencia de la planta un **83 %**.

Summary

The circular economy is a model that is used by the European Union in order to reduce environmental pollution and extend the useful life of reusable products. In the present work, entitled Circular Economy: Optimization of the energy generated in wastewater treatment plants, an activated sludge system with extended aeration, the WWTP under study, is evaluated: Hicacos, with an operating flow of 4335 m³/day, is one of the plants that Cuba has in its infrastructure. This work makes a starting point to promote the model and enhance the energy use contained in wastewater. Within the methodology followed throughout this study, it is identified that the Biological Treatment is the stage with the highest energy consumption in the plant with 1065 kW-h / day and within it aeration is the largest consumer that represents 50% of the total energy consumed in the plant. The amount of biogas that can be obtained from the primary sludge of the WWTP is estimated by two types of calculation methods, obtaining an average of 330.27 m³ / day of biogas and 858.71 kW-h / day of energy potential that can be extracted, this represents 61% of the total consumption of the plant. To optimize the processes of the waste treatment plant, paracetic acid (APA) is evaluated using the statistical software "GeNIe-Academic", which results in a decrease in energy consumption in biological treatment to 39% increasing the efficiency of the plant by 83%.

1- INTRODUCCIÓN	1
1.1- SISTEMAS MEDIANTE REACTORES AERÓBICOS	2
PRETRATAMIENTO	3
TRATAMIENTO PRIMARIO	4
TRATAMIENTO SECUNDARIO	5
TRATAMIENTO TERCIARIO	6
DESINFECCIÓN	6
SISTEMAS MBR	7
SISTEMAS DE LODOS ACTIVADOS	7
LÍNEA DE FANGO	8
OBJETIVO GENERAL	11
METODOLOGÍA	12
2.1- CONSUMO ENERGÉTICO	13
2.2- ENERGÍA QUE SE PUEDE OBTENER	14
2.2.1- MÉTODO POR CANTIDAD DE SÓLIDOS VOLÁTILES (SV)	14
2.2.2- MÉTODO POR CANTIDAD DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)	15
2.2.3- MÉTODO POR POBLACIÓN BENEFICIADA	16
2.2.4. MÉTODO POR CANTIDAD DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	16
2.3- UTILIZACIÓN DEL ÁCIDO PARACÉTICO:	17
2.3.1- MEJORA DE LA AIREACIÓN	17
2.4- UTILIZACIÓN DEL PROGRAMA GENIE ACADEMIC:	17
3- RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19
3.1. ENERGÍA CONSUMIDA DE LAS ETAPAS DE TRATAMIENTO DE LA PLANTA EN ESTUDIO.	19
3.2. ENERGÍA ESTIMADA MEDIANTE LOS MÉTODOS DE CÁLCULOS EMPLEADOS	20
3.3. OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA MEDIANTE EL EMPLEO DEL ÁCIDO PARACÉTICO	20
CONCLUSIONES	22
BIBLIOGRAFÍA	23
ANEXO	25

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de economía circular	1
Figura 2. Partes principales del sistema MBR	7
Figura 3. Esquema de proceso de lodos activos.....	8
Figura 4. Línea de Tratamiento de Lodos.....	9
Figura 5: Barra de herramienta de GeNle.....	10
Figura 6: Distribución en el tiempo de los documentos buscados.....	12
Figura 7: Planta Hicacos.....	13
Figura 8: Distribución de la energía en %.....	19
Figura 9: GeNle con el empleo del reactivo.....	21

TABLA DE ABREVIATURAS

N : Nitrógeno.

P : Fósforo.

CH₄ : *Metano*.

APA : Ácido Paracético.

MBR : Biorreactor de Membrana.

CO₂ : Dióxido de Carbono.

H₂O : Agua.

EAA : Empresa de Acueducto y Alcantarillado.

EDAR : Estación Depuradora de Agua Residuales.

SV : Sólidos Volátiles.

SV_{AD} : Sólidos Volátil del Afluente diario (mg/día).

SV_A : Sólidos Volátil del Afluente (mg/L).

Q_{op} : Caudal de operación de la planta (L/día).

SV_S : Sólidos Volátil sedimentados (kg/día)

V_{BP} : Volumen de biogás producido (m³/día).

DQO : Demanda Química de Oxígeno.

DQO_{AD} : DQO del Afluente diario (mg/día).

DQO_A : DQO del Afluente (mg/L).

DQO_S : DQO sedimentado (Kg DQO/día).

P_B : Personas beneficiadas (**hab**).

V_{MD} : Volumen de CH₄ al día (m³/día).

DBO₅ : Demanda Bioquímica de Oxígeno.

BioWATT : Biogas Wastewater Assessment Technology Tool.

Introducción

En los últimos años, la Economía Circular ha estado recibiendo una atención creciente entre los responsables políticos y los líderes empresariales, convirtiéndose en una prioridad en las políticas de algunos países europeos y la Unión Europea. La Economía Circular se presenta como una alternativa al modelo actual de producción y consumo, con el potencial de resolver los desafíos ambientales, a la vez que abre oportunidades de negocio y crecimiento económico (UNESCO, 2022).

Junto a los impactos en la producción y generación de empleo, la economía circular favorece el desacoplamiento del crecimiento económico europeo del uso de recursos naturales y podría contribuir a la reducción de hasta un 50% las emisiones de CO2 en el horizonte 2030 (Bárbara Soriano, 2016)

La economía circular es un modelo, que su principal objetivo es maximizar los recursos disponibles que se puedan aprovechar, tanto energéticos como materiales útiles, para que los mismos persistan el mayor tiempo posible en el ciclo de vida productivo. Esto conlleva a que se reduzca todo lo posible la generación de residuos y reutilizar aquellos cuya generación no se hayan podido aprovechar renovar, reciclar, etc, estos son varios de los conceptos que aplica este modelo para la ampliación del ciclo de vida de los productos y crearle un nuevo valor añadido. El concepto que se maneja para como economía circular se puede apreciar en la **Fig. 1.**

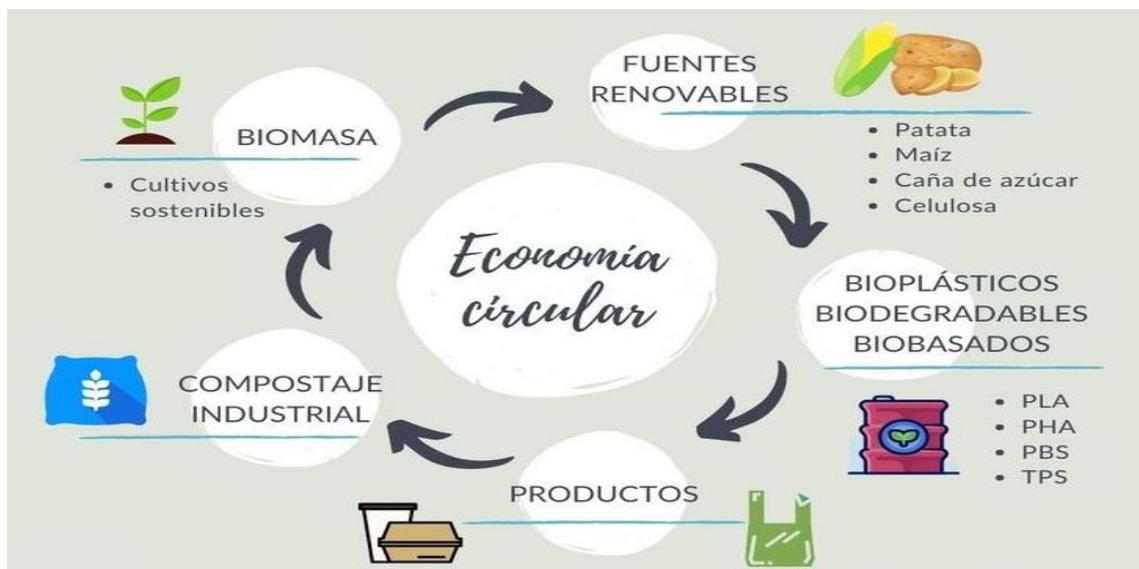


Fig. 1: Esquema de economía circular.

