



## Desarrollo de un proceso para obtener biogás mediante el aprovechamiento de residuos de fibras textiles

### Development of a process to obtain biogas by reusing textile fiber waste

Gonzalo R. Núñez-Urday, James O'Brien-Ramos, Diego J. Córdova-Zúñiga, Maria F. Zúñiga-Núñez\*, José A. Aguilar-Franco

Universidad Católica San Pablo, Arequipa, Perú.

\*mfzuniga@ucsp.edu.pe

(recibido/received: 04-agosto-2023; aceptado/accepted: 18-noviembre-2023)

#### RESUMEN

Un proceso sostenible fue diseñado y desarrollado para la generación de energía renovable a través de fibra natural residual del proceso de hilatura. Actualmente, las empresas del sector textil en Arequipa no realizan una gestión responsable de los residuos sólidos que se generan en el proceso de hilatura para la fabricación de prendas de vestir, éste tipo de empresas no tiene procedimientos adecuados de disposición, por lo que la mayoría de éstos residuos terminan en basureros municipales generando costos logísticos para su correcta disposición o simplemente siendo quemados a cielo abierto generando agentes contaminantes como dióxido de carbono y metano, lo que provocan un impacto negativo en el medio ambiente. Luego de realizar un diagnóstico situacional y de analizar diversos casos de éxito recopilados sobre el uso fibra textil y su efecto sobre la obtención de energías renovables, se diseñó un proceso dividido en dos unidades: la primera unidad de pre-tratamiento abarca desde la preparación del medio de cultivo hasta la recolección de fibra textil residual de alpaca y lana de oveja; y la segunda unidad de tratamiento, que abarca desde la inoculación del digester hasta la obtención del biogás/biol. Finalmente, este proceso fue validado mediante un modelamiento en el software de ingeniería Visio Process Simulator considerando diversos escenarios de variabilidad. Los resultados preliminares arrojan que la propuesta es viable tanto técnica como económicamente debido a que la fibra textil posee un gran potencial energético con el cual se puede obtener biogás a través de un proceso eco amigable mediante el uso de biodigestores a través de digestión anaeróbica.

**Palabras claves:** biogás, digestión anaeróbica, fibras textiles, energía renovable, simulador de procesos, proceso de hilatura.

#### ABSTRACT

A sustainable process was designed and developed for the generation of renewable energy through residual natural fiber from the spinning process. Currently, companies in the textile sector in Arequipa do not responsibly manage the solid waste generated in the spinning process for the manufacture of garments; these companies do not have adequate disposal procedures, so most of this waste ends up in municipal landfills, generating logistical costs for proper disposal or simply being burned in the open air, generating pollutants such as carbon dioxide and methane, which have a negative impact on the environment. After carrying out a situational diagnosis and analyzing several success cases collected on the use of textile fiber and its effect

on obtaining renewable energies, a process divided into two units was designed: the first pre-treatment unit covers from the preparation of the culture medium to the collection of residual textile fiber from alpaca and sheep wool; and the second treatment unit, which covers from the inoculation of the digester to obtaining biogas/biol. Finally, this process was validated by means of a modeling in the Visio Process Simulator engineering software, considering different variability scenarios. Preliminary results show that the proposal is viable both technically and economically because the textile fiber has a great energy potential with which biogas can be obtained through an eco-friendly process using biodigesters through anaerobic digestion.

**Keywords:** biogas, anaerobic digestion, textile fibers, renewable energy, process simulator, spinning process.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la Conferencia sobre Comercio y Desarrollo se indicó que la industria textil es el segundo sector más contaminante del mundo; ya que anualmente desechan en el mar medio millón de toneladas de microfibra textil, equivalente a 3 millones de barriles de petróleo (ONU, 2019). El sector textil, en el proceso de elaboración de prendas textiles, utiliza como materia prima fibras naturales de camélidos sudamericanos como alpaca, vicuña, guanaco y lana de oveja; que pueden llegar a representar el 75% del costo total de producción según el estudio que realizó (Vilchez, 2018). La materia prima ingresa a la operación de hilatura para obtener fibra natural, en esta etapa se introduce las fibras en cardas que por acción de un cilindro dentado son desgarradas y forman una especie de velo; según el análisis de (Cornejo, 2020), las impurezas provenientes de la fibra (residuos sólidos) se almacenan en unos depósitos ubicados en la parte inferior de las cardas, para luego disponerlas en basureros municipales o simplemente quemarlas a cielo abierto emitiendo gases tóxicos que producen un impacto negativo para el medio ambiente.

