

# Informe de tesis al 100%\_EF.pdf

*by* Alexander Quiñones Gabino

---

**Submission date:** 14-Jun-2024 05:32PM (UTC-0500)

**Submission ID:** 2402668536

**File name:** Informe\_de\_tesis\_al\_100\_\_EF.pdf (2.11M)

**Word count:** 31733

**Character count:** 154084

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**



**Propuesta de instalación de una planta productora de bioplásticos a partir de los residuos orgánicos generados en el distrito de Lambayeque**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO INDUSTRIAL**

**AUTOR**

**Jheyson Alexander Quiñones Gabino**

**ASESOR**

**Maximiliano Rodolfo Arroyo Ulloa**

[0000-0002-6066-6299](mailto:0000-0002-6066-6299)

**Chiclayo, 2024**

**Propuesta de instalación de una planta productora de bioplásticos a partir de los residuos orgánicos generados en el distrito de Lambayeque**

PRESENTADA POR  
**Jheyson Alexander Quiñones Gabino**

A la Facultad de Ingeniería de la  
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo  
para optar el título de

**INGENIERO INDUSTRIAL**

APROBADA POR

Nombres y Apellidos  
PRESIDENTE

Nombres y Apellidos  
SECRETARIO

Maximiliano Arroyo Ulloa  
VOCAL

### **Dedicatoria**

A Dios por estar siempre en mi vida y por darme fuerzas y la voluntad para lograr mis objetivos.

A mis padres por su amor y su constante apoyo para conseguir mis metas y llegar a ser una persona correcta.

### **Agradecimientos**

A mis padres por siempre apoyarme en mi formación profesional e incentivar me cada día a mejorar el desarrollo del presente artículo.

A mi asesor Dr. Maximiliano Arroyo, por aconsejarme y brindarme su constante apoyo durante el desarrollo de mi tesis.

## Índice

Resumen .....	5
Abstract .....	6
Introducción .....	7
Revisión de literatura .....	9
Materiales y métodos .....	15
Resultados .....	16
Discusiones.....	40
Conclusiones .....	41
Referencias .....	42
Anexos.....	51

## Resumen

La presente investigación tiene como objetivo general proponer la instalación de una planta de producción de PHA a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos generados en el distrito de Lambayeque. Para ello, se llevó a cabo un estudio de mercado, a partir del cual se analizó la demanda, la oferta y el precio de los bioplásticos, potencial área de mercado seleccionada, dando como resultado que el presente proyecto cubrirá el 20% de la demanda insatisfecha pronosticada para los próximos 5 años. Asimismo, se realizó un análisis técnico, que consistió en determinar la localización de la planta, describir el proceso productivo, realizar el balance de materia, elaborar el plan de producción y de requerimiento de materiales, calcular la capacidad de producción y realizar la distribución de planta, obteniendo como resultado que la planta de producción se ubicará en el distrito de Lambayeque y tendrá una capacidad real de producción de 8 200 sacos de PHA en el quinto año y requerirá un área total de 3 986 m<sup>2</sup> para su instalación. Finalmente, se llevó a cabo un análisis económico financiero, obteniendo indicadores positivos y favorables que evidencian la viabilidad del proyecto, siendo estos un VAN de S/ 2 570 683,74 y una TIR de 55,15%.

**Palabras clave:** Polihidroxicanoatos, residuos orgánicos, fermentación acidogénica, bioplásticos y viabilidad.

## Abstract

The general objective of this research is to propose the installation of a PHA production plant from the organic fraction of solid waste generated in the district of Lambayeque. To this end, a market study was carried out, from which the demand, supply and price of bioplastics, a potential selected market area, was analyzed, resulting in this project covering 20% of the demand. dissatisfied forecast for the next 5 years. Likewise, a technical analysis was carried out, which consisted of determining the location of the plant, describing the production process, carrying out the material balance, preparing the production plan and material requirements, calculating the production capacity and carrying out the distribution of plant, resulting in the production plant being located in the district of Lambayeque and having a real production capacity of 8,200 bags of PHA in the fifth year and requiring a total area of 2,200 m<sup>2</sup> for its installation. Finally, a financial economic analysis was carried out, obtaining positive and favorable indicators that show the viability of the project, these being an NPV of US\$ 261,981.31 and an IRR of 35.30%.

**Keywords:** Polyhydroxyalkanoates, organic waste, acidogenic fermentation, bioplastics and viability.

## Introducción

En el último trimestre del año 2022 la población mundial ha superado los 8 000 millones de habitantes y se prevé que esta cifra con el pasar de los años irá acrecentándose más y más, empero, un principal problema que crece más que los habitantes del planeta, es la proliferación de residuos sólidos municipales (RSM). De acuerdo con el informe “What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050” estipulado por el Banco Mundial [1], cada año en el mundo se generan alrededor de 2 010 millones de toneladas de RSM y al menos el 33% de aquella cantidad no se maneja de una manera idónea. Asimismo, se pronóstica que para el 2050 dicha cantidad aumentará a 3 400 millones de toneladas anuales.

Dentro de la gran cuantía de RSM que se generan anualmente la fracción orgánica (OFMSW) o residuos orgánicos constituyen la mayor parte, representando el 44% del total de residuos generados a nivel global [1]. Sin embargo, tal y como se menciona líneas atrás el manejo de los residuos en diversas partes del mundo no es el adecuado, ya que terminan en basurales de cielo abierto, en cuerpos de agua o inclusive terminan siendo incinerados en conjunto con otro tipo de residuos [2]. Babu, Prieto y René [3], en su investigación “Strategies for resource recovery from the organic fraction of municipal solid waste”, indican que el mal manejo de los residuos orgánicos no solo genera problemas para el medio ambiente, sino también acarrea serios problemas para la salud humana. Entre los principales impactos que puede ocasionar la mala gestión de esta clase de residuos, los autores destacan los siguientes: propagación de vectores de enfermedades, generación de malos olores, contaminación del aire debido a la quema de biomasa, contaminación de suelos y cuerpos de agua superficiales, generación de lixiviados, impactos del cambio climático y la degradación de los paisajes existentes.

No obstante, a pesar de que los residuos orgánicos constituyen una gran preocupación para las autoridades municipales y ambientales, debido a que pueden tornarse una gran amenaza, también podrían utilizarse como biorecurso para la obtención de productos de alto valor de mercado, tales como: biofertilizantes, biocombustibles y bioplásticos; todo esto a partir de tecnologías de bioprocesamiento como la digestión anaerobia, la fermentación microbiana, los sistemas bioelectroquímicos, entre otros [4]. Por ejemplo, en diferentes partes de Europa, en especial en Italia y Portugal, se están elaborando bioplásticos, polihidroxialcanoatos (PHA), a partir de la fracción orgánica de los RSM [5]. Esto es posible a través de la fermentación acidogénica, la cual es una parte imprescindible dentro del proceso que te permite tratar conjuntamente una mezcla de biorresiduos de composición variable y heterogénea [6]. Propuestas de la misma índole que la mencionada anteriormente se están ejecutando y llevando

a cabo en diversos países desarrollados, ya que se está buscando una <sup>10</sup> transición hacia una economía circular y a la consecución de los objetivos de desarrollo sostenible de las Naciones Unidas [4], [6].

En lo que respecta a Perú, el país se caracteriza por generar cantidades exorbitantes de residuos orgánicos, si apelamos a un ejemplo, en el 2022 se generó un total de 4 692 300, 03 toneladas de este tipo de residuos, de los cuales solo se valorizó el 1,49 %, una minucia comparada con lo que llegan a valorizar países como Chile, Brasil, Argentina, entre otros [7]. Además, cabe resaltar que, a parte de la poca valorización de los residuos, el país presenta un déficit de rellenos sanitario, una pobre cultura de reciclaje y, por supuesto, un alto índice de generación de residuos orgánicos. La sinergia de estos factores y otros más, provocan que el tema en cuestión se vuelva sumamente alarmante en el país.

Entre los distritos con una mayor producción de residuos sólidos orgánicos se encuentra Lambayeque, que en el citado año produjo alrededor de 7 618,28 t. De dicha cantidad el distrito solo valorizó el 0,81%, es decir, de todo lo orgánico valorizable solo 61,98 t <sup>74</sup> fueron utilizadas como materia prima para la elaboración de nuevos productos, que en este caso en particular fue el compost; lo demás fue dispuesto en botaderos, en cuerpos de agua e incluso incinerado [7]. Asimismo, hay que destacar que los botaderos que presenta el distrito son lugares de alto riesgo, y también, que la combustión de la biomasa genera grandes cantidades de metano, el cual es <sup>54</sup> 21 veces más dañino que el dióxido de carbono como gas de efecto invernadero.

Ante la gran contaminación que generan los residuos orgánicos surge la necesidad de buscar alternativas o desarrollar estrategias enmarcadas en la economía circular que procuren darle un valor agregado a esta clase de residuos. Farinaz *et al.* [8] asevera que la conversión de residuos orgánicos a bioplásticos es una gran alternativa para suplir a los plásticos convencionales, que como bien se conoce están asociados a muchos problemas ambientales. Por su parte, E. Korkakaki *et al.* [9], G. Papa *et al.* [10] y J. Hereza [6] afirman que el compost y el biogás son productos de bajo valor económico y que los ingresos son 5 veces más altos al comercializar PHA. Además, he de mencionar que en el Perú las importaciones de productos biodegradables crecieron 176% en el año 2022 [11], este hito está impulsado por la ley N° 30884, la cual, al regular la producción, <sup>40</sup> importación, distribución y consumo de los plásticos de un solo uso, representa una potencial oportunidad para la producción y comercialización de los bioplásticos [12].

<sup>26</sup> Frente a lo expuesto anteriormente, surge la presente interrogante de investigación ¿Será viable la instalación de una planta productora de bioplásticos a partir de los residuos orgánicos generados en el distrito de Lambayeque?

<sup>1</sup> El presente estudio tiene como objetivo general determinar la viabilidad de la instalación de una planta productora de bioplásticos a partir de los residuos orgánicos generados en el distrito de Lambayeque. Por consiguiente, los objetivos específicos consisten en determinar la viabilidad comercial, la viabilidad técnica y, por último, evaluar la viabilidad económica financiera del proyecto.

Esta investigación tiene como finalidad dar una alternativa sostenible y económicamente viable que genere la conservación del medioambiente y promueva el empleo verde.

### Revisión de literatura

Los bioplásticos abarcan una amplia plataforma de diferentes materiales que resultan tentadores para suplir a los plásticos convencionales, por ser polímeros sostenibles, en gran media biodegradables y biocompatibles, <sup>124</sup> se han convertido en un menester para muchas aplicaciones industriales, por ejemplo, el envasado de alimentos, las bolsas de compostaje e higiene, la horticultura y la agricultura, y además, también han encontrado su uso en productos electrónicos, estructurales, biomédicos, entre otros [13], [14]. Este tipo de polímeros se clasifican según su contenido biológico y su biodegradabilidad, es por ello que suelen dividirse en tres grupos. Los de primera clase son los de base biológica y parcialmente no biodegradables (ej.: bio-PE, bio-PU, bio-PA y bio-PET), los de segunda clase son los de base biológica y biodegradables (ej.: PBS, PHA y PLA) y los de tercera, y última clase, son los de origen fósil y biodegradables (ej.: PBAT y PCL). [15], [16]

Dentro de la vasta gama de materiales mencionados, los de segunda clase son aquellos que más propician un desarrollo sostenible, ya que ahorran recursos fósiles y proporcionan el potencial único de la neutralidad del carbono [13]. Los polihidroxicanoatos (PHA), bioplásticos pertenecientes a esta categoría, <sup>10</sup> resultan ser la mejor alternativa para suplir algunos plásticos derivados del petróleo, como el polietileno y el polipropileno [17]. De acuerdo con <sup>129</sup> García et al. [18] los PHA o “plásticos de origen microbiano”, <sup>31</sup> son bio-poliésteres sintetizados intracelularmente por algunos microorganismos (baterías, arqueas o microalgas) como reservas <sup>29</sup> de carbono y energía que, una vez extraídos de la célula, presentan propiedades fisicoquímicas similares a la de las poliolefinas convencionales.

Por su parte, Zheng [19] y Koller [20] mencionan que este tipo de polímeros se caracterizan por ser atóxicos, termo-procesables, elastoméricos, biocompatibles, 100% biodegradables, piezoeléctricos y enantioméricamente puros; esta alta versatilidad los hace ser muy vistosos en sectores como el packaging, la biomedicina, electrónica y muchos más. Con respecto a su clasificación, esta depende del número de átomos de carbono presentes en la cadena HA (monómeros de hidroxíácido), por ende, suelen clasificarse en: monómeros de longitud de cadena corta (contiene de 3 a 5 átomos de carbono), de longitud de cadena media (contiene entre 6 y 14 átomos de carbono) y de longitud de cadena larga (contiene más de 14 átomos de carbono) [17].