Cuba cuenta con una infraestructura de saneamiento de 24 EDAR y 313 sistemas de lagunas para el tratamiento de más de 250 hm³ de residual al año, satisfaciendo las necesidades de 6 674 821 de habitantes de ellos reciben un saneamiento seguro un total de 2 984 020 de habitantes, dando cumplimiento a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (**Ver Anexos 4 y 5**), en ningunas de nuestras plantas se le ha implementado el aprovechamiento de del potencial energético de los residuales urbanos, ya que ese es un problema en nuestras plantas.

El acondicionamiento de aguas residuales domésticas, no se debe pensar únicamente en que el agua pueda volverse a utilizar únicamente en distintas actividades de la vida cotidiana de la sociedad en que vivimos, si no que se debe ver como una fuente a la cual se pueden extraer nutrientes, generar energías y la extracción de subproductos con un valor añadido, que se pueden emplear en el desarrollo creciente de la sociedad en que vivimos.

Unos de los problemas que todavía persiste en el mundo es el bajo aprovechamiento energético de las aguas residuales que se tratan en las Plantas depuradoras, las aguas residuales domésticas presentan componentes de los cuales haciendo un uso y manejo adecuado de los mismos se pueden aprovechar con mayor eficiencia, la energía y los nutrientes (nitrógeno (**N**) y fósforos (**P**)) para su posterior utilización. A pesar de que es bajo el aprovechamiento de estos recursos, existes países con es el caso de España que si está apostando por la economía circular como una forma de ser más eficiente con los recursos generados por la sociedad (Perry L. McCarty, 2021).

La obtención de energías a partir del tratamientos de las aguas residuales tiene una amplia tradición, especialmente a partir del procesamiento anaerobio de la materia orgánica de las aguas residuales en gas metano (**CH₄**), el agua residual doméstica ahora se consideran como un recurso; un residuos aprovechables, un recurso para el agua, para la energía y para las plantas (Umesh Ghimire, 2021).

Sistemas mediante reactores aeróbicos

Los sistemas aeróbicos de tratamiento de aguas residuales, aprovechan la capacidad de los microorganismos de asimilar materia orgánica y nutrientes (nitrógeno y fósforo) disueltos en el agua residual para su propio crecimiento, en

presencia de oxígeno, que actuará como aceptor de electrones en el proceso de oxidación de la materia orgánica. (Condorchem envitech, s.f.)

Esta particularidad conlleva unos rendimientos energéticos elevados y una importante generación de fangos, consecuencia del alto crecimiento de las bacterias en condiciones aeróbicas. (Condorchem envitech, s.f.)

Un sistema de tratamiento aeróbico se compone de las siguientes etapas:

1. **Pretratamiento:** El pretratamiento del afluente de entrada de una planta, son un conjunto de procesos que eliminan los componentes de las aguas residuales que puedan ocasionar problemas en los siguientes procesos de la planta, el mismo permite la remoción de un 40 a un 60 % de los materiales que pueda contener el agua a tratar. (Tito, 2020). En este tratamiento se pueden emplear operaciones físicas como mecánicas. Los grandes sólidos si no son eliminados adecuadamente, constituyen un problema en los equipos. Los sólidos como: Piedras, arena, latas, etc. causan deterioros en las tuberías de conducción, además en las bombas. Las grasas y aceites que puedan llegar a la planta son extraídos con el objetivo de evitar que el tratamiento biológico se prolongue por un mayor tiempo, su eficiencia disminuya y además que en agua de salida tenga una calidad adecuada. Las operaciones importantes que se pueden utilizar está en función del origen del afluente a procesar, de su calidad o de los tratamientos posteriores son (Condorchem envitech, s.f.):
 - **Separación de grandes sólidos:** Es tratamiento se utiliza siempre y cuando el afluente de entrada presente siempre que las aguas a tratar puedan contener partículas de gran tamaño, donde se coloca un pozo situado a la entrada de la planta que concentre las partículas de pequeño y gran tamaño como: las arenas decantadas, las latas, los palos, las toallitas, etc. Donde se pueda recoger de forma eficaz (Condorchem envitech, s.f.).
 - **Desbaste:** Su objetivo es eliminar sólidos de gran tamaño (Botellas de Plásticos, palos, etc). Se realiza haciendo pasar el agua a través rejas que impide el paso de los mismos (García, 2022). Esta operación evita obstrucciones de partes posteriores de la

instalación por la llegada masiva de grandes sólidos (Condorchem envitech, s.f.).

- **Tamizado:** El tamizado se emplea cuando el afluente presenta grandes cantidades de sólidos flotantes o residuos. Se pueden emplear diversos tamices por lo que se le conoce como pasos de 1 y 6 mm. Se pueden emplear de diversas formas: Estáticos autolimpiantes, Rotativos, Deslizante, de Escalera móvil, etc.
 - **Desarenado:** En este proceso se pueden eliminar partículas de arenas con un diámetro de 200 micras, las mismas pueden ocasionar problemas en las conducciones (Condorchem envitech, s.f.), problemas en el bombeos o desgastes en los distintos equipos.
 - **Desaceitado-desengrasado:** El objetivo principal de este proceso es la separación del aceite, grasas, espumas y demás componentes que contenga el agua residual, que puedan afectar los de tratamiento posteriores. Se efectúan inyectándole aire al agua con el fin de separar los componentes grasos del agua y facilitar la flotación de los mismos (Ramalho, 1993).
2. **Tratamiento Primario:** Es un conjunto de procesos tanto físicos como químicos donde se eliminan los sólidos en suspensión del agua residual a tratar. En el tratamiento químico se emplean coagulantes para lograr unir los coloides u lograr un floculo de gran tamaño que pueda decantar rápidamente (Condorchem envitech, s.f.).
- **Sedimentación:** En este proceso las partículas y los floculos obtenidos en el tratamiento anterior se separan en los decantadores primario, esto ocurre por el efecto de la gravedad donde las partículas más pesadas que el agua se recojan en el fondo del decantador. Este proceso será más eficiente mientras mayor sea el tamaño del sólido formado, es decir, aquí tiene un efecto fundamental la velocidad de sedimentación de la partícula. Aquí se suelen emplear tres tipos de decantadores; rectangulares, circulares y lamelares (Condorchem envitech, s.f.).
 - **Flotación:** Consiste en la separación de las materia sólida o líquida de menor densidad que la del fluido que asciende a la superficie. Se suele emplear aire como agente de flotación y en dependencia

de como el aire se integre en el flujo, se plantean dos sistemas de flotación: Flotación por aire disuelto (DAF) en el que el flujo de aire se embulle en el agua tratada con una presión de varias atmósferas y la segunda es la Flotación por aire inducido donde la producción de burbujas se efectúa a través de difusores (Condorchem envitech, s.f.).

- **Coagulación – Floculación:** Aquí las partículas en suspensión en muchas ocasiones forman aglomeraciones estables difíciles de sedimentar, para destruir la estabilidad de las aglomeraciones se necesitan la adición de algún reactivo químico como es el caso del Sulfato de aluminio, Sulfato férrico, Policloruro de aluminio, etc. Que permita la formación de floculo de gran tamaño para facilitar la sedimentación, estos productos suelen tener cargas positivas para atraer a los coloides que presentan cargas negativas. (Condorchem envitech, s.f.).
- **Filtración:** Este proceso permite eliminar partículas en suspensión que provienen de los tratamientos anteriores. Se pueden utilizar filtros rápidos o lento y esto lo va a condicionar el tamaño efectivo del material a emplear, se suelen utilizar como material filtrante la Arena sílice, la zeolita, carbón activado, etc. (Condorchem envitech, s.f.).

3. **Tratamiento secundario:** En estos procesos se suelen incluir un tratamiento biológico con sedimentaciones secundarias, donde se emplean microorganismos para lograr una mayor remoción de la carga contaminante que trae el agua donde suelen destacar las bacterias. En esta etapa se suelen eliminar los coloides disueltos como los elementos que presentan nutrientes tanto Fósforos y Nitrógenos. Los microorganismos en gran parte de los casos consumen la materia orgánica que presenta el agua con dos objetivos fundamentales; degradar la carga contaminante de agua y utilizarla como fuente energética para su desarrollo. En los procesos aerobios ocurre la supresión de los contaminantes orgánicos a partir de la transformación de la biomasa bacteriana con la ayuda de oxígeno (Condorchem envitech, s.f.).