Por otro lado, según (Parada y Pelupessy, 2006) la mayoría de los procesos de la industria textil producen desperdicios sólidos que son mezclados con la basura afectando la fertilización de los suelos, de hecho, “las descomposiciones de los residuos sólidos liberan gases como el dióxido de carbono que son altamente tóxicos y que generan el calentamiento global” según (Ministerio del Ambiente, 2016). Una empresa textil arequipeña para el presente estudio puede generar 4000 kg de residuos mensuales en la operación de hilatura y de acuerdo a la ley general de manejo de residuos sólidos N° 27314 cada compañía se ve obligada a gestionar de forma correcta sus residuos y al no tener un proceso que permita su aprovechamiento ni su reúso, debe disponer de los servicios de una tercera empresa que se encargue de su recojo y disposición; incurriendo en gastos administrativos y operativos para el doméstico o el sector industrial, acopio, transporte y entrega de los residuos a la empresa prestadora de servicios. Adicionalmente, se ha identificado que el proceso productivo mensual de una empresa textil, ya sea para el funcionamiento de su maquinaria o calderas, consume distintos tipos de combustibles fósiles como: 267 gl diésel, 64000 gl petróleo, 48000 gl de GLP y 120000 m<sup>3</sup> de gas natural; los cuales representan un costo importante para la empresa.

Diversos trabajos de investigación respaldan el desarrollo de un proceso sostenible para la generación de biocombustibles, tal es el caso del artículo elaborado por (Kabir *et al.*, 2015) sobre la digestión anaeróbica en residuos textiles, específicamente en lana y paja de trigo; afirmaron que éstos dos componentes son de alto potencial para el proceso de digestión anaeróbica debido a que son residuos muy comunes en todo el mundo y poseen un bajo nivel de humedad. Cabe resaltar que (Heine y Höcker, 1995) en una investigación sobre las propiedades de la lana indicaron que ésta contiene 97% de queratina con alto nivel proteico que es una fuente potencial de biomasa para la producción de biocombustibles. La metodología aplicada por (Kabir *et al.*, 2015) inició con la recolección de muestras de lana y paja de trigo de una empresa sueca, a continuación, se trituró la materia prima y se almacenó en un ambiente separado. Se determinó la cantidad de metano usando digestión anaeróbica por lotes y fue mezclada a través de un inóculo y agua desionizada con una relación de 2:1 obteniendo finalmente un sustrato de alto contenido de metano. En el estudio realizado por (Saravanan *et al.*, 2009) se determinó que los residuos de algodón pueden utilizarse para la generación de biogás, igualmente estableció que si el algodón contiene de 5 a 7.5% de material de siembra

como estiércol de vaca o estiércol de cerdo y se eleva la mezcla a 30°C puede generar biogás de forma continua y de alto rendimiento (alrededor del 77% de metano) en comparación a otras técnicas que alcanzan un 60% de metano. Finalmente hacen referencia a que el biogás embotellado obtenido es capaz de utilizarse como combustible dual en los automóviles equipados con motores CI para reducir el consumo de combustibles fósiles.