Acerca de su producción, los PHA se pueden obtener a través de cultivos microbianos puros y cultivos microbianos mixtos (CMM), siendo estos últimos los más utilizados, ya que necesitan la menor cantidad de equipos de control y se pueden controlar de manera más simple, a diferencia de los cultivos puros quienes necesitan esterilización y equipos de alta gama y mantenimiento [21], [22]. Asimismo, es preciso resaltar que algo fundamental durante el proceso de obtención de PHA es la materia prima (fuentes de carbono o sustratos) a utilizar, debido a que esta es el responsable del 30 al 50% de los costos de producción, por tanto, surge la necesidad de buscar materias primas de bajo coste y alta disponibilidad [17], [23].

Ante lo mencionado la fracción orgánica de los residuos sólidos municipales (OFMSW) resulta ser la opción más adecuada para ser empleada como sustrato en la elaboración de PHA. Según el Ministerio de Ambiente (MINAM) [24], al hablar de este tipo de residuos nos referimos aquellos que provienen de materiales de origen biológico, por ejemplo, residuos de alimentos, de jardinerías, entre otros. Si bien estos residuos tienen una composición heterogénea, variable y compleja, a través de una fermentación acidogénica (proceso de fermentación anaeróbica) se pueden tratar de manera conjunta y obtener de ellos ácidos grasos volátiles (AGV), quienes de acuerdo a Hereza [6] y Papa et al. [10] son los precursores directos y componentes básicos de los polihidroxialcanoatos.

En los últimos años se han venido desarrollando diversas investigaciones sobre este tema, por ejemplo, Valentino *et al.* [25] en su investigación, “Pilot – scale polyhydroxyalkanoate production from combined treatment of organic fraction of municipal solid waste and sewage sludge”, desarrollaron una solución para tratar de manera conjunta biorresiduos urbanos (OFMSW y lodos de aguas residuales – SS) y obtener a raíz de estos un producto de base biológica de gran valor en el mercado (PHA). El desarrollo del producto se llevó a cabo en tres diferentes etapas: la fermentación acidogénica, la etapa de enriquecimiento/selección y la etapa

de acumulación de PHA; asimismo, durante todo el proceso fue determinante tener en cuenta variables como, la eficiencia de selección de biomasa, las pruebas de alimentación por lotes y el rendimiento total. Cabe mencionar que el estudio utilizó cultivos microbianos mixtos provenientes de lodos activados, los cuales fueron inoculados en la segunda etapa del proceso productivo. Entre los resultados alcanzados se tuvo que el CMM pudo acumular hasta un 46% en peso de PHA, teniendo en cuenta esto y todo el flujo másico del proceso se estimó un rendimiento de 65g PHA/kg TVS. En base a los resultados se pudo determinar que una línea de PHA integrada a la planta de digestión anaeróbica de Trevisto (lugar donde se desarrolló el estudio) podría llegar a producir 45 toneladas de PHA al año, trayendo consigo unos ingresos de 180 000 €/año.

Otra investigación similar a la de Valentino *et al.* [25] es la de Papa *et al.* [10], en la cual también propone una **estrategia para una mejor gestión de los residuos sólidos** municipales, donde busca claramente cerrar el círculo de los residuos (modelo de economía circular) convirtiéndolos en productos de gran valor agregado. En su investigación titulada “Implementing polyhydroxyalkanoates production to anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste to diversify products and increase total energy recovery”, los autores a partir de un proceso de digestión anaeróbica configurado para producir biogás y digestato, buscan las posibilidades de recuperar los AGV y emplearlos para la producción de PHA. La metodología para el desarrollo del producto fue algo similar a la investigación que se detalla líneas atrás; el primer paso fue la obtención y recolección de los residuos orgánicos y su almacenamiento a 4 °C, posterior a ello se realizó una digestión anaeróbica con el fin de obtener biogás y digestato. Continuando con el proceso se utilizó este último como sustrato alimentario para las etapas de selección y acumulación, no sin antes centrifugarlo y eliminarle el amoníaco. En la etapa de selección se utilizaron CMM procedentes de lodos activados y se monitorearon constantemente variables clave como la temperatura, el flujo de alimentación y la agitación. En la fase acumulación la aireación y la agitación continua fueron imprescindibles; y en la última etapa del proceso, la extracción, el uso de cloroformo fue determinativo para una buena extracción de los polímeros. **Los resultados** obtenidos mostraron que para producir un kilogramo de PHA se necesitan aproximadamente de 5 a 8,5 kg de OFMSW<sub>TS</sub> o alrededor de 30 a 55kg de OFMSW<sub>FM</sub> (TS significa sólidos totales y FM materia fresca, la primera hace referencia a la cantidad de sólidos presentes en los residuos y la segunda se refiere al peso total de los residuos).

Las investigaciones anteriormente mencionadas tienen el mismo objeto de estudio y ambas demuestran que si es posible la producción de PHA a partir de la OFMSW, el interés surge debido a que estos productos proyectan una mejor cuota de mercado que el biogas y el compost. Papa *et al.* [26], en una búsqueda de hacer más eficiente el proceso, propone una nueva investigación titulada “Diversifying the products from the organic fraction of municipal solid waste (OFMSW) by producing polyhydroxyalkanoates from the liquid fraction and biomethane from the residual solid fraction”, en donde a diferencia de la primera, una vez recolectada la materia prima (OFMSW) la somete a un proceso de molienda y luego a una separación sólido/líquido. La fracción sólida la empleo para obtener biometano y la líquida para la producción de PHA. Los resultados demostraron que casi el 80% de los ácidos orgánicos se liberaron en la corriente líquida, obteniéndose una producción de PHA de  $115 \pm 23(n=6)$  g kg<sup>-1</sup> OFMSW<sub>TS</sub> y un biometano residual de  $219 \pm 3(n=6)$  g kg<sup>-1</sup> OFMSW<sub>TS</sub>. Si bien esta investigación trata de darle una variante al proceso, deja en evidencia que el no llevar a cabo una digestión acidogénica o anaeróbica antes de la etapa de enriquecimiento puede mermar el rendimiento final, pues bien demuestra este estudio que para obtener un kilogramo de PHA necesitarían entre 6 a 11 kg de OFMSW<sub>TS</sub>.

Farinaz *et al.* [8] en su investigación, “Sustainable biofuels and bioplastic production from the organic fraction of municipal solid waste”, evaluó la potencialidad de la fracción orgánica de residuos sólidos municipales (OFMSW) para la generación de biocombustibles y productos de alto valor (bioplásticos). En el estudio, el OFMSW se utilizó para la producción de etanol, hidrógeno y un potenciador de octanaje, mediante el uso del microorganismo enterobacter aerogenes. Además, se produjo una alternativa prometedora a los polímeros petroquímicos, los polihidroxialcanoatos (PHA). Para ello, el OFMSW se llevó a un pretratamiento con organosolov de etanol catalizado a 120 y 160°C, posterior a esto se realizó una hidrólisis enzimática de los sólidos residuales. La hidrólisis condujo a un alto rendimiento en la producción de glucosa de 498,5 g/kg OF-RSW seco sin tratar, que se fermentó a 131,1 g de 2,3 butanodiol, 28,6 g de ácido acético, 71,4 L de hidrogeno y 400 g de PHA.

Por otro lado, Scaglia *et al.* [26] en su estudio “Diversifying the products from the organic fraction of municipal solid waste (OFMSW) by producing polyhydroxyalkanoates from the liquid fraction and biomethane from the residual solid fraction”, tienen como objetivo demostrar que a partir de los residuos sólidos municipales se pueden obtener dos grandes productos, el biometano y los polihidroxialcanoatos. Para ello, tomaron como materia prima los OFMSW de dos plantas de tratamiento de desechos ubicadas en la provincia de Lodi, Italia.

Dicha materia prima la sometieron a un proceso mecánico a través de un biopulper para obtener una suspensión, la cual posteriormente sería supeditada a una separación sólido/líquida. La fracción sólida (tortas residuales) fue empleada para la producción de biometano y la fracción líquida, rica en ácidos orgánicos, fue utilizada para la producción de PHA. Al finalizar el proceso obtuvieron una producción de PHA de  $115 \pm 23$  (n=6) g/ kg OFMSW (TS) y una producción de biometano de  $213 \pm 3$  g/kg OFMSW TS.

Asimismo, Emmanouela Korkakaki et al. [9] en su investigación titulada “PHA production from the organic fraction of municipal solid waste (OFMSW): Overcoming the inhibitory matrix”, evaluó el lixiviado de la fracción orgánica de los residuos sólidos municipales como sustrato para la producción de polihidroxialcanoatos (PHA). Para ello, en primer lugar, la etapa de enriquecimiento la realizó directamente sobre el lixiviado en condiciones de fiesta – hambruna. Luego el sustrato sufrió una mezcla sintética de ácidos grasos volátiles (VFA), lo que les permitió a los productores de PHA obtener una ventaja competitiva y dominante. La acumulación posterior con lixiviado en condiciones de exceso de nutrientes resultó en un gran contenido de PHA (78% en peso). Con base a los resultados de la investigación se pudo determinar que el proceso de obtención de PHA a partir de OFMSW, se hace más atractivo económicamente si se enriquece a la comunidad productora de PHA con VFA “limpia” y luego con lixiviados de OFMSW.

Colombo et al. [27] en su investigación “Enhanced polyhydroxyalkanoate (PHA) production from the organic fraction of municipal solid waste by using mixed microbial culture”, tuvieron como finalidad optimizar el proceso de producción de PHA para obtener un mayor rendimiento. Para esto utilizaron un proceso que constó de 3 etapas: fermentación OFMSW que produce ácidos orgánicos (OA), pretratamiento del percolado y producción de PHA. La investigación hizo énfasis en la primera etapa, ya que una mayor generación de OA acarrea consigo una mayor producción de PHA, por tanto, para lograr esto el OFMSW que se encontraba dentro del reactor APBR era irrigado constantemente con el digestato, para que así se amortiguara la acidez y la hidrólisis tenga un alto rendimiento (esta última es el paso limitante en la producción de grandes cantidades de OA). En cuanto a los resultados obtenidos, el proceso acidogénico optimizado resultó en una producción de OA de  $151 \text{ g kg}^{-1}$  de OFMSW y la producción de PHA a partir de OA fue de  $223 \pm 28 \text{ g kg}^{-1}$  de OA total alimentado, dando un rendimiento general de  $33,2 \text{ g} \pm 4,2 \text{ g PHA / kg OFMSW.w.w}$ .

Giulia Moretto et al. [28], en su investigación “Una biorrefinería urbana para la conversión de residuos alimentarios y lodos biológicos en polihidroxialcanoatos y biogás”, desarrolla una

cadena tecnológica de biorrefinería urbana con el fin de aprovechar los OFMSW y los lodos biológicos, para crear productos de alto valor (PHA y biogás). Para el desarrollo de dichos productos, se tuvo que llevar a cabo una fermentación acidógena, seguido de una separación sólido líquido mediante una centrifugación coaxial, luego se pasó a un reactor secuencial por lotes, donde inicia la producción de biomasa aeróbica de almacenamiento de PHA (el reactor es alimentado constantemente por lotes aeróbicos). Seguido a todo ello, se procede a realizar un pretratamiento térmico (72°C – 78 h), con la finalidad de mejorarla solubilización de la materia orgánica, todo este proceso se realiza en los reactores. Como resultados se tuvieron una producción de biogás de 0,44 – 0,51 m<sup>3</sup>/kg y un rendimiento de 7,6 % en peso de PHA/VS.

En 2017, Calero [20], en su estudio titulado “Obtención de polihidroxicanoatos a partir de OFMSW por cultivos microbianos mixtos”, mencionó que más del 50% de OFMSW generado no tienen un adecuado tratamiento por lo que suponen fuente de contaminación ambiental debido a la alta carga orgánica que presentan, por lo cual una alternativa prometedora para darle un valor agregado a este residuo es utilizarlo como sustrato para producir bioplástico (PHB). Ante esto el objetivo de esta investigación es producir PHB a partir de OFMSW y cultivos microbianos mixtos (CMM). Los resultados evidencian que es posible la producción de PHB a partir de OFMSW teniendo una productividad de 0,7 g PHB L<sup>-1</sup>. Además, indican que el control de las condiciones de fermentación es fundamental para incrementar la productividad del bioplástico a obtener.

En 2019, Peña et al. [21], en su investigación titulada “Producción de poli (3-hidroxibutirato) a partir de aguas residuales de la industria láctea utilizando Bacillus subtilis EPAH18: desarrollo y simulación de bioprocesos” explicaron que la inadecuada gestión de los residuos plásticos ocasiona acumulación y contaminación al medio, ante esto los bioplásticos (PHB) son una opción prometedora sin embargo su comercialización a gran escala se ve afectada por los altos costos de producción, principalmente los sustratos representan el 50% de estos costos, por lo cual las aguas residuales agroindustriales, como el suero que es considerado un desecho contaminante del sector lácteo, son una buena opción para mejorar la economía de producción de los PHB. Ante esto, el objetivo de la investigación fue aumentar la producción de PHB a partir de aguas residuales lácteas por Bacillus subtilis EPAH18. Como resultado se tiene que la producción de PHB con Bacillus subtilis EPAH18 se obtuvo 0,54 g PHB/L. También se encontró que con un mayor flujo de alimentación inicial de suero aumenta la producción de PHB y los costos de energía. Por esta razón, se propone una corriente de alimentación suero de 1 000 t / h para un costo de producción de PHB alrededor de 10,2 \$ / kg.