- **Digestión:** Los procesos aerobios el residual que entra pasa a un reactor – digestor, aquí se encuentran presentes los

microorganismos que necesarios para la degradación de las materias orgánicas presentes, los mismos para lograr una alta eficiencia es necesario la incorporación de aire (Condorchem envitech, s.f.).

- **Decantación:** La decantación ocurre a por el efecto de la gravedad que se logra una separación de los floculo, este proceso se conoce como sedimentación secundaria (Condorchem envitech, s.f.).

4. **Tratamiento Terciario:** Este proceso se aplica en dependencia de la calidad del agua que se quiera obtener y en función del cuerpo receptor al cual se vierta, cumpliendo con la legislación vigente, con el objetivo de eliminar cualquier contaminante que pueda alterar el medio al que se vierte, unos de los ejemplos de las sustancias que se deben eliminar son; el nitrógeno, fósforo y nutrientes. Se utilizan combinaciones de procesos, los mismos se emplean de acuerdo al agua que se pretende obtener. Se pueden emplear según las combinaciones siguientes (Condorchem envitech, s.f.):

- Filtración: Microfiltración o Ultrafiltración
- Membrana
- Adsorción
- Intercambio iónico
- Ósmosis inversa

5. **Desinfección:** Este proceso tiene como objetivo la eliminación de microorganismos patógenos que contenga el agua, para una posterior realización o vertimiento al medio, pero con la calidad adecuada. Existen varios procesos de desinfección, el más usado por ser un buen agente desinfectante es la cloración que se pueden emplear con Cloro Gas o Hipoclorito de sodio, otro es la desinfección con Ozono y La electrodesinfección (Condorchem envitech, s.f.).

Algunos de los principales sistemas aerobios se describen a continuación:

Sistemas MBR: Los Sistemas de Biorreactores de membranas, son una combinación de procesos donde existe una degradación biológica y una separación mediante membranas, las partículas en suspensión y microorganismos responsables de la biodegradación son apartados del agua

procesada mediante una unidad de filtración por membrana. Por lo que, se distinguen dos partes principales en este sistema (**Ver Fig. 2**) (Pedro I):

- 1- Una unidad biológica que es la encargada de la eliminación de los compuestos orgánicos.
- 2- El proceso de filtración que es el encargado de llevar a cabo la eliminación física de los coloides del agua.

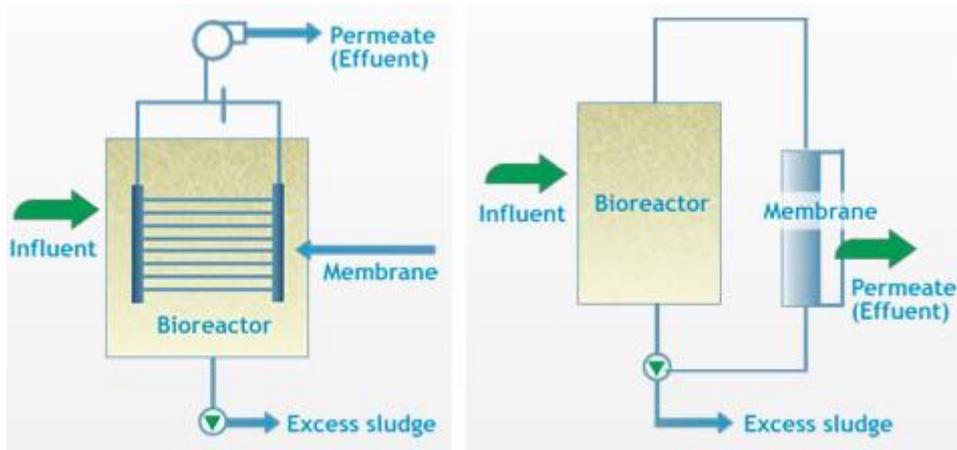


Fig. 2: Partes principales del sistema MBR.

En este sistema toda la biomasa está retenida dentro del mismo, suministrando un control del tiempo de residencia de los microorganismos en el reactor (edad del fango) y la desinfección del agua procesada.

Sistemas de Lodos Activados: El sistema de lodos activos, las bacterias se mezclan continuamente con las aguas residuales mediante la recirculación de microorganismos y donde se ocurre la consumición los contaminantes orgánicos, en el mismo se introduce aire al agua con el objetivo de satisfacer la demanda de oxígeno de las bacterias para mantener los sólidos en suspensión y en contacto con los microorganismos para que puedan degradarlo (Sela, s.f.).

En la medida que los microorganismos van desarrollándose, se apilan y crean partículas de gran tamaño para que puedan precipitan y se acumulen en el fondo del reactor.

Una parte de estos fangos se mezcla con el agua para mantener un nivel de microorganismos vivos en el reactor (**Ver Fig. 3**), este proceso se conoce como recirculación de lodos.

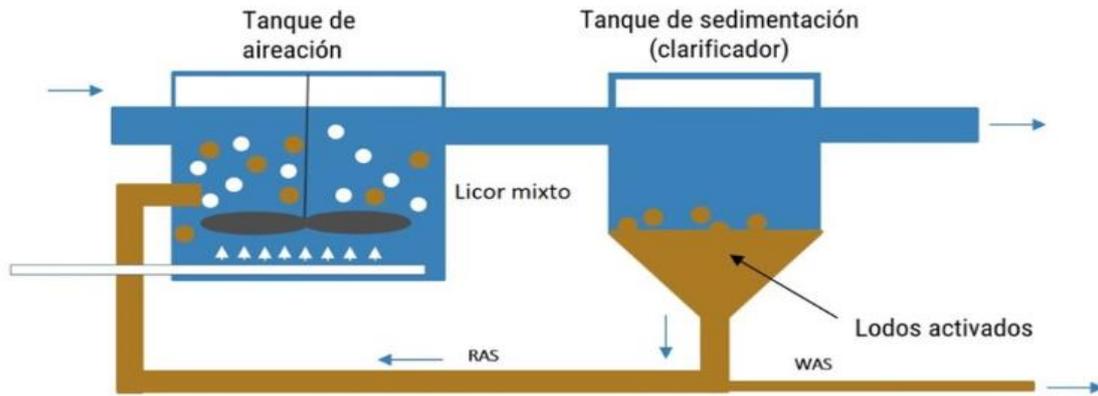


Fig.3: Esquema de proceso de lodos activos.

Este proceso se puede diseñar con distintas combinaciones. Estas combinaciones presentan sus propias desventajas y ventajas dependiendo de la característica del afluente de entrada. Por ende, al diseñar un proceso, se debe realizar con la combinación más adecuada para las condiciones específicas del proceso (Sela, s.f.).