Por otro lado, hay investigaciones como las de (Menéndez *et al.*, 2010) en las cuales se utilizó algodón como sustrato en la comparación de la efectividad del pretratamiento y dos residuos textiles en el estudio de convertibilidad a etanol. Todos fueron almacenados a temperatura ambiente hasta ser pretratados. El contenido de humedad fue determinado mediante el secado de una pequeña muestra a 110 °C durante 12 h y el contenido de celulosa, según un método estándar y luego de pasar por los procesos de fermentación, hidrólisis enzimática y sacarificación se obtuvo como resultado que Las condiciones del pretratamiento alcalino fueron más efectivas sobre el algodón, dado que el rendimiento alcanzado en la hidrólisis enzimática para este sustrato fue un 20,35 % mayor que para TEP, sin embargo los autores refieren que es necesario tener en cuenta que los resultados anteriores deben ser evaluados en variabilidad con el fin de mejorar los rendimientos, lo cual incidiría favorablemente desde el punto de vista económico. Asimismo se ha encontrado evidencia de este reaprovechamiento de éstos residuos en la investigación de (Jeihanipour, 2011) donde se evidencia que la pelusa de algodón y los residuos textiles de tejanos fueron convertidos en etanol por sacarificación semi-simultáneo y fermentación (SSSF), utilizando *S. cerevisiae* con un rendimiento del orden de 0,14 g etanol/g textil, sólo el 25% del rendimiento teórico, de ésta manera se requería un proceso de pretratamiento y, por lo tanto, se examinaron varios métodos. Los pretratamientos alcalinos mejoraron significativamente el rendimiento del hidrólisis y la posterior producción de etanol, siendo la condición más eficaz el tratamiento con una solución de NaOH al 12 % a 0 °C, aumentando el rendimiento a 0,48 g de etanol/g de tejido (85 % del rendimiento teórico). Cabe resaltar que el pretratamiento demostró ser de gran ventaja, ya que proporcionó un método para disolver y luego recuperar la celulosa. Aunado a ello, se desarrolló, perfeccionó y verificó un proceso novedoso mediante la prueba de textiles mezclados con poliéster/celulosa, que predominan los textiles de desecho. Los poliésteres se purificaron como fibras después de los tratamientos con N-metilmorfolina-N-óxido (NMMO) y se regeneró hasta el 95% del contenido de celulosa que optimizó la generación de etanol y biogás.

En el ámbito nacional se ha encontrado investigaciones como la de (Salamanca, 2019), quien realizó una investigación académica en la Universidad Católica Santa María con participación de la empresa Inca Tops S.A ubicadas ambas en la ciudad de Arequipa, la cual tenía como objetivo principal la obtención de biogás a partir de la digestión anaeróbica de bacterias existentes en los residuos textiles de alpaca y lana de oveja utilizando reactores de digestión anaeróbica seca para determinar la cantidad y la composición de biogás obtenido, midiendo el volumen de metano, dióxido de carbono, agua y oxígeno producto del proceso. Para ello, en dicha investigación se recolectó materia prima residual en la etapa de hilatura y se clasificó para posteriormente se estudie en laboratorio. Luego de ello se prepararon las muestras en soluciones determinadas para analizar los microorganismos que crecieron en ausencia de oxígeno, más adelante se tuvo que verificar las condiciones adecuadas del medio, así como la selección de microorganismos capaces de producir biogás, cabe resaltar que para hacer un contraste de información cuantitativa se realizaron pruebas de la micro fibra textil obtenida para determinar qué factores podrían perjudicar la producción de biogás.

Considerando los puntos mencionados, se identifica el desaprovechamiento energético de las fibras residuales de la etapa de hilatura para su uso potencial en procesos complementarios de una empresa textil. Frente a esta situación, surge la oportunidad de aprovechar estos residuos como fuente energética eco amigable, representando un ahorro potencial en lo que respecta a gastos en fuentes de energía, generando un modelo replicable y ambientalmente responsable. Es por esto que el presente trabajo de investigación tiene como objetivo el desarrollo de un proceso sostenible de digestión anaeróbica que permita el aprovechamiento de fibra textil residual para la generación de biogás, en donde el sistema propuesto pueda medir parámetros como el potencial de hidrógeno, porcentaje de sólidos, material volátil y humedad de la fibra.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. Material estudiado

Debido a la representatividad de la fibra de alpaca y lana de oveja en el proceso de hilatura se realizará el estudio considerando los dos tipos de fibra:

Tabla 1. Representatividad del residuo textil según el tipo de fibra

Tipo de fibra textil	Cantidad generada (kg)	Representatividad
Alpaca	1920	0.6
Lana de oveja	640	0.2
Total	2560	