## Materiales y métodos

La presente investigación es de tipo aplicada, puesto que se aplicaron los conocimientos empíricos y teóricos adquiridos para dar solución al problema identificado. De acuerdo al nivel de investigación, fue descriptiva, pues se describió todo lo relacionado a la viabilidad de instalar una planta de productora de bioplásticos a partir de los residuos orgánicos. De acuerdo al diseño de investigación, fue cuantitativo no experimental transversal, ya que se recogieron cifras, datos e información de un único período de tiempo de fuentes secundarias. Cabe resaltar que se siguió la metodología de Baca [28] para determinar la viabilidad de instalar una planta de producción.

Se realizó un estudio de mercado cuyo primer paso consistió en determinar cómo se iba analizar el mercado de los bioplásticos en el Perú, es decir, cuál sería el punto base para empezar analizar un mercado que recién está emergiendo en el país. Una vez identificado como se evaluará el mercado, se procedió a analizar la demanda, para ello se recolectaron datos de exportaciones, importaciones y producción nacional. Dicha información fue extraída de fuentes como la SUNAT, la SNI, el Ministerio de Producción y el Banco Central de Reserva del Perú. Con la información recolectada se determinó la demanda histórica, luego de ello, se extrajeron datos de algunas variables macroeconómicas con el fin de evaluar si alguna de ellas estaba relacionada con el comportamiento de la demanda. Se hizo de pruebas de hipótesis para evaluar dicha relación, las cuales fueron efectuadas a través del software estadístico Minitab. Ya identificada la variable que tiene mayor efecto se procedió a elaborar los pronósticos correspondientes. Con la demanda ya proyectada, se dio paso a analizar la oferta, donde se siguió la misma metodología, a excepción de que para la oferta histórica se tuvo que recoger datos de capacidad de los oferentes y exportaciones, a posteriori, el desarrollo del análisis fue el mismo. Después de haber concluido ambos análisis se hizo un balance de oferta y demanda para hallar la demanda insatisfecha y posteriormente la demanda del proyecto. Para finalizar este punto, se procedió a proyectar los precios, determinar el plan de ventas y definir el sistema de distribución.

La localización de la planta de producción se determinó teniendo en cuenta factores de micro localización, los cuales se evaluaron por el método de los factores ponderados [28]. Posteriormente, se determinó la ubicación geográfica más óptima para la instalación de la planta. Asimismo, se describió el proceso de producción de la PHA basándose en estudios preliminares, luego el balance de masa en el programa Lucid. Después, se calculó la disponibilidad de materia prima y el plan de producción a partir del plan de ventas, también se

determinó el requerimiento de materia prima e insumos mediante el Índice de consumo por unidad y el Plan de Requerimientos de Materiales (MRP).

Para determinar la capacidad de planta se seleccionó la maquinaria y equipos adecuados para el proceso mediante una matriz de decisión considerando criterios como la capacidad, el precio, las dimensiones de la maquinaria, la potencia y la marca. Asimismo, se determinó los requerimientos de energía y de mano de obra para la tecnología seleccionada, así como los indicadores de producción. Posteriormente, se calculó el área total del terreno de la planta de producción mediante el método de Guerchet y la distribución de las diferentes áreas de la planta mediante el método Systematic Layout Planning. En función de esas dimensiones calculadas y de la distribución de planta, se diseñó el plano de la planta mediante el software AutoCAD. Finalmente, se describió el procedimiento de control de calidad, se determinaron los puestos de trabajo necesarios y las funciones de cada uno de estos.

Según la metodología desarrollada por Baca [28], se determinó la inversión total para la implementación de la planta tomando en cuenta la inversión tangible (terrenos, edificaciones, maquinaria y equipos, etc.), la inversión intangible (gastos preoperativos y estudios) y el capital de trabajo (método del déficit acumulado máximo). Posteriormente, se calcularon los ingresos (ventas) y egresos totales (costos de producción y gastos de operaciones) para calcular el punto de equilibrio económico y en unidades, y para realizar la proyección de los estados financieros (flujo de caja y estado de ganancias y pérdidas). En función de los estados financieros, se realizó una evaluación económica-financiera que consistió en calcular la TMAR, TIR, VAN, el índice Beneficio/Costo y en efectuar un análisis de sensibilidad.

## Resultados

### **RI: Estudio de mercado para determinar la viabilidad comercial del proyecto**

De acuerdo a European Bioplastics [29], en cooperación con el Nova – Institute, el mercado global de los bioplásticos crecerá de manera exponencial en los próximos años, es por ello que pronostican una capacidad de producción de 2,8 millones de t para el 2024 y 6,3 millones de t para el 2026. Este fuerte crecimiento se ve influenciado por una mayor demanda de este tipo de materiales; como bien se sabe, hoy en día factores como la protección del medio ambiente y la creación de productos más sofisticados, hacen que florezca y emerja un mercado tan novedoso como es el de los bioplásticos.

En Perú, los bioplásticos y su introducción en el mercado ya son una realidad, desde el 2018 cuando entró en vigor la ley N° 30884, las importaciones de productos biodegradables crecieron

de manera muy rápida, por ejemplo, en el primer año de entrada de vigencia de la ley, la participación de mercado de las bolsas biodegradables paso de 3,7% a 9,1% [30]. Otro claro ejemplo, es el exorbitante crecimiento de las importaciones de envases biodegradables, que en el 2022 creció un 176% con respecto al año anterior [11].

Si se requiere analizar el mercado de bioplásticos en el Perú, el análisis resulta complejo, ya que al ser un mercado que recientemente ha tomado impulso, no se cuenta con datos históricos para poder proyectar de manera eficaz y con poco margen de error la demanda y oferta que se espera en los próximos años. Es por tal motivo, que, para realizar el estudio de mercado se toma como cimiento el mercado de los plásticos en el Perú.

En el país, dicho mercado se divide en dos sectores, se tienen a los plásticos en forma primaria y a los productos de plástico. Este primer sector contribuye con un 36,9% a la oferta total de la industria de plástico, y el segundo aporta con un 63,1%, dando a notar, y tal y como muestran los registros, que en el Perú las industrias pertenecientes a este sector están más abocadas a la producción de artículos y materiales de plástico. Un dato curioso es que en el primer sector la industria peruana oferta el 12,8 % y en el segundo el 78,9%; lo restante en ambos casos les compete a las importaciones. [31]

A grosso modo se puede notar que, en el primer sector se presenta una potencial oportunidad, puesto que el Perú al carecer de industrias petroquímicas tiene que importar grandes volúmenes de plásticos en bruto. Por esta razón, el estudio de mercado se centró en este sector, en específico en el polipropileno en forma primaria destinado a la producción de envases. Se toma como referencia el polipropileno (PP), porque los PHA, en especial el polihidroxibutirato (PHB), producto a elaborar, surge como una alternativa para sustituir este tipo de poliolefinas [6]. Asimismo, el estudio se centra en el sector de envases, porque aparte de representar uno de los mayores destinos de este tipo de productos (10% de lo que se produce tiene como destino dicho sector [32]), es el que tiende acrecentarse mucho más en los próximos años, ya que está fuertemente impulsado por la ley N° 30884 [33]. Por tanto, el producto que se ofrecerá al mercado será el PHB en forma primaria, es decir en forma de pellets, los cuales irán destinados al sector del packaging y se comercializarán en sacos con un formato de 50 kg.

Ya identificado el punto de partida se procedió analizar la demanda, para ello se tomaron datos de importación, exportación y producción nacional del PP en bruto destinado a la producción de envases. La demanda sería el resultado de la suma de las importaciones más la producción nacional menos las exportaciones (en el anexo 1 se detalla a fondo el análisis y los

datos recolectados). También cabe resaltar, que se tomaron en cuenta variables macro y microeconómicas con el fin de evaluar cuál o cuáles estaban relacionadas o tenían algún efecto significativo en el comportamiento de la demanda (variable dependiente – “y”). Al determinar que covariables tienen relación con la demanda se puede elaborar un modelo predictivo y con ello estimar los valores futuros de la variable de interés en los próximos años [34].

Las covariables que se tomaron en cuenta fueron las siguientes: los años ( $x_1$ ), el PBI de manufactura no primaria ( $x_2$ ), la inflación ( $x_3$ ), la población ( $x_4$ ), el precio del PP en forma primaria ( $x_5$ ) y la producción industrial de productos químicos, caucho y plástico ( $x_6$ ). En el anexo 2 se muestran los datos históricos de cada una de las posibles variables predictoras. Al ser la variable dependiente y las covariables de carácter numérico, el análisis de regresión calza perfecto como prueba de hipótesis para determinar si existe o no una relación funcional (véase anexo 3).

Se realizaron corridas individuales, es decir, se analizó cada “x” por separado (ej.:  $y - x_1$ ,  $y - x_2$ , ...,  $y - x_6$ ), y aquellas que arrojaran un valor de p menor a 0,05 serían consideradas significativas, ya que hay suficiente prueba estadística para rechazar la  $H_0$  y afirmar que si existe una relación significativa entre las variables [34].

Realizado el análisis de regresión (dirjase al anexo 4) se puede aseverar que el año, la población y la producción industrial tienen influencia en la demanda histórica del PP en forma primaria, sin embargo, el estudio no concluye ahí, puesto que esta información solo es el input para un posterior análisis. Entonces, ya identificadas las variables significativas ( $x_1$ ,  $x_4$  y  $x_6$ ), se procedió a elaborar una regresión múltiple escalonada, la cual es una técnica muy utilizada en data science para elaborar modelos predictivos eficientes, dado que se centra en seleccionar las variables más influyentes o relevantes, optimizando y mejorando así la precisión del modelo sin introducir ruido innecesario, además también toma en cuenta la interacción entre las covariables [35].

Se probaron los cuatro métodos de regresión escalonada y se seleccionó el modelo que arroja el método selección hacia adelante, dicho modelo tiene un coeficiente de determinación ajustado mayor al 80% y además solo toma en cuenta como variables significativas  $x_1$  y  $x_6$ . Cabe mencionar que también se evaluaron los residuos del modelo y estos cumplen con los 3 supuestos: normalidad, estabilidad e independencia con respecto a los valores ajustados. De esta manera el modelo da evidencia estadística que es bueno para predecir los valores de la

demanda. En el anexo 5 se muestra y detalla el desarrollo del análisis, así como también la evaluación de los residuos.

Ya determinado el modelo predictivo, el siguiente paso es estimar los valores de las variables predictivas,  $x_1$  y  $x_6$ , es decir, pronosticar los valores de ambas variables para los próximos 5 años y posteriormente introducir los resultados en el modelo. Para la primera variable no hubo ningún problema debido a que buscamos pronosticar desde el 2023 hasta el 2027, por tanto, sus valores esperados ya se tendrían listos. Ahora bien, no sucede lo mismo para la segunda, porque no se tiene idea alguna de que valores se esperan en el horizonte de tiempo target. Es por tal motivo que se aplicó métodos avanzados de series temporales (véase el anexo 6), en primer lugar, se desarrolló un modelo ARIMA (0, 1, 1), el cual, luego de varias pruebas realizadas resultó adecuado y factible para predecir los valores de  $y$ , sin embargo, su error porcentual absoluto medio (MAPE) fue de 7,37, lo que dio paso a cuestionar si en realidad resultaba ser el método idóneo. Como segunda alternativa se probaron modelos de regresión, siendo el modelo cúbico el que tenía mejor ajuste y precisión, además, su MAPE es de 2,58, mucho mejor en comparación con el del modelo ARIMA, por lo cual las predicciones de este tipo de regresión serían las utilizadas para ser introducidas en la ecuación predictiva de la demanda. Por consiguiente, ya determinados los valores futuros de  $x_1$  y  $x_6$ , estos se introdujeron en el modelo predictivo y se obtuvieron los valores de la demanda proyectada, en el anexo 7 se muestran dichos valores y los intervalos de predicción al 95% de confianza.

Obtenidas las predicciones de la demanda se procede a proyectar la oferta, para ello el procedimiento y el método es el mismo, simplemente discrepa la forma en cómo se obtienen los datos históricos. Para hallar los valores de la variable en cuestión, se necesitan datos de exportación y capacidad del oferente [36]; en este último es fundamental utilizar dos variables: la producción nacional y la tasa de utilización de la capacidad instalada de las industrias de plástico. La primera variable se obtuvo de la base de datos de la SUNAT [37] y la segunda del database del BCRP [38]. La oferta sería el resultado de la resta entre la capacidad del oferente y las exportaciones, en el anexo 8 se presentan los valores de la oferta histórica.