Las configuraciones más comunes son:

- Configuración simple – convencional
- Aireación extendida
- Mezcla completa
- Reactores secuenciales

Línea de Fango:

Para la producción del metano, la EDAR debe estar complementada por operaciones (**Ver Fig. 4**) que reduzcan el volumen de los lodos provenientes del sedimentador primario y secundario, la misma debe constar de:

- Digestión Anaerobia.
- Espesador (Floculación, sedimentación, floculación).
- Secado (Filtración, Centrifugado)

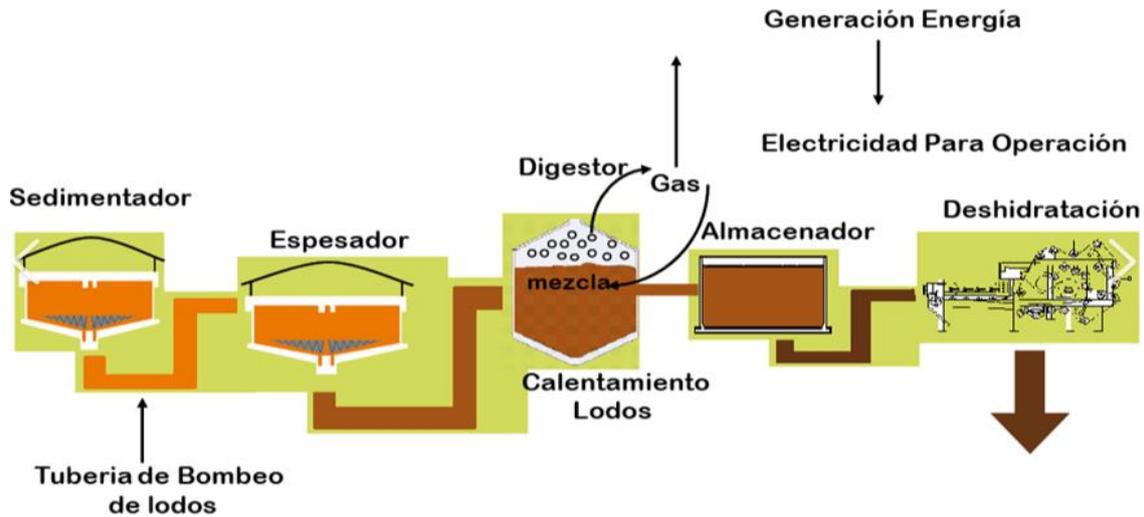


Fig.4: Línea de Tratamiento de Lodos.

JUSTIFICACIÓN. OBJETIVOS

El presente trabajo se realizará un análisis bibliográfico de la obtención de energía a partir del procesamiento anaerobio de los fangos generados en el tratamiento primario de una de las plantas de tratamiento de aguas residuales con la que cuenta Cuba y que actualmente no existe estudios para aprovechar el potencial energético que se pueden obtener del procesamiento de las aguas residuales, el país cuenta con 24 EDAR, la misma brindan servicio a la población como a los polos turísticos y dentro de ellos se encuentra la planta que se escogió como estudio que pertenece a la EAA de Aguas Varadero. Se analizará la siguiente tecnología:

1- Sistemas de **Lodos Activados con aireación extendida.**

Con el fin de identificar, la energía que se consume y el biogás que se pudiera obtener. Posteriormente realizar un análisis estadístico para poder optimizar el tratamiento con más problema mediante el empleo del programa **Genie-Academic**.

El programa cuenta con cuatro tipos de nodos:

1- Nodos de decisión:



2- Nodos de azar:



3- Nodos determinísticos:





4- Nodos de valor:



Para crear un nodo, se selecciona de la parte superior de la cuadrícula y se hace “click” dentro de la cuadrícula.

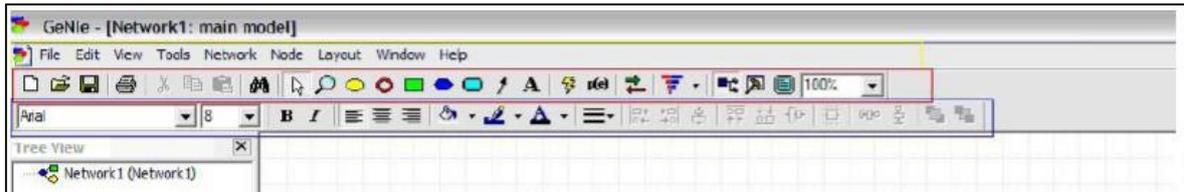


Fig. 5: Barra de herramienta de GeNIe.

Para añadir un arco entre dos nodos, se selecciona el símbolo en la parte superior, y se arrastra desde el nodo inicial al nodo final en la cuadrícula (Moinelo, 2022).

Para el desarrollo del trabajo se propone un objetivo general y se plantea una serie de objetivos específicos que a continuación se describen.

Objetivo General:

Determinar el potencial de producción de biogás de un sistema convencional (Lodos activado) para la obtención de energía y optimización del proceso más crítico en la planta de tratamiento de aguas residuales.

Objetivos Específicos:

- 1- Analizar la energía consumida de las etapas de tratamiento de la planta en estudio.
- 2- Determinar el biogás que se puede obtener mediante la generación de lodos de la planta en estudio.
- 3- Evaluar el uso del ácido paracético (**APA**) para la optimización de los procesos de las plantas de tratamiento de residuales mediante el uso del programa **Genie-Academic**.

Metodología

Para la realización del trabajo se hizo una búsqueda bibliográfica en internet, SCOPUS y en la Biblioteca Online de la Universidad de Alcalá de Henares utilizando palabras claves como: Economías Circular y Aguas de residuales. Con ellas han salidos 966 publicaciones, las mismas se pueden observar en la Fig. 5. Como se puede apreciar a partir del año 2010 las publicaciones se hacen incrementado con respecto al tiempo, donde el pico más alto está en 116 publicaciones en el 2021 y en lo que va del presente año ya se tiene 54 documentos.

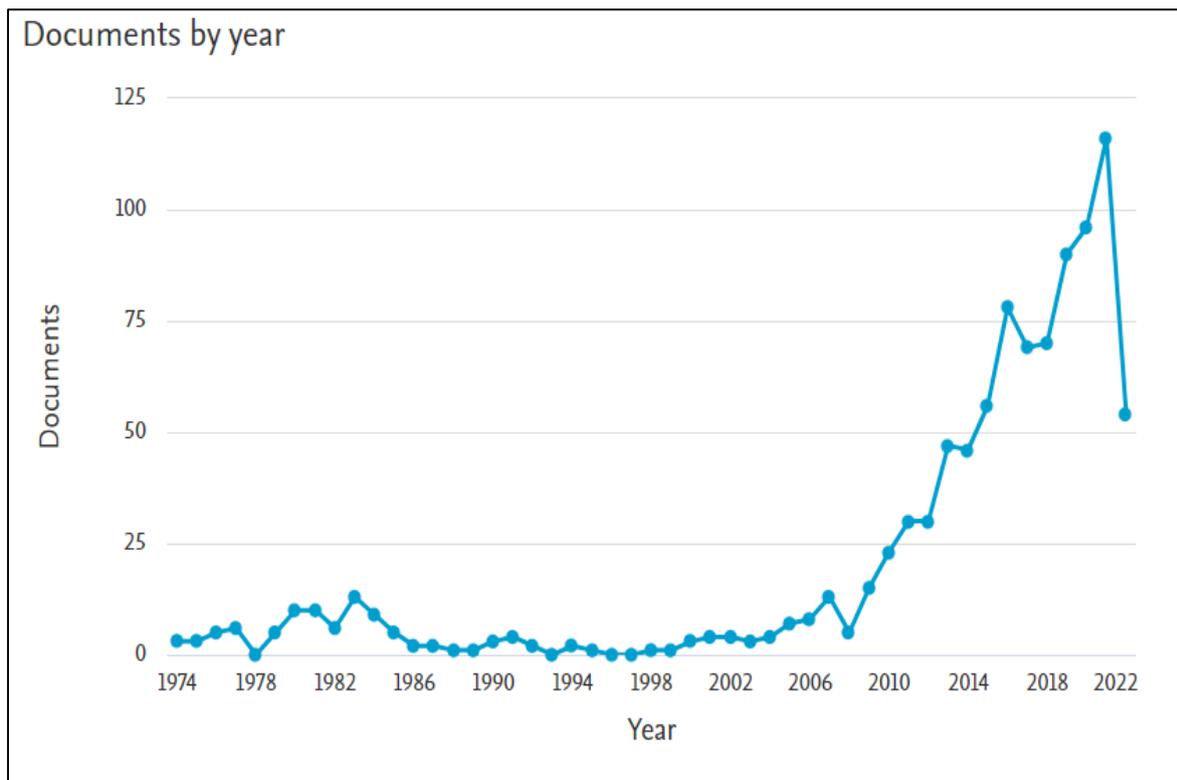


Fig. 6: Distribución en el tiempo de los documentos buscados.

Las plantas de tratamientos de aguas de residuales, al paso del tiempo se han optimizados los procesos para serlo más eficientes, pero se han respetados el principio de funcionamiento de los mismos.