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

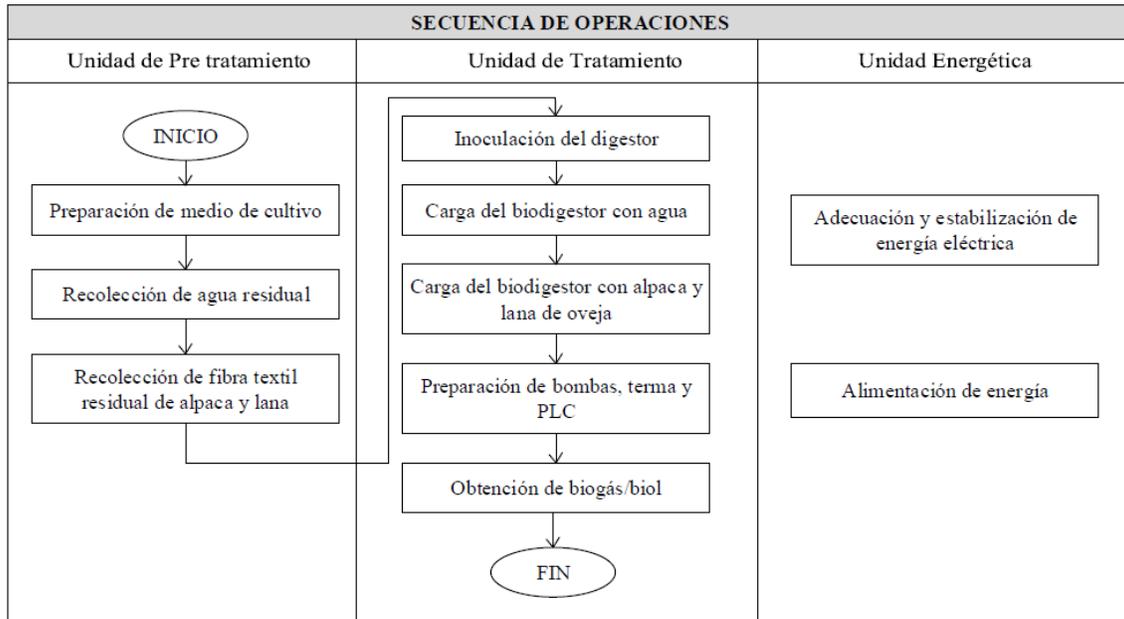
Figura 1. Fibra textil residual de alpaca y lana de oveja

Para la presente investigación se tomó como principal referencia las investigaciones de (Munive, 2019, Salamanca, 2019), autores que en sus investigaciones obtuvieron biogás a partir de un proceso de digestión anaeróbica seca utilizando fibra de alpaca y lana de oveja como biomasa por medio de un procedimiento experimental en laboratorio. El modelo experimental diseñado y los parámetros considerados a partir de las investigaciones previas fueron los siguientes:

- La producción en el birreactor es por lotes, es decir, se alimenta el digestor con la fibra textil y luego se retira la fibra por completo.
- El proceso se llevó a cabo en una etapa, es decir que todas las etapas del proceso de digestión anaeróbica ocurren en una cámara bajo las mismas condiciones. Se realizó de esta manera debido a que al utilizar 2 etapas resultaba muy costoso ya que se producen toneladas de residuos sólidos.
- Se trabajó con una temperatura de 24°C la cual hace posible el crecimiento del inóculo, temperaturas muy bajas disminuyen la velocidad de degradación y temperaturas muy altas podrían dañar el inóculo.
- Se ubicó un aspersor inclinado para una correcta circulación del influente sin restricciones. Se usó una rejilla de 0.5 centímetro de diámetro para que no haya problemas de taponamiento.
- La relación entre la altura y el diámetro del vessel fue de 1.5 debido a que con esta configuración el TRG es menor y facilita la generación del biogás.