Al igual que como se hizo con la demanda, se realizó un análisis de regresión para verificar si alguna covariable tenía relación o no con la oferta. Los resultados arrojaron que  $x_1$ ,  $x_3$ ,  $x_4$  y  $x_6$ , resultaban ser variables significativas (véase el anexo 9). Estas covariables fueron analizadas más a fondo en una regresión múltiple escalonada, de los 4 métodos que existen, el modelo que se obtiene por el enfoque de eliminación hacia atrás fue el seleccionado para pronosticar los valores de la oferta, dicho modelo solo toma en cuenta como variables verdaderamente

influyentes a  $x_1$  y  $x_4$  (mire el anexo 10). En consecuencia, se procedió a estimar los valores de ambas variables para posteriormente introducirlas en la ecuación predictiva. Para la primera los valores se tienen listos, caso contrario sucede con la segunda, donde se aplicó un modelo ARIMA (2, 4, 2) para pronosticar sus valores futuros. El mencionado modelo presentó una buena precisión y se probó que es idóneo y factible para elaborar predicciones (más información en el anexo 11). Una vez ya obtenidas las estimaciones de  $x_1$  y  $x_4$  se calculó la oferta proyectada, en el anexo 12 se muestran los citados valores y sus intervalos de predicción al 95%.

Pronosticados ya los valores futuros de la demanda y la oferta, se procede a calcular la demanda insatisfecha proyectada, cuyo resultado es la diferencia entre ambas variables. La tabla 1 muestra el plan de ventas para el proyecto, en el cual se detallan variables como: la demanda insatisfecha, la demanda del proyecto, el precio proyectado y los ingresos totales. En cuanto a la demanda insatisfecha, se puede apreciar que se esperan altos valores para el horizonte de tiempo mostrado (2023 – 2027), representando un gran atractivo para el proyecto, ya que tal y como se observa hay una alta demanda que no está siendo abastecida. Por otra parte, hay algo que se tiene que tener en claro y es que, si bien hay una elevada necesidad insatisfecha, el proyecto no puede cubrirla en su totalidad. De acuerdo a Quintero *et al.* [39] y Guerra [40], en este tipo de casos, es decir, para una empresa que recién está integrándose a un mercado potencialmente creciente, se recomienda iniciar con una postura conservadora. Dichos autores mencionan que es aceptable una participación inicial del 0,5 al 5%.

El presente proyecto pretende cubrir el 1,85% de la demanda insatisfecha para el primer año de iniciada su actividad económica e ir acrecentando esta participación año tras año, hasta alcanzar el 3,35% en el año 2027. A partir de este año, ya la empresa debería plantearse si debe invertir en aumentar su capacidad o no, esta es una de las decisiones estratégicas más importante, debido al gran capital que involucra y a la complejidad de la decisión. Porter, gurú del planeamiento estratégico, en su libro “Estrategia Competitiva” [41], menciona que para tomar la decisión de incrementar la capacidad se deben evaluar ciertos elementos (el anexo 13, detalla cada uno de los elementos a tener en cuenta para esta decisión estratégica). La evaluación de dichos elementos y la congruencia del análisis podría dar respuesta a esta interrogante. Sin embargo, también plantea una estrategia que puede llegar a ser riesgosa, pero, en caso de que todo marche bien, los resultados podrían ser muy beneficiosos para la empresa, esta es la estrategia de anticipación, en la cual la empresa busca asegurar una gran porción del mercado para desalentar la expansión de los competidores e impedir ingresos. Esta estrategia no solo requiere de una gran inversión en instalaciones, sino también resistir resultados

23 marginales o incluso negativos a corto plazo. Ya en el desarrollo de su actividad económica y como se vaya presentando el panorama en general, la empresa debería tomar la decisión de seguir aumentando la capacidad o no.

53 Otro punto que se muestra en la tabla 1, son los precios proyectados, los cuales sirven de base para el cálculo de los ingresos probables del proyecto en el futuro. Para estimar los precios, se utilizaron datos históricos del mercado internacional, debido a que no fue posible encontrar un database de los precios históricos de los bioplásticos en el Perú, en especial de los PHB, que es el producto a elaborar. Aun así, los precios internacionales, son una buena referencia, ya que la mayoría de los bioplásticos que se comercializan en el Perú tienen su génesis en el extranjero.

Los valores proyectados mostrados en la tabla, son el resultado que arroja el método de descomposición de series – modelo aditivo; se eligió esta metodología debido a que presentó mejores medidas de precisión en comparación con las obtenidas por el modelo ARIMA o los modelos de regresión (véase el anexo 14). De los precios obtenidos se espera que estos fluctúen con un comportamiento cíclico. Por ejemplo, para el año 2024 se espera un precio aproximado de 20,09 soles por kg, empero, para los años subsecuentes (2025 y 2026) este precio disminuiría y volvería aumentar en el 2027 (S/22,10 por kilogramo). También, se ha de resaltar que en esta parte del proyecto aún no es posible establecer una estrategia de precios, puesto que, aún no se tienen datos económicos (costos, ingresos y rentabilidad) para realizar el análisis correspondiente [28]. Este punto será analizado y desarrollado en el estudio de viabilidad económica.

**Tabla 1: Plan de ventas del proyecto**

Año	Demanda insatisfecha (t)	Demanda del proyecto (t)	~En sacos de 50 kg	Precio proyectado por kg	Ingresos totales
2023	15 020,09	278	5 560	S/ 15,97	S/ 4 439 660
2024	14 186,70	305	6 100	S/ 20,09	S/ 6 127 450
2025	13 412,00	329	6 580	S/18,18	S/ 5 981 220
2026	12 746,50	363	7 260	S/17,98	S/ 6 526 740
2027	12 239,00	410	8 200	S/22,10	S/ 9 061 000

Elaboración propia.

Para finalizar el estudio de viabilidad comercial, se debe de tocar uno de los temas más relevantes de la mercadotecnia, la comercialización. De acuerdo a Baca [28], cuando se trata de un producto industrial existen tres canales de distribución:

27  
1A. Productor – usuario industrial

### *2A. Productor – distribuidor industrial – usuario industrial*

### *3A. Productor – agente – distribuidor – usuario industrial*

El proyecto utilizará el canal directo, es decir, relación productor – usuario industrial, no se hará uso de los famosos “intermediarios”. Esto con el objetivo de disminuir costes y personalizar la relación fabricante – consumidor. Cabe resaltar que los consumidores, serán aquellas empresas que forman parte del segundo sector de la industria del plástico, en otras palabras, aquellas que toman los plásticos en forma primaria y les dan un valor agregado, obtenido así artículos o productos de plástico (envases). El presente estudio busca que estos consumidores sustituyan sus materia primas provenientes de orígenes fósiles, por una alternativa más amigable con el medio ambiente. Por último, también mencionar que los consumidores potenciales se encuentran ubicados en Lima Metropolitana. Tal y como ya se conoce el Perú es un país centralizado, Lima, su capital, aporta con el 59,4% del PBI industrial [42], por ende, no es ajeno que dicho departamento concentre más de 2 000 empresas de plástico [43].

## **R2: Estudio para determinar la viabilidad técnica del proyecto**

### **Localización de planta**

En todo proyecto o desarrollo de una empresa, hay un punto que resulta muy relevante, dicho punto es la localización de la planta, debido a que es una decisión estratégica que tiene correlación con la tasa de rentabilidad y, además, afecta a los costos fijos y variables. La localización abarca tanto el tema macro como micro, pasamos de lo general a algo más específico. En este caso, solo se desarrolló un análisis de micro localización y no se tocó el tema macro, porque el “título” y “la razón de ser” del proyecto ya estipulan en que región va estar ubicada la planta.

Para realizar el análisis de micro localización, se tomó en cuenta tres alternativas: Mórrope, Lambayeque y Chiclayo, estas alternativas se eligieron en virtud a su cercanía con el lugar de generación de la materia prima. Asimismo, para el análisis se consideraron 8 criterios los cuales permitirían seleccionar que alternativa es la adecuada para ubicar la planta de bioplásticos. Los criterios fueron los siguientes: disponibilidad de materia prima, energía, costo del terreno, población económicamente activa desempleada, cercanía al mercado, desarrollo económico local, accesibilidad a servicios básicos y seguridad. La descripción de cada uno de los criterios en función a cada distrito se puede apreciar en el anexo 15.

Definidas las alternativas y los criterios, el siguiente paso fue elegir que metodología sería la utilizada para llevar a cabo el análisis. Bacalla *et al.* [44] en su investigación “Modelo del proceso jerárquico para optimizar la localización de una planta industrial”, compara y evalúa los siguientes métodos: ranking de factores, calificación del factor cualitativo, análisis dimensional, método de Brown y Gibson y el proceso jerárquico analítico (AHP); y llega a la conclusión de que este último optimiza el proceso de localización, ya que al escatimar el grado de subjetividad permite una adecuada evaluación de los factores cualitativos. También, es preciso mencionar que esta metodología o modelo no solo se aplica en este tema, dado que, es muy utilizada en el marketing, economía, planificación urbana, producción, etc. [45]. Por ejemplo, sin ir muy lejos, en la elaboración de un plan de mantenimiento utilizando la metodología RCM, hay una etapa conocida como análisis de criticidad y en esta es donde se aplica el AHP, pues al ser un método netamente cuantitativo se pueden obtener resultados más fidedignos [46].

Por todo lo mencionado anteriormente, el proceso jerárquico analítico fue el utilizado para determinar la micro localización de la planta (el desarrollo de dicha metodología se encuentra en el anexo 16). Los resultados finales que se obtuvieron al aplicar el modelo fueron los siguientes: un valor de 0,3182 para Mórrope, 0,3634 para Lambayeque y 0,3184 para Chiclayo, por lo tanto, la planta de bioplástico tendrá su ubicación en el distrito de Lambayeque, debido a que obtuvo un valor más alto, en comparación con los demás distritos.

### Proceso productivo y tecnología

Determinada la localización de la planta, el siguiente paso fue definir el proceso productivo, para ello se tomó como base las investigaciones de Papa *et al.* [10], Valentino *et al.* [47] y Scaglia *et al.* [25].

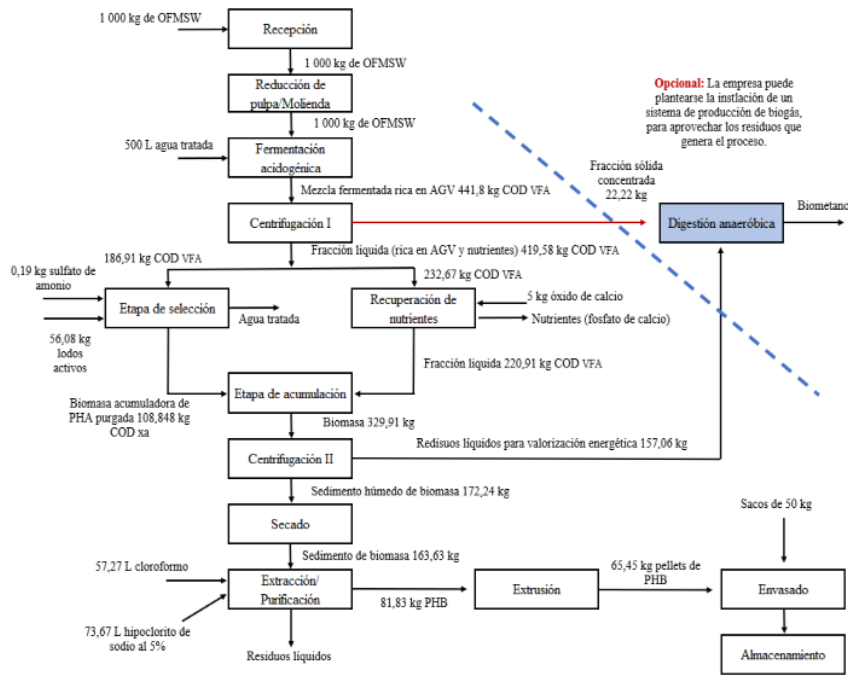
El proceso tiene su génesis en la recepción de la materia prima, que no es más que la fracción orgánica de los residuos sólidos municipales. Luego de la recepción el insumo pasará por unos molinos que se encargarán de reducir su pulpa, con el fin de obtener un producto muy similar a una suspensión. Terminada la reducción, el WIP (work in progress) pasa rápidamente por unos tanques agitadores donde se mezcla con agua tratada, dicha mezcla será el insumo principal para una de las etapas más relevantes del proceso, la fermentación acidogénica. Este proceso unitario tiene como propósito conseguir una corriente rica en ácidos grasos volátiles (AGV), que vienen a ser son los principales precursores de PHA. La fermentación se lleva a cabo de manera continua y en biorreactores anaeróbicos, en los cuales es necesario hacer

seguimiento a parámetros tales como: el pH, la temperatura, el tiempo de retención hidráulica, entre otros.

Básicamente en esta etapa, bacterias acidogénicas se encargarán de convertir el sustrato orgánico en AGV. Obtenida la corriente rica en ácidos orgánicos, lo que sigue es una operación unitaria de centrifugación cuyo objetivo es separar la parte sólida y líquida de la corriente. La primera parte se almacenará en grandes contenedores de residuos, para su posterior venta a empresas de valorización que se encuentren cerca de la región y la segunda pasará a ser dividida en dos sub corrientes. Es imprescindible mencionar que se busca que la fracción líquida tenga un nivel de sólidos suspendidos por debajo de los 10,0 g/L. Listas las sub corrientes, una va dirigida al biorreactor de selección y la otra va a un proceso de recuperación de nutrientes.