En el presente trabajo se va a evaluar un sistema convencional con aireación extendida de Cuba, cuyos datos para este análisis fueron obtenidos de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado (**EAA**) Aguas Varadero. La EAA cuenta con una infraestructura de saneamiento (**Ver Anexo 1**).

En la Tabla 1 se muestran las características de trabajo de la **EDAR** de Hicaco, que es la planta que se escogió para el estudio del trabajo, ya que en Cuba aún no se

aprovecha el potencial de las aguas residuales y es un buen inicio para fomentar la economía circular en mi país.

Tabla 1: Características de trabajo de la planta de Hicacos.

Característica de la EDAR		
Parámetros	U/M	Valor
Caudal operación	m ³ /d	4335
Hoteles beneficiados	Unidad	10
DBO5	mg/L	250
DQO	mg/L	450



Fig. 7: Planta Hicacos.

En la planta el afluente contiene un promedio de 162,5 mg/l de Sólidos Volátiles (**SV**) y un porcentaje de sedimentación de lodo de un 53 %. Los cálculos para la estimación de energía se realizarán con los lodos generados en la etapa primaria de la planta.

2.1- Consumo energético

La energía que se consume en una planta es fundamental tenerla bien ubicada ya que para una posterior optimización del sistema es necesario actuar sobre los procesos donde se consume una mayor cantidad de energía si es posible. Para este análisis se cuenta con los datos necesario para realizar el análisis energético por cada uno del tratamiento que cuenta la planta en estudio, la misma presenta un consumo mensual de 42416,5 kW-h/mes. Se realizará teniendo en cuenta la capacidad instalada y las horas de funcionamiento de los tratamientos.

2.2- Energía que se puede obtener

La revalorización de los lodos en las estaciones de tratamientos de aguas residuales y utilizar su potencial energético, genera significativos beneficios medioambientales (**López, 2020**). Para la estimación del potencial energético del afluente, solo se va a estimar el potencial que se puede obtener de los lodos generados en la etapa de tratamiento primario, para la estimación del biogás que se puede obtener en la planta y en este trabajo en específico se va a evaluar por los primeros 2 métodos, se puede hacer de diferentes formas, las cuales se proponen a continuación:

2.2.1- Método por cantidad de Sólidos Volátiles (SV)

Para la obtención del volumen de biogás mediante la cantidad de Sólidos Volátiles (SV) se puede estimar considerando la fórmula sugerida por (Berkay, (2007, Noviembre)). En este caso, el criterio que se va a tener en cuenta es que el volumen de biogás producido se encuentra entre 0,75 a 1,12 m³/kg de sólidos volátiles digeridos (López, 2020).

En la EDAR de Hicacos en el residual de entrada contiene 162,5 mg/l de sólidos volátiles (SV) y un porcentaje de sedimentación de lodos del 53 %. Para la estimación del volumen de biogás producido se considera un criterio de 0,8 m³/kg sólidos volátiles. Las ecuaciones que se pueden utilizar son:

$$SV_{AD} = SV_A * Q_{op} \quad \text{(Ec. 1)}$$

Donde:

SV_{AD} : Sólidos Volátil del Afluente diario (mg/día)

SV_A : Sólidos Volátil del Afluente (mg/L)

Q_{op} : Caudal de operación de la planta (L/día)

Luego este valor obtenido se convierte a **kg/día** y luego, se multiplica el resultado por la cantidad de lodos sedimentados explicado en el acápite anterior:

$$SV_S = SV_{AD} * 0,53 \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

SV_S : Sólidos Volátil sedimentados (kg/día)

Tomando en cuenta el criterio mencionado previamente:

$$V_{BP} = SV_S * 0,8 \frac{m^3}{kg\ SV} \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

V_{BP} : Volumen de biogás producido (m³/día).

2.2.2- Método por cantidad de Demanda Química de Oxígeno (DQO)

En este método se establece la producción de biogás se encuentra en el orden de 0,35 m³ de biogás/kg de Demanda Química de Oxígeno (DQO) que contiene el el agua residual a tratar y que puede ser digerido. Por ende , la eficiencia depende de las condiciones ambientales y se le considera del 60% (López, 2020). La EDAR Hicacos presenta en su caudal de entrada una carga contaminante de **437 mg/l de DQO**. Se considerará para el cálculo el criterio de 0,35 m³/kg DQO (López, 2020) y el porcentaje de sedimentación de los lodos de 53 %. Las ecuaciones que se pueden emplear son las siguientes:

$$DQO_{AD} = DQO_A * Q_{op} \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde:

DQO_{AD} : Demanda química de oxígeno del Afluente diario (mg/día)

DQO_A : Demanda química de oxígeno del Afluente (mg/L)

Q_{op} : Caudal de operación de la planta (L/día)

Luego este valor obtenido se convierte a **kg/día** y luego, se multiplica el resultado por la cantidad de lodos sedimentados explicado en el acápite anterior.

$$DQO_S = DQO_{AD} * 0,53 \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde:

DQO_S : Demanda química de oxígeno sedimentado (Kg DQO/día)

Tomando en cuenta el criterio mencionado previamente:

$$V_{BP} = DQO_S * 0,35 \frac{m^3}{kg \text{ DQO}} \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde:

V_{BP} : Volumen de biogás producido (m^3 /día).

2.2.3- Método por población beneficiada

Para la obtención del volumen de biogás mediante se puede estimar mediante las poblaciones beneficiadas. En este criterio, la generación normal en las estaciones de depuración domésticas se encuentra entre 15 a 22 l/persona por beneficiada (López, 2020). La ecuación que se puede emplear es:

$$V_{MD} = P_B * 0,016 \frac{m^3}{día * personas} \quad (\text{Ec. 7})$$

Donde:

V_{MD} : Volumen de CH_4 al día (m^3 /día).

P_B : Personas beneficiadas (**hab**)

2.2.4. Método por cantidad de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)

Mediante este método, se puede calcular la producción de biogás conociendo la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5). Para ello se puede utilizar Biogas Wastewater Assessment Technology Tool v1.0, (BioWATT, por sus siglas en inglés) elaborada por Global Methane Initiative y World Bank Group en 2016, cuyo propósito es proporcionar una evaluación rápida y preliminar de proyectos de producción de energía a partir de aguas residuales basándose en solo dos datos provistos por el usuario (carga hidráulica promedio y concentración de DBO5 promedio). Con ella se puede obtener un resumen específico de estimaciones de producción de biogás, potencial de generación de electricidad a partir del biogás producido y ahorro de Gases de Efecto Invernadero asociadas a la electricidad generada por el biogás (López, 2020).

2.3- Utilización del Ácido paracético:

El ácido peracético (APA) es una mezcla de ácido acético y peróxido de hidrógeno en solución acuosa; es un líquido transparente sin capacidad espumante y con un fuerte olor característico a ácido acético, soluble en agua, alcohol, éter y ácido sulfúrico (Angie Burgos Moreno, 2018).

Con respecto al APA, se puede utilizar, por ejemplo, para aumentar la eficiencia de purificación de un sistema de limpieza de aguas residuales, reducir el olor y producir mejor agua; mejora la nitrificación e impulsa la aireación. También se puede aplicar para la eliminación de biopelículas y el tratamiento de lodos, incluso vinculado a soluciones de energía renovable (Estudio de viabilidad del NewPacs Sistema para Kaliningrado, 2020).

2.3.1- Mejora de la aireación

Otro y tal vez el mayor potencial de ahorro de costos en una EDAR proviene de la mejora de aireación: La inyección de oxígeno que necesitan los microorganismos autóctonos transmitidos por el agua que realizan el tratamiento secundario en los procesos de lodos activados se realiza normalmente soplando aire. El aire presurizado es producido por compresores especiales, que pueden requerir más del 50% de la electricidad necesaria para una EDAR (resultado verificado de la auditoría de Sestroretsk en San Petersburgo, Rusia 2010).

En el presente trabajo el APA se empleará para la optimización de la aireación de las plantas, haciendo uso de la herramienta de estadística Genie-Academic, la misma fue estudiada en el master de Hidrología y Gestión de los Recursos Hídricos para estimar como funcionaría un proceso incorporándole un reactivo, de acuerdo con los datos que proporciona el proveedor del Ácido paracético.