## 2.2. Diseño del procedimiento experimental

Con las consideraciones mencionadas, se diseñó y calculó un sistema de digestión anaeróbica compuesta por cinco biodigestores de 250 L de capacidad en los cuales se aprovecharán 500 kg de fibra textil residual de alpaca y lana de oveja cada 60 días. En la figura 2 se muestra un esquema operacional, el cual considera las partes importantes para la obtención de biogás por medio del tratamiento de fibra textil residual proveniente del área de hilatura, agregando también actividades y componentes para la obtención del biocombustible de manera eficiente.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2. Secuencia del procedimiento experimental

Como parte del procedimiento experimental, se presentó la secuencia de actividades para generar biocombustible, en este caso el biogás y el subproducto obtenido del proceso conocido como biol. Para ello, previamente se llevaron a cabo los análisis de composición de la biomasa (fibra textil residual de alpaca y la lana de oveja) para determinar parámetros importantes como el potencial de hidrógeno, porcentaje de sólidos, material volátil y humedad de la fibra. En base a estos parámetros tomados de investigaciones validadas, se pudo hacer el cálculo y escalamiento del sistema propuesto. Así mismo se realizó a nivel laboratorio un análisis del influente, el mismo a utilizar para el modelamiento, el cual es el agua residual resultante de los procesos. Cabe destacar que es importante verificar que el agua no perjudique la obtención de biogás, es por ello que se realizó una comparación y se obtuvieron valores inhibidores bajos que no afectan a la producción de biogás. Luego de analizar la fibra textil y el agua residual a utilizar, se procede a juntar la cantidad de residuos establecidos para ser transportados al área de operación como también el agua residual a utilizar en los reactores.

Los reactores del sistema tienen la capacidad de tratar 100 kg de residuos de fibra textil de alpaca y lana de oveja, así como la cantidad de impurezas como tierra, pajas, tallos, entre otras composiciones. Es importante determinar el medio de cultivo para el crecimiento de bacterias o degradación de los desechos de fibra textil dentro del reactor para que los tiempos de generación de biogás sean menores, con la finalidad de optimizar el proceso y aumentar la generación de metano.

Según el procedimiento experimental y los resultados obtenidos, se utilizarán inóculos para hongos y bacterias ya que con estos medios de cultivo se obtuvo el porcentaje de metano más alto.

- a) Preparación del inóculo: Inicialmente se preparan los medios de cultivo para hongos y bacterias desde los cuales se inoculará el biodigestor. Se prepara caldo tioglicolato para el crecimiento de bacterias y caldo papa dextrosa para el crecimiento hongos y posteriormente estos serán dosificados en recipientes para luego ser colocados en los reactores. Para la preparación de los caldos de cultivo, los caldos preparados deben ser esterilizados en autoclave durante 15 minutos a 120 grados a una presión de 1.5 atm y una vez que se inoculen los medios con los hongos y bacterias, se añade vaselina líquida esterilizada para que cubra la superficie, asegurando el crecimiento de hongos y bacterias anaerobias. Los frascos con caldo tioglicolato se incubaron por 3 días a 37 °C y los frascos con caldo papa dextrosa serán incubados durante 15 días a temperatura ambiente. Cabe resaltar que estos procedimientos son realizados en el laboratorio químico de la empresa en estudio.
- b) Puesta en marcha: Para iniciar el proceso de digestión anaeróbica seca, se debe colocar 100 kg de fibra textil residual dentro de cada reactor previamente inoculado. El sustrato debe ser mezclado previamente con 31.5 L agua residual abastecida por el proceso de lavado de fibras que se suministrará al sistema. Luego, se debe cerrar completamente el digestor verificando que no exista ningún tipo de fuga siendo un entorno anaeróbico. De igual manera, se deja durante 60 días para obtener los resultados e inicia la recirculación del influente la segunda semana después de poner en marcha el reactor. El proceso para ser controlado utiliza un PLC para controlar parámetros de temperatura y potencial de hidrógeno, se incorpora un dispositivo de precisión compuesto por un circuito integrado para controlar la temperatura en el sistema y para el PH se incorpora un sensor para la medición de potencial de hidrógeno. Por medio del controlador lógico programable, se podrán mandar señales para la recirculación del agua de calentamiento y del influente por medio de las bombas de agua y de pecera.