Ya situado el flujo líquido en el reactor se procede a inocularle lodos activos (cultivos microbianos mixtos) para que inicie la fase de crecimiento. Estos microorganismos al estar en un medio rico en nutrientes, fuentes de carbono y sales minerales, tienden a crecer y multiplicarse, por ello, se le conoce a esta etapa como crecimiento o festín (a medida que los microorganismos crecen se produce biomasa celular). Finalizada la etapa de crecimiento, la biomasa pasa a otro reactor en donde se llevará a cabo la etapa de acumulación; aquí la masa biológica es introducida al reactor junto con la corriente líquida que había sido enviada a la recuperación de nutrientes. En este proceso los microorganismos responden a la limitación de nutrientes acumulando PHA en su interior, obteniendo, al concluir el proceso, células que contienen polihidroxialcanoatos como inclusiones celulares. Resaltar también, que durante las etapas de crecimiento y acumulación es crítico supervisar la aireación y agitación en los reactores. Dispuesta la biomasa rica en PHA, está es centrifugada y secada para posteriormente extraer y purificar el bioplástico. Una vez ya obtenido el bio material, se procede a darle forma de pellets a través de la extrusión, proceso mediante el cual el material se calienta, extruye, enfría y corta. Como etapa final el producto es envasado y unitarizado en el almacén.

La figura 1 muestra todo el proceso mencionado y el balance de masa correspondiente, con el cual se puede notar que para producir un kilogramo de PHB se necesitan 15,3 kg de OFMSW. Además, también se puede apreciar que para llevar a cabo el proceso se necesitan de ciertos insumos como son: el agua tratada, el sulfato de amonio, los lodos activos, el óxido de calcio, el cloroformo y el hipoclorito de sodio al 5%.



**Figura 1: Balance de masa del proceso productivo**

Fuente: Elaboración propia. En base a Papa *et al.* [10], Valentino *et al.* [47] y Scaglia *et al.* [25].

Antes de continuar con el desarrollo del estudio es conveniente indicar que, en varias etapas del proceso productivo, el tiempo de procesamiento, no está determinado por la capacidad de la maquinaria (cantidad que se puede llegar a procesar por hora), sino, por otro tipo de factores, tales como: el tipo de sustrato, los microorganismos utilizados, el volumen del biorreactor, las condiciones de operación, el monitoreo y control, etc. Por ejemplo, la fermentación acidogénica puede llegar a durar unos pocos días o inclusive varias semanas, el tiempo estará condicionado por algunos de los factores anteriormente mencionados. El presente trabajo de investigación tomó como referencia un tiempo de 12 días [48], asimismo, para las siguientes etapas: selección, recuperación de nutrientes y acumulación, donde suele ocurrir lo mismo (tiempo supeditado a las condiciones del proceso), se toma como referencia un tiempo de duración de 10, 7 y 5 días respectivamente. Estos datos son imprescindibles para el desarrollo de cálculos posteriores.

Algo más que se debe señalar en cuanto al proceso, es que la planta industrial no utilizará un sistema de producción intermitente, modular o por proyectos, todo lo contrario, la producción será continua, es decir, el material fluirá de manera constante a lo largo de la línea de

producción, no habrá interrupciones. Además, el proceso será totalmente automatizado (a excepción del envasado), se fabricará solo un artículo estándar (sacos de PHB) y a medida que el material se mueva será procesado; estas 3 características también justifican el sistema de producción empleado.

Determinado el proceso productivo se procedió a elaborar el plan de producción, que como bien dice su nombre, establece las cantidades a producir en determinados periodos de tiempo. Para la elaboración de dicho plan se tomó en cuenta la demanda del proyecto, la cantidad de lotes que se pueden llegar a producir de manera mensual y anual; y el tamaño de los lotes de producción para cada año. El segundo dato fue clave y se estimó teniendo en cuenta el cuello de botella del proceso: la fermentación acidogénica. Vale decir, que para la primera entrega de producción (primer lote producido), el lead time estaría establecido por la suma de los tiempos de cada operación, sin embargo, ya para la segunda entrega y posteriores, el ritmo de producción lo determinaría el cuello de botella, en otras palabras, cada 12 días se tendría un lote de producto terminado. Con este dato en mente, se podría estimar cuantos lotes se pueden llegar a producir por año, el tamaño óptimo de cada lote y, además, en que momentos del año sería conveniente parar para realizar actividades de mantenimiento general o limpieza exhaustiva de los equipos, todo esto sin perjudicar el programa de producción. La tabla 2 muestra el resumen del plan de producción para el horizonte de tiempo objetivo, en el cual se puede observar que para el 2023 se espera una producción anual de 6 020 unidades y para el 2027 la producción esperada sería de 7 830 unidades. Paralelamente, el tamaño de lote de producción para el primer año citado sería de 215 unidades y para el último año de 270.

**Tabla 2: Plan de producción de PHB para el periodo 2023 – 2027 (en sacos de 50 kg)**

Año	2023	2024	2025	2026	2027
Necesidades netas	5 560	6 100	6 580	7 260	8 200
Inventario inicial	-	460	885	650	640
Producción	6 020	6 525	6 345	7 250	7 830
Inventario final	460	885	650	640	270

**Fuente: Elaboración propia.**

Posterior al plan de producción, se procede a realizar el listado de materiales y a calcular su índice de consumo, es decir, cuánto de cada material se necesita para producir una unidad. Este último dato es fundamental, ya que será la cimentación para la elaboración del MRP, que de acuerdo a Render *et al.*[49] y Chase *et al.* [50] es una parte de suma significancia dentro de la administración de operaciones.

El índice de consumo de cada material para la producción de un saco de PHB se muestra en el anexo 17, en el, se observa que para obtener un SKU el proceso demanda de 0,76 t de OFMSW, 42,84 kg de lodos activos, 0,38 m<sup>3</sup> de agua tratada, 43,75 L de cloroformo, entre otros. Con estas premisas listas y realizado el plan de producción se deriva el MRP, el cual está detallado en la tabla 3.

**Tabla 3: MRP para el período 2023 - 2027**

<b>Materiales</b>	<b>2023</b>	<b>2024</b>	<b>2025</b>	<b>2026</b>	<b>2027</b>
<b>Directos</b>					
OFMSW (t)	4 598,92	4 984,71	4 847,20	5 538,57	5 981,65
Lodos activos (kg)	257 896,80	279 531,00	271 819,80	310 590,00	335 437,20
Agua tratada (m <sup>3</sup> )	2 299,46	2 492,35	2 423,60	2 769,28	2 990,83
Óxido de calcio (kg)	22 996,40	24 925,50	24 237,90	27 695,00	29 910,60
Sulfato de amonio (kg)	859,60	931,70	906,00	1 035,23	1 118,05
Hipoclorito de sodio al 5% (L)	338 805,60	367 227,00	357 096,60	408 030,00	440 672,40
Cloroformo (L)	263 375,00	285 468,75	277 593,75	317 187,50	342 562,50
<b>Indirectos</b>					
Saco de kraft hermético	6 020,00	6 525,00	6 345,00	7 250,00	7 830,00

**Fuente: Elaboración propia.**

De acuerdo al requerimiento de materiales, para el año 2023 se necesitarán más de 4,5 kt de OFMSW (insumo principal) y para el 2027 cerca de 6 kt, por ende, es necesario calcular la disponibilidad de la MP, dado que de esta manera se puede confirmar que el proyecto no tendrá problemas de desabastecimiento y podrá cumplir con el plan de producción establecido. Para estimar si hay disponibilidad de MP, primeramente, se recolectaron datos históricos de la cantidad de OFMSW que se generó en el distrito de Lambayeque y que no se llegó a valorizar, y, en segundo lugar, se procedió a realizar una análisis temporal. Para proyectar los valores futuros de la variable target se utilizó el método de Winters, puesto que presentó un mejor ajuste y menores medidas de error. Los valores proyectados demostraron que habrá una buena disposición de MP para ejecutar el proyecto (véase el anexo 18).

En cuanto a los suppliers, para el abastecimiento del insumo principal, la empresa se pondrá en contacto y gestionará con la Municipalidad Distrital de la Lambayeque todo el tema concerniente a la adquisición de los residuos. Por otro lado, el agua tratada y los lodos activos, serán surtidos por la empresa Epsel S.A., dicha organización cuenta con 25 plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en la provincia de Chiclayo [52]. Para finalizar, Productos Industriales Perú, Hydrotech Perú Import E.I.R.L. y Química Industrial Perú, serán

los surtidores de los insumos químicos y PROCOMSAC será la surtidora de los envases primarios. Los precios de venta de cada surtidor se muestran en el anexo 17.

Respecto a la maquinaria y equipos que serán empleados en el proceso productivo, la tabla 4 muestra el listado de los equipos más relevantes y el anexo 20 detalla todo el proceso de selección, desde la identificación de factores que determinarán la decisión de compra hasta las opciones seleccionadas. En resumen, los factores que se tomaron en cuenta para elegir los equipos fueron los siguientes: proveedor, lugar de procedencia, precio, consumo de energía, capacidad, área que ocupa y existencia de refacciones en el país. El factor con mayor importancia fue la capacidad (con un peso de 20,83%), esto debido, a que se busca que el material fluya en forma continua y no se generen cuellos de botella o se tenga mucha capacidad ociosa. También, indicar que en el anexo 20 se mencionan y detallan algunos equipos complementarios que serán necesarios para la ejecución del proceso, por ejemplo, los tanques de almacenamiento para los insumos químicos y el agua tratada, el separador magnético, la balanza electrónica para el pesaje del camión de MP, entre otros. Por otro lado, de acuerdo a la maquinaria seleccionada se estima un consumo de energía de 76,36 MW para un lote de 215 sacos y para el primer año, en el cual se producirán un total de 28 lotes, se estima una demanda energética de 2,14 GW (véase el anexo 19).

**Tabla 4: Equipos necesarios para cada etapa del proceso**

<b>Etapas del proceso productivo</b>	<b>Equipo necesario</b>
Reducción de pulpa / Molienda	Molino de rodillos
Fermentación acidogénica	Biorreactor anaeróbico
Centrifugación I	Centrífuga industrial
Etapas de selección	Biorreactor aeróbico
Recuperación de nutrientes	Tanque de precipitación
Etapas de acumulación	Biorreactor aeróbico
Centrifugación II	Centrífuga industrial
Secado	Secador rotativo
	Lavadora industrial o túnel de lavado
Extracción	Homogeneizadores de alta presión
	Centrífuga industrial
Extrusión	Peletizadora
Envasado	Balanza digital
Almacenamiento	Montacargas y pellets

**Fuente: Elaboración propia**

Acerca de los indicadores de producción, el proceso tendrá un performance con respecto a su insumo principal de 6,54%, asimismo, para la capacidad instalada, real y la utilización de planta se tuvo en consideración lo siguiente: <sup>65</sup> para el cálculo de la capacidad de diseño se toma como meollo el cuello de botella (la fermentación acidogénica), cuya capacidad del biorreactor es de 300 m<sup>3</sup>, trabajando a su plena capacidad se pueden obtener 294 sacos, vale decir, que el tamaño máximo de un lote de producción puede ser de 294 unidades. Para el primer año, teniendo en cuenta que el primer lote de producto terminado se obtiene a los 29 días y para los siguientes el tiempo de entrega es de 12 días, se pueden llegar a producir 28 lotes, 28 x 294, da como resultado la capacidad instalada <sup>1</sup> para el primer año. Para los siguientes años: 2024, 2025, 2026 y 2027; teniendo en cuenta el lead time se pueden llegar a producir 31, 30, 31 y 30 lotes de producto terminado respectivamente. Al multiplicar la cantidad de lotes que se pueden llegar a producir por año por el tamaño máximo del lote, se obtiene la capacidad instalada para cada año. La capacidad real está determinada por el plan de producción y la utilización de planta es igual a la división <sup>26</sup> entre la producción real y la capacidad de diseño. A continuación, <sup>71</sup> en la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos.

**Tabla 5: Capacidad de planta**

Año	Cantidad de lotes que se pueden llegar a producir	Capacidad instalada	Producción real	Utilización	Tamaño del lote
2023	28	8 232	6 020	73,13%	215
2024	31	9 114	6 525	71,59%	225
2025	30	8 820	6 345	71,94%	235
2026	31	9 114	7 250	79,55%	250
2027	30	8 820	7 830	88,78%	270

Fuente: Elaboración propia.

Otro punto relevante dentro del desarrollo del estudio técnico, es el cálculo del número operarios de producción o mano de obra directa (MOD), si bien hay fórmulas matemáticas <sup>25</sup> para el cálculo del número teórico de operarios como la que establecen Rajadell y Sánchez [53] <sup>133</sup> en su libro “Lean Manufacturing la evidencia de una necesidad”, que suele ser muy aplicada en el ámbito operativo, para este caso en particular no aplica, ya que el proceso es totalmente automatizado y todo se manejará a través de un sistema SCADA, por lo tanto, en cuanto a mano de obra solo se necesitará a un maquinista especializado que se encargue de supervisar dicho sistema. El envasado será la única etapa del proceso que se realizará de manera manual, al realizarse cada 12 días lo conveniente será delegar esta función a un tercero. Hay personas naturales que realizan las tareas de envasado, cobran por unidad y tienen una alta eficiencia al

ejerger esta tarea, pues al realizarla de manera muy repetitiva tiene un buen control del tiempo y de las mermas.