2.4- Utilización del programa GeNle Academic:

La herramienta según el desarrollador, GeNle Academic es una herramienta gratuita para modelar y aprender con redes bayesianas. GeNle permite construir modelos de cualquier tamaño y complejidad, limitados únicamente por la capacidad de la memoria operativa de su computadora. Los modelos desarrollados con GeNle pueden integrarse en cualquier aplicación y ejecutarse en cualquier plataforma informática, utilizando SMILE, que es totalmente portátil.

Para la optimización de la planta se tendrá en cuenta que el ácido paracético donde se va a emplear es en el proceso primario de la EDAR, según en los resultados ya demostrado con el empleo del mismo se reduce del 40-50 % del consumo eléctrico del proceso. Para esto se emplea el programa de GeNIe con la siguiente estructura y los nodos que se utilizan:

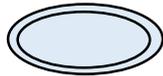
- 1- Un nodo de azar: Que es donde se le va a poner la condición de que si se emplea ácido paracético.



- 2- Un nodo determinístico: Que es va hacer el tratamiento biológico donde se le va a añadir el reactivo y va a tener la condiciones de disminuir o se mantiene.



- 3- Tres nodos de azar: Son los tres tratamientos que influyen en el consumo energético del tratamiento biológico.



- 4- Un nodo de valor: Es donde se va a colocar los consumos energético de la etapa, por cada uno de los tratamientos anteriores y es donde se obtiene el resultado de la energía que se



La etapa primaria de la EDAR presenta un consumo de 927,38 kW-h/ día y solo la aireación consume 763,74 kW-h/día, si se aplica el ácido paracético en esta etapa se reduce el consumo de la misma.

3- Resultados y Discusión

3.1. Energía consumida de las etapas de tratamiento de la planta en estudio.

En la presente grafica se muestran por cada uno de los tratamientos que cuenta la planta en estudio, en la misma como es evidente el mayor consumo está dado a la aireación, ya que para la remoción de la carga contaminante que entra en el afluente es necesario un consumo elevado de oxígeno, pues para obtener un producto con la calidad requerida con vistas a su posterior vertimiento o reutilización, es necesario mantener condiciones de adecuadas para lograr una buena remoción de la carga contaminante, por ello es necesario consumir esta cantidad de energía que representa un 50 % del total. El gasto energético requerido para el tratamiento, depende de tres factores fundamentales; la característica del agua residual, del esquema de tratamiento que se plantee y de la capacidad de la planta.

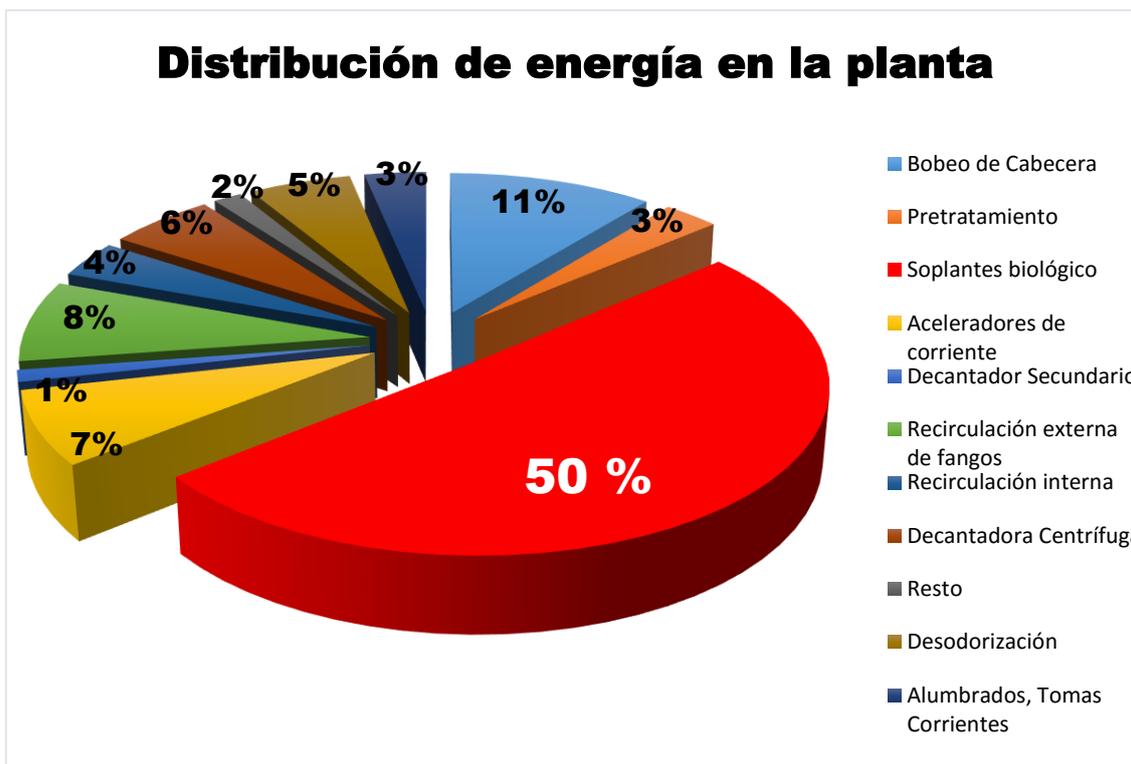


Fig. 8: Distribución de la energía en %.

El otro tratamiento que presenta un consumo a considerar es Bombeo de Cabecera que representa el 11 % de la energía total que se consume, cuya función es elevar el agua para que pase por los distintos tratamientos de la EDAR.

3.2. Energía estimada mediante los métodos de cálculos empleados

En la tabla 2 se muestran los resultados de la cantidad de biogás y potencial energético a partir de los 2 métodos de cálculo empleado y sus respectivos promedios, según (López, 2020), el 6,5 del biogás producido se convierte a potencial energético, del mismo el 40 % se puede aprovechar como energía eléctrica y el 38 % restante como energía térmica para el calentamiento del proceso de digestión anaeróbica.

Tabla 2: Cantidad de biogás y potencial energético.

Métodos de Cálculos	Cantidad de biogás	Potencial energético
	m ³ /día	kWh/día
Método por cantidad de Sólidos Volátiles (SV)	298,68	1941,43664
Método por cantidad de Demanda Química de Oxígeno (DQO)	361,86	2352,11681
Promedio	330,27	2146,78

Con estos resultados, el 40 % de generación de energía eléctrica que pudiera aprovechar la planta equivaldría a **858,71 kW-h/día**, la EDAR presenta un consumo promedio diario de **1398,26 kW-h/día (Ver Anexo 3)** y la energía eléctrica aprovechable representa el 61 % del consumo de la planta al día. Con esta producción se puede remplazar el proceso de aeración del Tratamiento Biológico de la EDAR en estudio y además se puede emplear en la sustitución de un 11 % más de consumo.

3.3. Optimización de la planta mediante el empleo del ácido paracético

Luego de utilizar el programa de GeNIe como se muestra en la Fig. 9, nos arrojó una disminución del consumo energético de 579,612 kW-h/días de un consumo total del proceso de 927,38 kW-h/día, esto representa por concepto energético de 357,77 kW-h/día, que se traduce a un ahorro del 39 % de energía de la etapa.