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

De acuerdo a la evaluación desarrollada para el diseño y desarrollo de un proceso sostenible para la generación de biocombustibles a través del aprovechamiento de fibra natural proveniente del proceso de hilatura de empresas textiles, se alcanzaron los siguientes resultados:

- Actualmente la empresa consume 40 galones mensuales de GLP destinados para el funcionamiento de las cocinas del comedor de trabajadores, incurriendo en un costo mensual alto. Según el análisis realizado, con el proceso de digestión anaeróbica se estima obtener 620 L de biometano cada 60 días, los cuales después de un tratamiento podrían ser utilizados para abastecer las cocinas del comedor de trabajadores brindando suministro de biogás, obteniendo un costo por litro de biogás menor al del combustible fósil convencional utilizado actualmente, teniendo un ahorro mucho menor frente al costo regular del GLP, no obstante, el producto obtenido tiene menor rendimiento. Por otro lado, el subproducto de la digestión anaeróbica (biol), utilizado como fertilizante orgánico puede ser vendido en el mercado, haciendo que este modelo presentado sea sostenible económicamente, sin incrementar los costos operativos de la planta.
- Para el proceso de obtención de biogás se utilizaron entradas de fibra textil residual, agua e inóculo y se obtuvieron los resultados de biogás y biol obtenidos por la simulación. En la Tabla 1 se muestran los valores teóricos recopilados de bibliografía y casos de éxito; y en comparación se muestran los resultados obtenidos por el programa de modelamiento Visio Process Simulator.

Tabla 2. Datos teóricos obtenidos vs datos en Process Simulator

Componente	Calculado según diseño	Process Simulator
Fibra textil	515	513.94
Agua	297.3	292.68
Inóculo	10	9.98
Biogás	620	612.6
Biol	175.5	171.7

Fuente: Elaboración propia

La simulación realizada se llevó a cabo promediando 10 réplicas en las cuales se obtuvo un promedio de ellas. A continuación, podemos observar una tabla resumen de la simulación.

Variable Resumen (Prom. Repts)							
Réplica	Nombre	Total Cambios	Tiempo Por cambio Promedio (Day)	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Actual	Valor Promedio
Avg	AGUA	6.00	0.02	0.00	293.00	293.00	292.68
Avg	FIBRA TEXTIL	5.00	0.03	0.00	515.00	515.00	513.94
Avg	INOCULO	5.00	0.03	0.00	10.00	10.00	9.98
Avg	BIOGAS	5.00	12.03	0.00	612.60	612.60	3.37
Avg	BIOL	5.00	12.03	0.00	171.70	171.70	0.95
Avg	vTiempoDeCiclo ENTIDAD	6.00	10.03	22.46	86,672.30	86,672.30	72,220.25