#### Determinación de las áreas de trabajo necesarias

Una vez que se han determinado y justificado los equipos, mano de obra y el proceso productivo, es necesario calcular el tamaño físico de las áreas que tendrá la planta industrial, las cuales van más allá del proceso de producción. De hecho, la planta contará con las siguientes áreas: área de recepción o pesaje de materia prima, área de mantenimiento, de saneamiento, de producción, almacenes de materia prima y producto terminado, sala de control, laboratorio de control de calidad, oficinas administrativas y de producción, servicios higiénicos, estacionamiento, comedor, áreas verdes, vigilancia y, por supuesto, un área de desechos. Para calcular la superficie de cada una de las áreas mencionadas se toma como referencia el estudio de Plua [40], el cual sirve como una guía para la aplicación del famoso método de Guerchet, y también se tomaron en cuenta los estatutos del Reglamento Nacional de Edificaciones [41] y algunas consideraciones que establece Baca [26] en su libro “Evaluación de proyectos”.

Para empezar, se calculó la superficie del almacén de materia prima e insumos, algo que se debe mencionar, es que en dicho almacén solo se almacenarán 3 materiales: el sulfato de amonio, la cal y los sacos, esto debido a que la OFMSW, el agua tratada y los demás productos químicos, estarán almacenados dentro del área de producción, ya sea en tanques de almacenamiento en caso de los líquidos y en un muelle de descarga en el caso del material sólido (OFMSW). Para calcular el área del almacén de MP e insumos Baca [26] recomienda usar el concepto de lote económico de la teoría de inventarios. El resultado de dicho cálculo (que vendría a ser la cantidad óptima de compra) multiplicado por el área que puede llegar a ocupar cada unidad adquirida, nos da una estimación de la superficie que debe de tener el almacén. A continuación, se muestran el cálculo del lote económico para cada uno de los insumos que alojará el almacén. En cuanto al costo del departamento de compras se estima un valor de S/ 275,4 y el costo de mantener inventario de 0,2.

$$LE_{cal} = \sqrt{\frac{2 \times 29\,910,6 \times 275,4}{0,2 \times 1,72}} = 6\,920,39 \text{ kg} \sim 139 \text{ sacos}$$

$$LE_{sulfato} = \sqrt{\frac{2 \times 1\,118,05 \times 275,4}{0,2 \times 1,2}} = 1\,118,05 \sim 22 \text{ sacos}$$

$$LE_{sacos} = \sqrt{\frac{2 \times 7\,830 \times 275,4}{0,2 \times 0,9}} = 4\,895 \text{ sacos}$$

Obtenidos los lotes económicos para cada uno de los materiales, se procede a estimar el área que se necesitará para su almacenaje. Para la cal, como bien se sabe se deben de pedir 139 sacos, el proveedor mandará dicha cantidad en pallets de dimensiones estándar. Cada pallet que enviará el proveedor tendrá 32 sacos de cal, por lo tanto, si envía 139 sacos a la planta industrial, estarán llegando 5 pallets de este insumo, teniendo en cuenta que un pallet tiene un área de 0,96 m<sup>2</sup>, por lo menos, el almacén debe tener una superficie de 4,8 m<sup>2</sup> para almacenar la cal. En caso del sulfato de amonio, la cantidad solicitada solo serán 22 sacos, los cuales caben perfectamente en un solo pallet, por tanto, el almacén debe de contar con un área de 0,96 m<sup>2</sup> para alojar este insumo; para los sacos, sucede prácticamente lo mismo, el surtidor puede enviar tranquilamente la cantidad de sacos demandados en un pallet, en consecuencia, para almacenar los tres materiales se debe tener un área de 6.72 m<sup>2</sup>, sin embargo, aquí no finaliza el cálculo, ya que se debe de añadir el espacio de maniobras del montacargas, el cual se estima en 21,57 m<sup>2</sup> y también dentro del almacén se contará con un área de trabajo para el almacenista, cuya superficie será de 8,21 m<sup>2</sup>.

Determinada la superficie para el almacén de MP, se calcula la superficie para el segundo almacén, en este caso, no se sigue el enfoque del lote económico, en su lugar Baca [26] plantea que deben de tenerse en cuenta las consideraciones que tendrá el área de ventas y de producción, por ejemplo, la frecuencia de los despachos. Para el presente proyecto los despachos se realizarán de manera mensual, por ende, el almacén de PT debe tener la capacidad de alojar lo producido en 30 días hábiles. Tomando como referencia que el año 5 de operación la planta tendrá una mayor participación de mercado y utilización de capacidad instalada, se pueden llegar a producir 810 sacos en un mes, por tanto, el almacén debe tener la capacidad de almacenar dicha cantidad. Teniendo en cuenta que cada pallet tendrá 32 sacos de PT, se necesitarán espacio para alojar 26 pallets, los cuales pueden ser apilados de dos en dos para reducir y optimizar el espacio. Como resultado el almacén debe contar con una superficie de 12,48 m<sup>2</sup> para almacenar el producto terminado y 21,57 m<sup>2</sup> para el espacio de maniobras del montacargas.

Respecto al área de producción, para hallar la superficie requerida se utilizan las dimensiones de los equipos y maquinarias que se emplearán en el proceso de obtención de PHA, incluyendo los equipos complementarios. La superficie requerida para esta área será de 2 167,01 m<sup>2</sup> (véase el anexo 23), asimismo, citar también que se tendrá una sala de control, donde se llevará a cabo toda la supervisión operativa del proceso, el territorio de dicha sala será de 18,42 m<sup>2</sup> y encima de ella, es decir, en la segunda planta, estará ubicada la oficina de producción.

Por otra parte, para el laboratorio de control de calidad serán necesarios 20,41 m<sup>2</sup>, para el área de saneamiento 54,02 m<sup>2</sup>, para el área de mantenimiento 76,88 m<sup>2</sup> y para el área de desechos 177,24 m<sup>2</sup>, esto se debe a que los contenedores de residuos tendrán una vasta capacidad. El área administrativa, compuesta por las oficinas, la sala de espera y la sala de reuniones, tendrá una superficie de 130,79 m<sup>2</sup>. Otras áreas comunes como el comedor, el estacionamiento, los servicios higiénicos, la caseta de vigilancia y el patio de maniobras tendrán las siguientes superficies: 44,65 m<sup>2</sup>, 114 m<sup>2</sup>, 36,19 m<sup>2</sup>, 5,72 m<sup>2</sup> y 635,7 m<sup>2</sup> respectivamente. Para finalizar el área de recepción de MP será de 72 m<sup>2</sup>, debido a las dimensiones de la balanza electrónica para el pesaje de los camiones; y el área verde, la cual está destinada a prevenir futuras expansiones tendrá una superficie correspondiente al 10% del área total. La tabla 6 muestra cada uno de los resultados anteriormente mencionados y también detalla la superficie total con la que debe contar la compañía para montar sus operaciones.

**Tabla 6: Área total de la planta**

Área	Superficie mínima(m <sup>2</sup> )
Área de recepción o pesaje de MP	72,00
Almacén de MP	36,50
Álmacen de PT	33,60
Área de producción	2 167,01
Área de mantenimiento	76,88
Sala de control	18,42
Laboratorio de control de calidad	20,41
Área de saneamiento	54,02
Área administrativa	130,79
Servicios higiénicos del área administrativa	12,72
Servicios higiénicos de producción y vestidores	23,47
Patio de maniobras y zona de embarques	635,70
Vigilancia	5,72
Estacionamiento	114,00
Comedor	44,65
Área verde	362,36
Área de desechos	177,74
<b>Área total</b>	<b>3 985,99</b>

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se determinó la disposición ideal de las áreas que forman parte de la planta mediante el método Systematic Layout Planning (SLP), tomando en cuenta la superficie real de estas áreas.

Para ello, se determinó que tan próximas o alejadas deben situarse un área de la otra mediante una tabla y diagrama relacional, obteniendo así que tanto el almacén de materia prima como el de producto terminado deben localizarse próximos al área de producción, y este a su vez debe localizarse especialmente cerca de los servicios higiénicos, área de mantenimiento y laboratorio de control de calidad. Además, ambos almacenes deben localizarse especialmente cerca del patio de maniobras, al igual que el área de administración con respecto a los servicios higiénicos. Finalmente, el comedor debe situarse a una distancia regular del área de producción, de administración, de mantenimiento y laboratorio, mientras que el área de administración debe localizarse lo más distante al área de desechos (ver anexo 24).

#### Control de calidad y organigrama

Controlar la calidad de un producto resulta ser imprescindible en la operación de una planta industrial, puesto que, la calidad es un factor que puede dictaminar la aceptación o rechazo del cliente. Para el producto a elaborar, PHB, se deben de realizar una serie de pruebas que garanticen que el SKU cumple con los estándares requeridos para su uso en aplicaciones comerciales. Dentro de las múltiples pruebas, las más utilizadas y relevantes son las siguientes: la prueba de infrarrojo espectral con transformada de Fourier (IR – FT), el análisis termogravimétrico, la cromatografía de permeación en gel y la cromatografía de gases; por ende, sin falta, el laboratorio de calidad debe de contar con un espectrómetro IR – FT, un analizador termogravimétrico, un sistema de cromatografía de permeación en gel y un cromatógrafo de gases [56], [57], [58].

La primera prueba mencionada sirve para detectar impurezas y evaluar de manera rápida y precisa la composición química del biopolímero, la segunda, se emplea para estudiar la estabilidad térmica del PHA durante su uso y descomposición; y la tercera, se utiliza para determinar el peso molecular, debido a que este debe ser superior a 200 kDa [59]. Por último, la cromatografía de gases, se usa para cuantificar los AGV y otros metabolitos. Al contabilizar y analizar los perfiles de compuestos volátiles, se pueden ajustar las condiciones del proceso para maximizar la producción de PHA y minimizar la producción de productos no deseados. Asimismo, también resaltar que se deben de realizar ensayos de biodegradabilidad, los cuales deben seguir la normativa de la ISO 14855 [60].

Por otra parte, en cuanto a la estructura organizacional, está será de tipo funcional y se contará con un total de 26 colaboradores, incluyendo la alta dirección, los mandos medios y la base operativa. Se tendrá un gerente general, 8 jefaturas, 6 supervisores, un almacenero, un

operador de montacargas, 3 choferes de camión, 2 vigilantes, 3 operarios de limpieza y una persona encargada de las cámaras y el pesaje del camión de MP. Con respecto a las jefaturas, se tendrá un jefe de mantenimiento, de recursos humanos, de logística, de saneamiento, de seguridad y salud ocupacional, de contabilidad y finanzas; y de planta, este último tendrá un puesto multifuncional, ya que se encargará de gestionar a la par el área de producción y de calidad. Con relación a los supervisores, dos estarán en el área de producción, otros dos en mantenimiento y dos más para el área de calidad, cada uno de estos tendrán horarios rotativos y laborarán 12 horas, a partir de la octava hora de trabajo se les reconocerá el pago de horas extras, tal y como lo estipula el Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo [61]. Igualmente, hacer hincapié que debido a que la planta tendrá que estar operativa los 7 días a la semana, puesto que así lo demanda las condiciones operativas del proceso, se contratarán servicios externos para cubrir los días festivos y fines de semana, los puestos de supervisor de calidad y de producción. Ambos cargos son relevantes, en la monitorización y control del proceso.

Para finalizar, mencionar también, que la planta optará por establecer una lista de políticas que velen por el buen funcionamiento de la misma. Una de las más importantes, es la de ventas, la cual establece que los clientes al momento de realizar una compra deberán pagar inmediatamente al contado el 70% del valor de compra y lo restante lo pueden pagar hasta máximo 30 días después de haber efectuado dicha operación.

### **R3: Estudio para determinar la viabilidad económica del proyecto**

La inversión tangible se determinó en base a todos los bienes físicos que se utilizarán durante la vida útil de la planta industrial. Para ello, se tomó en cuenta el costo total del terreno requerido para la instalación de la planta, el cual es de S/ 518 000; el costo de construcción de la planta, así como el costo de las instalaciones eléctricas y sanitarias, los cuales se calcularon a partir de los costos unitarios de edificación para las localidades de la Costa establecidos por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento en la Resolución Ministerial N° 350-2021-Vivienda [62], dando un total de S/ 442 215 y S/ 25 000 respectivamente; el costo de máquinas y equipos de producción, transporte y almacenamiento provenientes de fabricantes chinos, cuya suma da un total de S/ 4 103 790,79; el costo de equipos, materiales y mobiliario de laboratorio, oficina, cocina y baños, que juntos constituyen un monto total de S/ 150 220,08. Por lo cual, la inversión tangible requerida para el presente proyecto da un total de S/ 5 239 225,86.