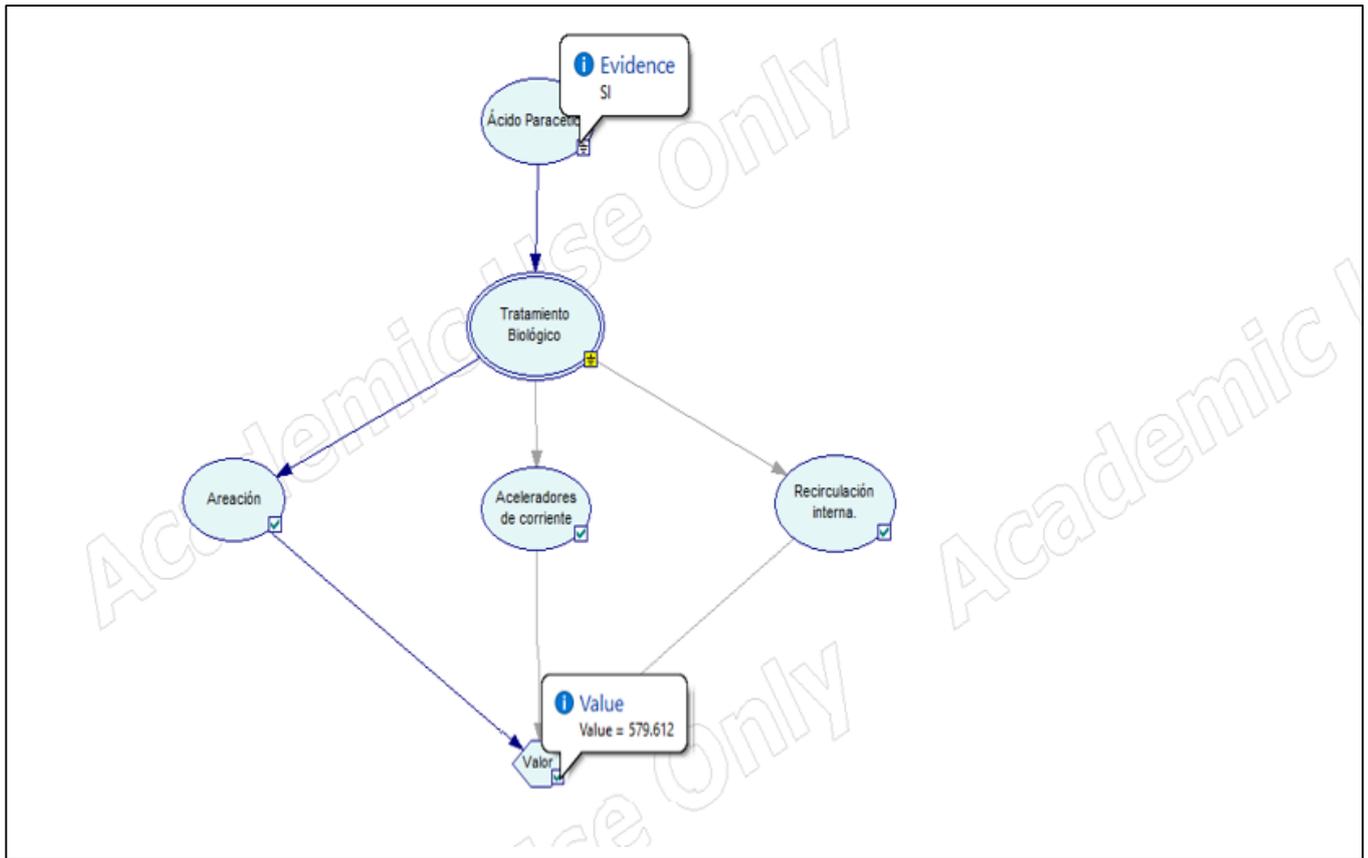


Fig. 9: GeNIe con el empleo del reactivo.

La EDAR tiene un promedio de consumo de 1398,26 kW-h/día, la misma con el tratamiento de los lodos primarios para la obtención de energía presenta una eficiencia de un 61 %, al aplicar el uso del reactivo la misma aumenta a un 83 %, esto quiere decir que solo se necesitaría el 17 % de la energía para el funcionamiento de la misma.

Conclusiones

1. Se llevó a cabo el análisis energético de las etapas de la EDAR en estudio arrojando que la etapa más consumidora de energía es el tratamiento biológico con un consumo de **1065 kW-h/días** que representa el **70 %** del consumo total de la planta, dentro de la misma el proceso con mayor consumo es la aeración con **763,74 kW-h/días** que representa el **50 %** del consumo total de la planta.
2. Se estimó la cantidad de biogás que se puede aprovechar de los lodos primarios mediante los dos métodos propuestos, sólidos volátiles y la demanda química de oxígeno donde se obtuvo **298,68 m³/día** y **361,86 m³/día** respectivamente.
3. Se determinó la cantidad de energía que se pudiera aprovechar del biogás obtenido, arrojando **858,71 kW-h/día** que representa el **61 %** del consumo total de la EDAR.
4. Se evaluó el uso de ácido paracético en el proceso biológico de la planta donde se obtuvo una disminución del consumo diario de **357,77 kW-h/día**, esto representa un **39 %** de la energía que consume el proceso.
5. Con el ahorro que se puede generar el proceso biológico mediante el empleo del reactivo y el aprovechamiento de la energía que se pueden obtener de los lodos primarios la EDAR de un **61 %** aumenta a un **83 %** de eficiencia.

Bibliografía

Bibliografía

- Angie Burgos Moreno, D. T. (2018). *ÁCIDO PERACÉTICO COMO ALTERNATIVA DE DESINFECCIÓN EN EL PROCESO DE POTABILIZACIÓN DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO*. Colombia .
- Bárbara Soriano, A. P. (2016). *El agua en la economía circular: Un análisis de las inversiones europeas en tratamiento de aguas residuales*. Cátedra Aquae de Economía del agua.
- Berktaý, A. &. ((2007, Noviembre)). *Biogas production and utilization potential of wastewater treatment sludge. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*.
- Condorchem envitech. (s.f.). Obtenido de Condorchem envitech:
<https://condorchem.com/es/>
- (2020). *Estudio de viabilidad del NewPacs Sistema para Kaliningrado*. Rusia: Organización móvil de Europa del Norte.
- García, P. L. (2022). *Tratamiento de Aguas.*, (pág. 25). España.
- López, T. P. (2020). *Generación de energía en plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR). El caso de la PTAR zona noreste. Energía de Latinoamérica y el Caribe (enerLAC)*, 22-23.
- Moinelo, A. L. (2022). *Sistemas de ayuda a la decisión en hidrología y gestión de recursos hídricos*. 19. España.
- Pedro I, 2. b. (s.f.). *Mejora y Gestión de Vertidos S.L. YACUTECH*.
- Perry L. McCarty, J. B. (2021). *Domestic Wastewater Treatment as a Net Energy ProducerCan. Environmental Science & Technology*.
- Ramalho, R. (1993). *Tratamiento de aguas residuales*. Ed. Reverté.

Sela, G. (s.f.). *Cropaia*. Obtenido de Cropaia: <https://croipaia.com/es/>

Tito, B. (2020). Tipos de Plantas tratadoras de aguas residuales (para tratamiento).
Ingeniería Ambiental.

Umesh Ghimire, G. S. (2021). Transitioning Wastewater Treatment Plants toward
Circular Economy and Energy Sustainability. *ACS OMEGA*.

UNESCO. (2022). *Cátedra UNESCO de Sostenibilidad*. Obtenido de Cátedra
UNESCO de Sostenibilidad: <https://es.unescosost.org/>

Anexo

Anexo # 1: Infraestructura de Saneamiento de la EAA Aguas Varadero.

Plantas y Lagunas	Caudal de Diseño (m3/día)	Caudal de bombeo agua de reúso (L/seg)	Caudal de entrega de agua de reúso, Mm3/8 horas	Caudal de entrega de agua de reúso, Mm3/12 horas	Disponibilidad anual estimado, Mm3/año
PTAR Hicacos	4335	35	1,008	1,512	367,92
PTAR Chapelin	2160	25	0,72	1,08	262,8
PTAR Las Conchas	2160	25	0,72	1,08	262,8
PTAR Palmeras	1000	35	1,008	1,512	367,92
PTAR Calle K	2160	25	0,72	1,08	262,8
Subtotal	11815	145	4,176	6,264	1524,24
Laguna Tainos II	5917	0	0	0	0
Laguana Oasis	3975	0	0	0	0
Laguna Siguapa	28825	0	0	0	0
Subtotal	38717	0	0	0	0
Total	50532	145	4,176	6,264	1524,24

Anexo # 2: Distribución de la energía en la planta de Hicacos.