Fuente: Visio Process Simulator

Figura 3. Cuadro resumen del promedio de resultados

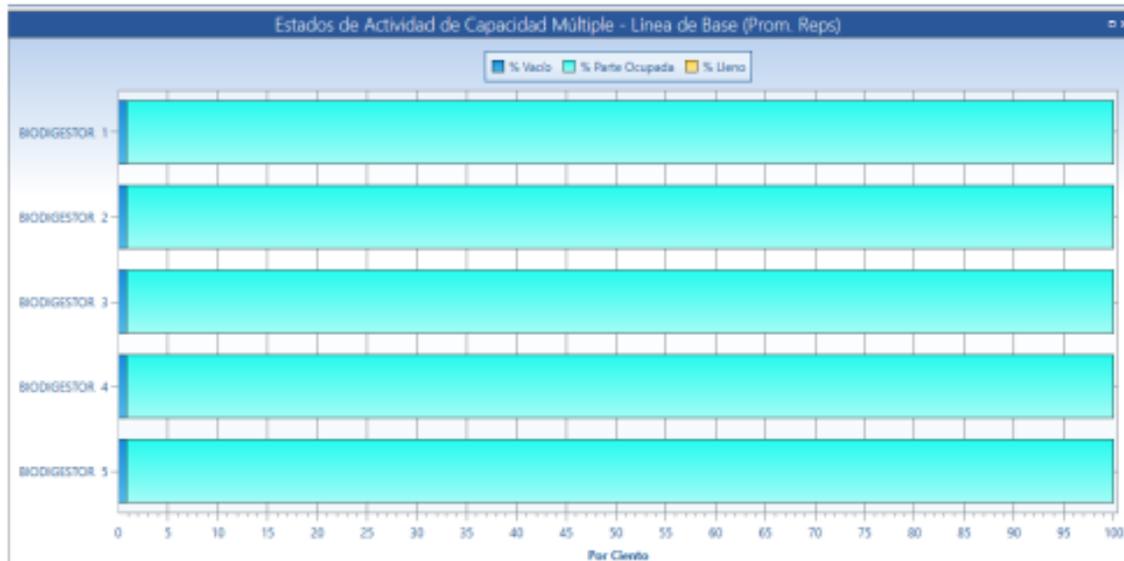
Así mismo podemos observar que el tiempo de ciclo fue de 60.19 días. En la siguiente figura podemos visualizar el resumen de las variables utilizadas para simular el proceso. Se utilizaron las unidades (litros) para visualizar la cantidad utilizada por cada componente de entrada y de salida.



Fuente: Visio Process Simulator

Figura 4. Promedio de resultados obtenidos en Process Simulator

La presente propuesta permitió diseñar un sistema sostenible en el cual todos los recursos utilizados sean aprovechados al máximo, es por ello que todos estos recursos son resultantes de los procesos de la empresa en estudio. La fibra textil es aprovechada de la etapa de hilatura, el agua residual utilizada proviene de procesos complementarios propios de la organización, así mismo el medio de cultivo representa un costo mínimo ya que la inoculación se realizará en los laboratorios químicos de la empresa y es producido con productos naturales y aditivos químicos que no representan un mayor costo. En la siguiente figura podemos observar la utilización de los 5 biodigestores, los cuales son usados en un 99.17 % del total del tiempo de digestión. El resto del tiempo de inutilización corresponde a la carga y descarga del digestor, el cual representa el 0.83 % del total del tiempo.



Fuente: Visio Process Simulator

Figura 5. Utilización de biodigestores

#### 4. CONCLUSIONES

- Se desarrolló un proceso de digestión anaeróbica eco amigable, a través del levantamiento del estado del arte, en el cual se evidenció operaciones básicas para obtener biogás, teniendo esta base se logró obtener un sistema compuesto por 5 biodigestores con capacidad de 250 L cada uno, a través del aprovechamiento de fibra natural proveniente del proceso de hilatura en la actual empresa de estudio.
- Tomando en análisis bibliográfico de casos de éxito expuestos anteriormente y aunado a ésta investigación se concluye que la fibra textil residual tiene un gran potencial energético con el cual se pueden obtener biocombustibles utilizando un proceso de digestión anaeróbica seca, reduciendo el impacto ambiental generado por la disposición de residuos sólidos textiles de fibra de alpaca y lana de oveja en el reemplazo de fósiles convencionales que conllevan a un impacto negativo en el medio ambiente.
- El sistema que se desarrolló cuenta con una capacidad para tratar 500 kg que representa el 19.5 % de fibra textil residual y de ésta manera obtener 620 L de biogás capaces de abastecer el requerimiento de energía para el funcionamiento de las cocinas del servicio de comedor de trabajadores en la empresa.
- La ejecución de la presente investigación ha demostrado que el modelo es viable técnicamente, lo que conlleva a obtener un beneficio económico debido a un bajo costo de inversión el cual puede ser financiado y asumido por la empresa.

## 5. REFERENCIAS

Cornejo, S. (2020). *Gestión de desechos sólidos en una empresa textil alpaquera para reducir el impacto ambiental - Arequipa 2018-2019*. Arequipa, Perú: Universidad Continental.

Heine y Höcker. (1995). *Enzyme treatment for wool and cotton, review of progress in Coloration*. Alemania: Alemania Journal.