Por otra parte, la inversión intangible, consta del costo de planeación e integración del proyecto, la ingeniería del proyecto, la supervisión y administración del proyecto; y el costo de

la instalación y programación del software de automatización, sumando un total de S/ 458 432,26. El capital de trabajo requerido por la planta de producción para operar durante los meses en los que se genera utilidades negativas se calculó a partir de los ingresos y egresos totales detallados más adelante, dando un total de S/ 61 475,75. Posteriormente, se calculó la inversión total del proyecto, compuesta por la inversión tangible e intangible, el capital de trabajo y un monto equivalente al 5,0% del total, destinado a cubrir posibles imprevistos, dando un total de S/ 5 982 541,03. Cabe resaltar que, el 7,59% de esta inversión (S/ 454 079,63) la asumirá el promotor del proyecto, el 25,5% (S/ 1 528 461,41) la cubrirá un socio estratégico y el 66,86% restante (S/ 4 000 000) será financiado por medio de un préstamo a largo plazo (5 años) solicitado al Banco de Crédito del Perú (BCP), cuya tasa de interés anual es del 12,23%, lo cual implica una anualidad de S/ 1 115 968,37.

**Tabla 7: Resumen de la inversión total del proyecto**

Concepto	Inversión	Financiamiento	Promotor del proyecto	Socio estratégico
<b>Capital de trabajo</b>	S/ 61 475,75		S/ 61 475,75	
<b>Inversión tangible</b>				
Terreno y obra civil	S/ 985 215,00	S/ 985,215.00		
Maquinaria y equipos de producción	S/ 2 566 829,38	S/ 2 566,829.38		
Equipos del área de mantenimiento	S/ 8 500,00		S/ 8 500,00	
Equipos y materiales del laboratorio de calidad	S/ 81 591,08	S/ 81 209,81	S/ 381,27	
Equipos de transporte	S/ 1 528 461,41			S/ 1 528 461,41
Equipos para las oficinas, comedor y baños	S/ 68 629,00		S/ 68 629,00	
<b>Total de la inversión tangible</b>	<b>S/ 5 239 225,86</b>	<b>S/ 3 633 254,19</b>	<b>S/ 77 510,27</b>	<b>S/ 1 528 461,41</b>
<b>Inversión intangible</b>				
Planeación e integración del proyecto	S/ 157 176,78	S/ 157 176,78		
Ingeniería del proyecto	S/ 183 372,91	S/ 183 372,91		
Supervisión del proyecto	S/ 78 588,39		S/ 78 588,39	
Administración del proyecto	S/ 26 196,13	S/ 26 196,13		
Software de automatización	S/ 13 098,06		S/ 13 098,06	
<b>Total de la inversión intangible</b>	<b>S/ 458 432,26</b>	<b>S/ 366 745,81</b>	<b>S/ 91 686,45</b>	<b>0,00</b>
Imprevistos (5%)	S/ 284 882,91		S/ 284 882,91	
<b>Inversión total</b>	<b>S/ 5 982 541,03</b>	<b>S/ 4 000 000,00</b>	<b>S/ 454 079,63</b>	<b>S/ 1 528 461,41</b>
Porcentaje	100,00%	66,86%	7,59%	25,55%

Fuente: Elaboración propia.

El presupuesto de ingresos está dado por el plan de ventas realizado en el estudio de mercado, y el presupuesto de costos está dado por los costos de producción, gastos administrativos, gastos comerciales y gastos financieros. Los costos de producción están compuestos por los costos de

materiales directos e indirectos; costos de mano de obra directa e indirecta, calculados en base al sueldo o salario establecido para cada puesto laboral, al cual se debe agregar los beneficios sociales que exige el Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo (seguro de vida, gratificaciones, CTS, AFP, etc.) correspondiente al 51% del sueldo; costos de mantenimiento (repuestos y revisiones) y costos de suministros de electricidad, agua, gas y diésel, cuyas tarifas industriales se especificaron anteriormente; dando así un total de S/ 2 882 621,38 en el 2023 y S/ 3 652 235,02 en el 2027.

Por otro lado, los gastos administrativos, se calcularon tomando en cuenta los gastos en útiles y materiales de oficina, en sueldos de administrativos, y servicios de electricidad, agua, internet, telefonía y seguridad, dando un total de S/ 426 560; los gastos comerciales, se determinaron tomando en cuenta los gastos de publicidad, movilidad, sueldo del jefe comercial y distribución (documentos requeridos para exportar, gastos portuarios, agente de aduanas y transporte interno al puerto de Paita), dando un total de S/ 75 986; y los gastos financieros, se determinaron tomando en cuenta los intereses y amortizaciones del monto financiado.

**Tabla 8: Punto de Equilibrio**

Concepto	2023	2024	2025	2026	2027
<b>Costos de producción</b>					
Materiales directos	S/ 1,773,611.12	S/ 1,922,394.12	S/ 1,869,362.55	S/ 2,135,993.46	S/ 2,306,872.94
Materiales indirectos	S/ 5,418.00	S/ 5,872.50	S/ 5,710.50	S/ 6,525.00	S/ 7,047.00
Gastos de fabricación	S/ 1,103,592.25	S/ 1,232,794.61	S/ 1,239,931.31	S/ 1,305,400.49	S/ 1,338,315.08
<b>Costo variable total</b>	<b>S/ 2,882,621.38</b>	<b>S/ 3,161,061.23</b>	<b>S/ 3,115,004.36</b>	<b>S/ 3,447,918.95</b>	<b>S/ 3,652,235.02</b>
<b>Gastos operativos</b>					
Gastos administrativos	S/ 426,560.00	S/ 426,560.00	S/ 426,560.00	S/ 426,560.00	S/ 426,560.00
Gastos de ventas	S/ 75,986.00	S/ 77,336.00	S/ 78,936.00	S/ 80,286.00	S/ 81,486.00
Gastos financieros	S/ 1,115,968.37	S/ 1,115,968.37	S/ 1,115,968.37	S/ 1,115,968.37	S/ 1,115,968.37
<b>Costo fijo total</b>	<b>S/ 1,618,514.37</b>	<b>S/ 1,619,864.37</b>	<b>S/ 1,621,464.37</b>	<b>S/ 1,622,814.37</b>	<b>S/ 1,624,014.37</b>
Producción anual (sacos)	6,020.00	6,525.00	6,345.00	7,250.00	7,830.00
<b>Costo variable unitario</b>	<b>S/ 478.84</b>	<b>S/ 484.45</b>	<b>S/ 490.94</b>	<b>S/ 475.58</b>	<b>S/ 466.44</b>
Precio unitario	S/ 798.50	S/ 1,004.50	S/ 909.00	S/ 899.00	S/ 1,105.00
<b>Punto de equilibrio</b>	<b>5,064.00</b>	<b>3,115.00</b>	<b>3,879.00</b>	<b>3,833.00</b>	<b>2,544.00</b>

Fuente: Elaboración propia.

Es importante conocer la cantidad mínima de unidades que se deben vender para no presentar pérdidas, por lo cual, es conveniente calcular el punto de equilibrio a partir del cual se comienza a generar utilidades. En la tabla 8 se observan los resultados del punto de equilibrio económico y en unidades, la planta debe vender al menos 5 064 sacos de PHB en el primer año (2023), así como 2 544 sacos, en el quinto año (2027), para no ganar ni perder, lo cual quiere decir que, vendiendo una unidad por encima de estos resultados, la planta industrial empezaría a percibir utilidades.

En el anexo 24 se muestra el flujo de caja anual para los 5 años del proyecto, a partir del cual puede calcularse el Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR), indicadores que sirven para determinar la rentabilidad del proyecto. El saldo final del primer año (2023) será de S/ 458 131,48, y el saldo final del quinto año (2027) será de S/ 1 543 629,48, no obstante, este saldo final será negativo en el año 0 del proyecto (2022), cuya inversión de S/ 1 982 541,03 le corresponde al promotor del proyecto y socio estratégico.

Considerando una tasa de inflación de 3,4%, reportada por el Banco Central de Reserva del Perú, y una ganancia esperada del 7%, 10% y 15% para el promotor, socio estratégico y entidad bancaria respectivamente, se calculó una Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento (TMAR) de 18,91%. La Tasa Interna de Retorno (TIR) se calculó a partir flujo neto de efectivo (saldo final) del flujo de caja, dando como resultado una TIR de 55,15%, siendo esta TIR mayor que la TMAR, demostrando que el proyecto es rentable y viable económicamente. El Valor Actual Neto (VAN) del proyecto es de S/ 2 570 683, 74 siendo este mayor que cero, por lo cual, se confirma la viabilidad económica del proyecto.

#### Evaluación de la viabilidad medioambiental

Así como es necesario evaluar la parte comercial, técnica y financiera de un proyecto, la parte ambiental no se debe dejar de lado, ya que, si bien la instalación de una planta propicia el desarrollo económico de la región en la que se ubica, a través del incremento del PBI industrial y la creación de empleo, esto no le da lugar para que muestre una postura conservadora ante el tema ambiental. Por tal motivo, resulta fundamental realizar una evaluación del impacto ambiental (EIA) para determinar que tanto puede afectar la entrada en operación de la planta y buscar o establecer medidas para mitigar su impacto.

Para el desarrollo de la EIA de la planta de bioplásticos se utilizó uno de los métodos matriciales más empleados, la matriz de interacciones de Leopold, como bien se sabe existen una vasta cantidad de metodologías, sin embargo, Coria [1] menciona que, en cuanto a

metodologías matriciales causa – efecto, Leopold y Battelle – Columbus son las más referenciales.

En el desarrollo de la matriz se tuvieron en cuenta dos etapas: la de pre operación (construcción e instalación), y la operación de la planta industrial, los impactos que se identificaron en la primera etapa fueron los siguientes: deterioro de la calidad del aire debido a la generación de diferentes tipos de polvo y partículas, y la generación de gases de efecto invernadero provenientes de la maquinaria pesada. Contaminación acústica por el ruido que generan los equipos; y la compactación, erosión y contaminación del suelo, debido a la maquinaria pesada y a la remoción de vegetación y movimiento de tierras. Como impacto positivo se identificó a la generación de empleo.

En la segunda etapa, la de operación, los impactos identificados fueron los siguientes: la contaminación del aire debido al alto consumo energético que demanda todo el proceso; la generación de residuos sólidos provenientes de la centrifugación I; la generación de residuos líquidos provenientes de la selección, centrifugación II y la extracción; la generación de residuos industriales producto del mantenimiento de los equipos; y los accidentes y enfermedades laborales. Al igual que en la primera etapa, el impacto positivo identificado fue la generación de trabajo y el crecimiento económico de la región.

La figura 2 muestra la matriz de Leopold y en ella se observa que los resultados que arrojó dicha metodología demostraron que el factor más afectado con la puesta en marcha de la planta, es el abiótico (en especial el aire) y el menos afectado es el sociocultural. Asimismo, la etapa del proceso productivo con mayor agresividad es la extracción, ya que arroja un impacto de -80, esto debido principalmente a que en esta etapa se emplean grandes cantidades de solventes químicos, los cuales además de ser nocivos para el ser humano, dificultan en gran medida el tratamiento de los efluentes líquidos (en la fase de extracción se generan residuos líquidos que contienen restos de solventes, los cuales son difíciles de tratar y deben ser gestionados de manera idónea para evitar la contaminación de cuerpos de agua superficiales). Por último, como resultado global, el impacto ambiental que generaría la construcción y operación de la planta es de -374.

Factores ambientales		Acciones		Etapa de construcción			Etapa de operación de la planta										Afectaciones		Impacto					
				Acarreo de materiales de construcción	Despeje y nivelación del terreno	Obras civiles iniciales	Edificación de la planta	Transporte y recepción de la materia prima	Reducción de pulpa / Molienda	Fermentación acidogénica	Centrifugación I	Etapa de selección	Recuperación de nutrientes	Etapa de acumulación	Centrifugación II	Secado	Extracción	Extrusión		Envasado	+	-		
A. Características físicas y químicas	Suelo	Calidad del suelo	-2	-6	-5	-6															0	4	-53	
		Calidad del aire	-2	-5	-6	-6	-2	-4	-7	-3	-5	-6	-6	-3	-3	-7	-3	-1				0	16	-186
	Aire	Ruido	-1	-6	-6	-6	-1	-2	-4	-3	-3	-3	-4	-3	-3	-1						0	9	-71
		Calidad del agua				-3										-8						0	2	-30
B. Condiciones biológicas	Flora	Flora y vegetación		-4																	0	1	-12	
		Animales terrestres		-5																		0	1	-15
	Fauna	Animales acuáticos													-5							0	1	-15
		Animales aéreos		-5																		0	1	-15
C. Sociocultural y de interés humano	Empleo y estilo de vida	Salud y seguridad	3	4	4	5	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	16	0	77	
		Salud y seguridad	-2	-2	-3	-4	-2	-2	-2	-3	-3	-1	-3	-3	-3	-5	-3	-2				0	11	-74
		Desarrollo económico				5	2															2	0	28
D. Relaciones ecológicas	Salinización de recursos hídricos	Salinización de recursos hídricos																			0	0	0	
		Eutroficación													-4							0	1	-8
		Insectos vectores de enfermedades																				0	0	0
		Cadenas tróficas																				0	0	0
		Salinización del terreno																				0	0	0
		Aumento del área arbustiva																				0	0	0
Afectaciones	+	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	18	47	-374		
	-	4	7	4	5	3	3	1	3	1	2	1	3	1	5	2	2						47	
Impacto			-3	-78	-37	-36	13	-21	-18	-27	-12	-18	-15	-27	-6	-80	-9	0						-374

**Figura 2: Matriz de Leopold**

**Fuente: Elaboración propia. En base a Verd [2], Gurielf y Lant [3], y Siddeaq *et al*[4].**

100

Posterior a la determinación del impacto se procedió a establecer medidas de mitigación con la finalidad de atenuar las consecuencias negativas. Para la etapa de instalación, donde se ven aquejados factores abióticos como el suelo y el aire, se propuso la prohibición de equipos de construcción excesivamente contaminantes, el monitoreo regular de la calidad del aire y la cubrición adecuada de los materiales de construcción (tierra excavada, arena, grava, etc.) para minimizar la deriva del viento. Además, se instalarán barreras acústicas, se esparcirá la capa superior del suelo (para mantener la actividad biológica y fisicoquímica del suelo) y a través de la estrategia 3R (reducir, reciclar y reutilizar) se buscará reducir la cantidad de sedimentos, basura, escombros, aceites y grasas y otro tipo de desechos.