Lodos Activados 4335 m3/día					
Descripción	Instalados	Funcionando	Capacidad instalada (kW-h)	Horas	kWh/día
Bobedo de Cabecera	3	2	6,82	24	163,64
Pretratamiento	1	1	7,44	6	44,61
Tratamiento Biológico					
Soplantes biológico	2	1	36,56	21	763,74
Aceleradores de corriente	5	4	4,54	24	109,04
Decantador Secundario	2	2	0,80	22	17,54
Recirculación externa de fangos	3	2	5,46	22	120,08
Recirculación interna	3	2	3,64	15	54,60
Línea de Fangos					
Decantadora Centrífuga	1	1	17,06	5	85,30
Resto	1	1	4,54	5	22,69

Desodorización	1	1	9,09	9	81,82
Alumbrados, Tomas Corrientes	1	1	4,93	10	49,30
Total			100,87		1512,35

Anexo # 3: Consumos de la EDAR en un año.

Mes	kWh/mes	kW-h/día
Enero	46883,00	1512,35
Febrero	51838,00	1851,36
Marzo	45859,00	1479,32
Abril	52875,00	1762,50
Mayo	44203,00	1425,90
Junio	35459,00	1181,97
Julio	35713,00	1152,03
Agosto	42170,00	1360,32
Septiembre	41730,00	1391,00
Octubre	35769,00	1153,84
Noviembre	37992,00	1266,40
Diciembre	38507,00	1242,16
Total Promedio	42416,50	1398,26

Anexo # 4: Registro ADUS OT3I11A8.1: Proporción de la población que dispone de servicios de saneamiento gestionados de manera segura. (Cobertura de acceso al saneamiento).

Provincia	Población	Proporción de la población que utiliza instalaciones mejoradas de saneamiento (excluidas las compartidas)								
		Con servicio Gestionado de manera segura	De ellos con criterios de gestión de manera segura						Servicio Básico	
			Tratadas y eliminadas in situ	Vaciadas y tratadas en instalaciones externas	Alcantarillado y luego tratadas en instalaciones externas	De ellos			Conexiones a alcantarillado	Fosas sépticas vaciadas y no tratadas en instalaciones externas
						Letrinas y Fosa Séptica	Conexiones a alcantarillado y Planta de Tratamiento de Residuales	Conexiones a alcantarillado y otros sistemas de tratamientos		
Hab	Hab	Hab	Hab	Hab	Hab	Hab	Hab	Hab	Hab	
A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I – COBERTURA TOTAL POR PROVINCIAS										
TOTAL NACIONAL	6674821	2984020	1369490	194802	1419728	1564116	72168	1347560	2386335	1304643
PRO	190911	5062	5062	0	0	5062	0	0	171749	14100
ART	126150	10659	3745	0	6914	3745	0	6914	86709	28782
MAR	0									
MYQ	350893	213013	121261	51724	40028	172985		40028	48137	89743
LHA	1474946	795083			795083		68150	726933	679863	
SBH	656090	400943	340621	60322	0	400943	0	0	0	255147

OESTE	3977	1691	1656	35		1691				2286
MTZ	527984	307744	259613	0	48131	259613	0	48131	0	220240
AV	4845	4845	0	0	4845	0	0	4845	0	0
CFG	385685	288617	110141	6730	171746	116871	0	171746	659	96409
VC	327932	128457	105002	0	23455	104826	0	23455	196983	2668
SSP	270628	81082	77652	0	3430	77652	0	3430	91440	98106
CA	217447	70638	10631	2110	57897	12741	0	57897	122638	24171
CC	3076	3076	0	0	3076	0	0	3076		0
CMG	377667	241312	115406	8860	117046	124266	0	117046	12316	124039
LT	149876	35318	29110	2282	3926	31392	0	3926	83097	31461
HLG	303831	32541	23475	0	9066	23475	0	9066	185631	85659
GVC	35948	3693	0	570	3123	570	0	3123	26368	5887
GRM	245468	96828	71297	0	25531	71297	0	25531	64250	84390
SC	538427	37907	37907	0	0	37907	0	0	462319	38201
AT	232102	175060	42481	61564	71015	104045	4018	66997	0	57042
GTM	173696	14260	14260	0	0	14260	0	0	117453	41983
IJ	77243	36190	169	605	35416	774	0	35416	36723	4330

Anexo # 5: Registro ADUS OT2ARUTC Proporción de agua residual urbana que se trata de forma segura (ODS 6.3.1a)

Provincia	ARUTC Línea Base (cierre año anterior)	% ARUTC Línea Base (cierre año anterior)	% ARUTC Plan año	Agua residual urbana generada tratada certificada (ARUTC)				Agua residual urbana generada	Agua residual urbana generada tratada de forma segura (ARUTC)	Proporción de agua residual urbana que se trata de forma segura	Por ciento de Cumplimiento
				Generadas in situ		Provenientes del alcantarillado por tipo de sistema de depuración					
				Provenientes de fosas sépticas y disposición final	Transportadas a STR certificados	con PTR	con otros sist. Tratamientos (lagunas, etc.)				
1	2	3	10	11	12	13	14=5+7	15=10+11+12+13	16=15/14	17=16/4*100	
Unidad de Medida	(hm ³)	(%)	(%)	(hm ³)	(hm ³)	(hm ³)	(hm ³)	(hm ³)	(hm ³)	(%)	(%)
PRO	3,317	13,72	14,54	2,840	0,000	0,000	0,000	20,702	2,840	13,72	100,00
ART	2,973	8,63	9,46	3,017	0,000	0,000	0,276	29,972	3,293	10,99	116,14
MAR	0,116	23,07	46,60	0,000	0,000	0,043	0,000	0,068	0,043	63,20	135,62
MYQ	15,610	37,46	39,70	12,907	0,014	0,000	5,997	39,786	18,918	47,55	119,77
LHA	101,881	49,33	51,34	87,943	0,084	17,266	31,430	241,000	136,723	56,73	110,50
OESTE	0,152	12,88	13,95	0,406	0,000	0,000	0,038	1,109	0,444	40,01	286,85
MTZ	20,335	63,84	65,00	11,240	0,000	0,000	1,769	25,509	13,008	51,00	99,99
AV	7,467	72,59	74,46	0,000	0,000	0,598	3,373	6,619	3,972	60,00	80,58
CFG	12,609	39,47	41,20	3,031	0,018	0,000	2,113	31,995	5,163	16,14	99,97
VC	5,577	15,07	27,77	9,346	0,000	0,000	1,197	31,793	10,543	33,162	119,42

CSM	0,958	100,00	100,00	0,000	0,000	0,374	0,000	0,374	0,374	100,00	100,00
SSP	17,133	33,25	35,40	8,083	0,000	0,000	0,117	25,439	8,200	32,23	97,08
CA	7,566	28,22	42,20	3,759	0,001	0,000	5,982	20,348	9,742	47,88	113,45
CC	1,520	72,62	72,60	0,000	0,000	0,399	0,471	1,209	0,870	71,97	99,13
CMG	19,543	43,78	45,50	11,217	0,054	0,000	2,428	37,127	13,699	36,90	99,72
LT	1,424	9,30	10,50	1,839	0,002	0,000	0,157	5,362	1,999	37,27	354,97
HLG	3,759	14,49	20,10	1,986	0,000	0,000	1,364	27,261	3,350	12,29	99,89
GVC	0,156	3,23	6,70	0,000	0,001	0,000	0,249	1,896	0,250	13,16	196,33
GRM	15,402	48,38	50,00	8,122	0,000	0,000	1,768	24,320	9,890	40,67	97,29
SC	6,272	17,20	18,20	3,574	0,000	0,000	0,000	31,111	3,574	11,49	99,98
AT	4,249	24,37	34,00	4,960	0,051	0,087	0,367	16,104	5,466	33,94	99,82
GTM	4,891	17,34	18,00	3,416	0,000	0,000	0,000	18,079	3,416	18,90	104,98
IJ	1,293	18,64	39,90	0,705	0,003	0,000	2,106	3,592	2,814	78,33	196,31
TOTAL	254,203	35,672	37,50	178,389	0,229	18,768	61,203	640,775	258,588	40,36	107,61