Jeihanipour, A. (2011). *Waste textiles bioprocessing to ethanol and biogas*. Göteborg: Department of Chemical and Biological Engineering, Chalmers University of Technology.

Kabir, M., Taherzadeh, M., y Horváth, I. (2015). "Dry anaerobic digestion of lignocellulosic and protein residues". *Biofuel Research Journal*, 309-316.

Menéndez, Z., Jeihanipour, A., Taherzadeh, M., y Zumala, L. (2010). *Posibilidad de aprovechamiento de residuos textiles*. La Habana, Cuba: Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría".

Ministerio del Ambiente. (Octubre de 2016). Obtenido de Ministerio del Ambiente: <http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/1584.pdf>

Munive, C. A. (2019). *Construcción y Evaluación de un Reactor de Digestión Anaeróbica Seca (DAS) para la Degradación de Residuos Sólidos Procedentes de la Industria Textil Mediante Cepas Fúngicas Queratinolíticas*. Arequipa, Perú: Universidad Católica de Santa María.

ONU, N. (12 de Abril de 2019). El costo ambiental de estar a la moda. *NOTICIAS ONU*, pág. 2.

Parada, Á., y Pelupessy, W. (2006). Los efectos ambientales de la cadena global de prendas de vestir en Costa Rica. *Revista iberoamericana de economía ecológica*, 63-79.

Salamanca, M. A. (2019). *Aislamiento, Caracterización e Identificación de Cepas Nativas de Residuos Generados en el Procesamiento de Lana de Oveja y Fibra de Alpaca para Producción de Biogás en un Reactor de Digestión Anaeróbica Seca (DAS)*. Arequipa, Perú: Universidad Católica Santa María.

Saravanan, C., Sendilvelan, S., Arul, S., y Raj, C. (2009). Bio Gas from Textile Cotton Waste - An Alternate Fuel for Diesel Engines. *The Open Waste Management Journal*, 5-18.

Vilchez, G. (2018). *Análisis y determinación de los factores que generan mermas en las áreas de confección de tejido plano y tejido punto y propuesta de alternativa de mejora en una empresa textil alpaquera*. Arequipa, Perú: Universidad Católica San Pablo.

## SEMBLANZA DE LOS AUTORES



**José Alberto Aguilar Franco:** Obtuvo el grado de Ingeniero Industrial en la Universidad Católica San Pablo, Perú, donde actualmente es profesor titular, además de Ingeniero de Investigación del Programa de Iniciación Científica, formulador de proyectos y Coordinador General del Instituto de Energía y Medio Ambiente de la Universidad Católica San Pablo. Desarrolló sus estudios de Maestría en la Pontificia Universidad Católica de Río de Janeiro (PUC – Río) y Universidad Nacional de San Agustín, Perú (UNSA). Ha desarrollado una estancia de Investigación en Italia para Capacitación en Uso de Maquinarias Ecológicas. Cuenta con experiencia como asesor de Tesis, además trabaja como Formador de Proyectos bajo la modalidad de concurso a nivel Nacional en proyectos de Investigación e Innovación convocadas por el Estado Peruano.



**María Fernanda Zúñiga Núñez:** Ingeniero Industrial por la Universidad Católica San Pablo, Arequipa, Perú. Actualmente se encuentra estudiando para obtener el grado académico de magister con en Ingeniería de Proyectos en la Universidad Nacional de San Agustín (UNSA), Arequipa, Perú. Actualmente viene laborando en el Instituto de Ingeniería Energía y Medio Ambiente (IEM) de la Universidad Católica San Pablo.



**James O'Brien Ramos:** Ingeniero Industrial por la Universidad Católica San Pablo, Arequipa, Perú. Se desempeña como Analista de Almacén en la empresa Alicorp.



**Gonzalo Núñez Urday:** Ingeniero Industrial por la Universidad Católica San Pablo, Arequipa, Perú.



**Diego Córdova Zúñiga:** Bachiller en Ingeniería Industrial por la Universidad Católica San Pablo, Arequipa, Perú.