Durante la etapa de operación, para reducir el riesgo o la exposición al ruido que generan las etapas de centrifugación, molienda y secado; se instalarán silenciadores y paneles acústicos, además, para prevenir accidentes o enfermedades laborales, se le proporcionará al personal los EEP adecuados y se les capacitará de manera constante. En cuanto a la gestión de los residuos que generará el proceso, los sólidos serán almacenados en grandes contenedores para su posterior comercialización a empresas de valorización. Los líquidos o efluentes, también se

112

almacenarán y serán llevados a una <sup>34</sup> Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) para su respectivo, valga la redundancia, tratamiento. Por último, los residuos industriales, producto de las acciones de mantenimiento, serán almacenados y comercializados a empresas recicladoras.

El costos de mitigar el impacto ambiental (adquirir los dispositivos, EPP y el traslado y tratamiento de los efluentes en la PTAR) tienen un valor de S/ 21 233,41 para el primer año y ascienden a S/ 23 464,30 en el quinto.

### Discusiones

Los resultados del primer objetivo indican que hay un mercado muy significativo para los bioplásticos. La demanda muestra una gran oportunidad <sup>67</sup> y se espera que esta tendencia continúe durante los próximos cinco años según las proyecciones realizadas. La oferta nacional no logra cubrir esta demanda, lo que resulta en que más del 50% del bioplástico se importa para satisfacerla.

En este contexto, <sup>2</sup> las condiciones de la demanda, la disponibilidad de materia prima y la escasez de oferta nacional de bioplástico definen una oportunidad para establecer una planta de producción de pellets de PHA. Esto permitiría atender parte de la mencionada demanda insatisfecha, lo que lleva <sup>35</sup> a la conclusión de que el proyecto es viable desde una perspectiva comercial.

Adicionalmente, investigaciones similares han respaldado la viabilidad comercial de los bioplásticos. Por ejemplo, el estudio realizado por Correa [51] demuestra que el mercado potencial para productos biodegradables presenta una tendencia a la alza, especialmente porque <sup>2</sup> la oferta nacional actual no satisface la demanda existente. Además, <sup>8</sup> existe un creciente interés en sustituir los plásticos convencionales por alternativas biodegradables debido a las preocupaciones ambientales.

Los resultados del segundo objetivo señalan que la ubicación de la planta de producción de bioplástico será <sup>1</sup> en el distrito de Lambayeque. Esta decisión se basa en un análisis exhaustivo de factores a nivel micro.

En cuanto al proceso productivo, se ha establecido siguiendo la investigación propuesta por Valentino *et al.* [25], el cual establece un rendimiento de 6,54 %, es decir, que para obtener un kilogramo de PHA se necesitan 15,3 kg de OFMSW. En contraste, el estudio de Papa *et al.* [10],

obtiene un rendimiento mucho menor, ya que para obtener un kilogramo de PHA se necesitan por lo menos 30 kg de OFMSW. La diferencia radica en las condiciones del proceso.

En cuanto a la selección de la tecnología, se evaluaron diversas cotizaciones y catálogos en función de las capacidades del proceso. Además, se calculó el área total de la planta utilizando el método Guerchet, resultando en un área de 3 986 m<sup>2</sup>. Este proyecto se considera viable desde una perspectiva técnica.

A partir de la evaluación económica financiera, se determinó un VAN de S/ 2 570 683, 74 y una TIR de 55,15%, mucho mayores que los resultados obtenidos por Correa [63], cuyo proyecto presenta un VAN de US\$ 308 663 y una TIR de 54,0%, lo cual podría deberse a que su proyecto requiere de una inversión inicial de US\$ 651 230, mientras que para el presente proyecto se requiere una inversión superior a los cinco millones de soles, es decir, un monto equivalente a casi el doble, pese a que en ambos proyectos se propone una planta de producción de PHA con una capacidad real similar. Estos resultados también se aproximan a los obtenidos por Guerra [68], cuyo proyecto presenta un VAN de US\$ 458 298 y una TIR de 23,0%, debido a que su proyecto requiere de una inversión inicial de US\$ 1 686 513, menor que la inversión del presente proyecto, no obstante, su proyecto genera unos ingresos brutos de US\$ 2 709 000 en el quinto año. Por consiguiente, se está de acuerdo con ambos autores citados, pues, pese a reportar resultados distintos a los del presente estudio, estos demuestran que es viable económica y financieramente la instalación de una planta de producción de PHA con una capacidad mayor a 50 toneladas de PHA al año.

### Conclusiones

La propuesta instalación de una planta productora de bioplásticos a partir de los residuos orgánicos generados en el distrito de Lambayeque es viable tanto a nivel comercial y tecnológico.

De acuerdo al estudio de mercado se determinó un comportamiento del mercado favorable para la instalación de la planta de producción de bioplástico, teniendo en el primer año una demanda insatisfecha de 15 020,09 t de bioplástico hasta el quinto año que se tiene 12 239 t. La planta de producción de pellets de bioplástico se situará en Lambayeque. Además, en base al proceso establecido se obtiene un rendimiento total de 6,54 %. Asimismo, la planta tendrá un área total de 2 931,69 m<sup>2</sup>.

En lo que concierne a la evaluación económica y financiera, se determinó una inversión total de S/ 5 982 541,03, de la cual el 66,86% será financiado por una entidad bancaria y el 33,14%

restante por medio de capital social, el cual se recuperará en aproximadamente 2 años y 9 meses. Asimismo, se concluye que el proyecto es viable económica y financieramente, pues se obtuvo un VAN positivo de S/ 2 570 683, 74 y una TIR (55,15%) mayor al valor de la TMAR (18,91%).

### Recomendaciones

Si bien, el proyecto se postula como una alternativa que promueve la economía circular y que busca valorizar residuos a través de una propuesta innovadora, no está exento de generar cargas ambientales, por ejemplo, durante las centrifugaciones I y II se liberan grandes fracciones sólidas y líquidas de desechos, por tanto, se podría diseñar o evaluar un sistema de producción de biogás que permita cerrar el círculo de los residuos, y no solo ello, ya que puede, a través, de todo un equipo de cogeneración llegar a mermar los costes eléctricos de la planta industrial y a crear otra fuente de ingresos, por medio de la comercialización del digestato.

Como segunda recomendación se parte del hecho, que la extracción es la etapa del proceso que mayor impacto ambiental tiene, dado que, al utilizar una gran cantidad de productos químicos, como el cloroformo, estos resultan tener un difícil tratamiento post operación. Por tal motivo, surge la necesidad de buscar y evaluar disolventes orgánicos medioambientales sostenibles que se adecuen a la operación. La literatura propone al acetato de etilo, los líquidos iónicos, entre otros [64], sin embargo, este sigue siendo campo de investigación.

### Referencias

- [1] Silpa Kaza, Lisa Yao, Perinaz Bhada-Tata, and Frank Van Woerden, *What a waste 2.0: A global snapshot a solid waste management to 2050*, World Bank. Washington DC: Urban Development Series, 2018.
- [2] Atilio Savino, Gustavo Solórzano, Magda Carolina Correal, and Carina Quispe, *Perspectiva de la Gestión de Residuos en América Latina y el Caribe*. ONU Medio Ambiente, 2018.
- [3] R. Babu, P. M. Prieto Veramendi, and E. R. Rene, “Strategies for resource recovery from the organic fraction of municipal solid waste,” *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, vol. 3, p. 100098, Jun. 2021, doi: 10.1016/J.CSCEE.2021.100098.
- [4] S. Banerjee and A. Arora, “Sustainable bioprocess technologies for urban waste valorization,” *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, vol. 4, p. 100166, Dec. 2021, doi: 10.1016/J.CSCEE.2021.100166.

- [5] European Union, “REsources from URban BIO-waSte | RES URBIS | Project | Fact sheet | H2020 | CORDIS | European Commission.” Accessed: Sep. 18, 2023. [Online]. Available: <https://cordis.europa.eu/project/id/730349>
- [6] Julia Hereza Atienza, “RES URBIS, generación de bioplásticos a partir de la fracción orgánica municipal,” Barcelona, 2020.
- [7] Ministerio del Ambiente, “SIGERSOL.” Accessed: Sep. 18, 2023. [Online]. Available: <https://sistemas.minam.gob.pe/SigersolMunicipal/#/accesoLibre/valorizacion>
- [8] F. Ebrahimian, K. Karimi, and R. Kumar, “Sustainable biofuels and bioplastic production from the organic fraction of municipal solid waste,” *Waste Management*, vol. 116, pp. 40–48, Oct. 2020, doi: 10.1016/J.WASMAN.2020.07.049.
- [9] E. Korkakaki, M. Mulders, A. Veeken, R. Rozendal, M. C. M. van Loosdrecht, and R. Kleerebezem, “PHA production from the organic fraction of municipal solid waste (OFMSW): Overcoming the inhibitory matrix,” *Water Res*, vol. 96, pp. 74–83, Jun. 2016, doi: 10.1016/J.WATRES.2016.03.033.
- [10] G. Papa, T. Pepè Sciarria, A. Carrara, B. Scaglia, G. D’Imporzano, and F. Adani, “Implementing polyhydroxyalkanoates production to anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste to diversify products and increase total energy recovery,” *Bioresour Technol*, vol. 318, p. 124270, Dec. 2020, doi: 10.1016/J.BIORTECH.2020.124270.
- [11] La Cámara de Comercio de Lima, “Importación de envases y recipientes biodegradables creció 176% en 2022, impulsado por ley de plásticos - La Cámara.” Accessed: Sep. 18, 2023. [Online]. Available: <https://lacamara.pe/importacion-de-envases-y-recipientes-biodegradables-crecio-176-en-2022-impulsado-por-ley-de-plasticos/>
- [12] Ministerio del Ambiente, “Ley N° 30884 regula consumo de bienes de plástico de un solo uso que generan riesgo para la salud pública y/o el ambiente | SINIA | Sistema Nacional de Información Ambiental.” Accessed: Sep. 18, 2023. [Online]. Available: <https://sinia.minam.gob.pe/novedades/ley-ndeg-30884-regula-consumo-bienes-plastico-un-solo-uso-que-generan>
- [13] European Bioplastics, “What are bioplastics?,” europeanbioplastics. Accessed: Sep. 16, 2023. [Online]. Available: <https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/>
- [14] S. A. Ashter, “New Developments,” *Introduction to Bioplastics Engineering*, pp. 251–274, Jan. 2016, doi: 10.1016/B978-0-323-39396-6.00010-5.

- [15] S. S. Ali *et al.*, “Engineered yeast for the production of bioplastics,” in *Advances in Yeast Biotechnology for Biofuels and Sustainability*, A. D. J. G. Daverey, Ed., Elsevier, 2023, pp. 277–296. doi: 10.1016/B978-0-323-95449-5.00017-5.
- [16] S. A. Ashter, “Introduction,” *Introduction to Bioplastics Engineering*, pp. 1–17, Jan. 2016, doi: 10.1016/B978-0-323-39396-6.00001-4.
- [17] S. Guleria *et al.*, “Polyhydroxyalkanoates production from domestic waste feedstock: A sustainable approach towards bio-economy,” *J Clean Prod*, vol. 340, p. 130661, Mar. 2022, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2022.130661.
- [18] Y. G. García, J. Carlos, M. Contreras, G. Reynoso, J. Antonio, and C. López, “Síntesis y biodegradación de polihidroxicanoatos: plásticos de origen microbiano,” *Revista internacional de contaminación ambiental*, vol. 29, no. 1, pp. 77–115, 2013, Accessed: Sep. 17, 2023. [Online]. Available: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-49992013000100007&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992013000100007&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- [19] Y. Zheng, J. C. Chen, Y. M. Ma, and G. Q. Chen, “Engineering biosynthesis of polyhydroxyalkanoates (PHA) for diversity and cost reduction,” *Metab Eng*, vol. 58, pp. 82–93, Mar. 2020, doi: 10.1016/J.YMBEN.2019.07.004.
- [20] M. Koller, “Production, properties, and processing of microbial polyhydroxyalkanoate (PHA) biopolyesters,” *Microbial and Natural Macromolecules: Synthesis and Applications*, pp. 3–55, Jan. 2021, doi: 10.1016/B978-0-12-820084-1.00001-6.
- [21] S. Munir and N. Jamil, “Polyhydroxyalkanoates (PHA) production in bacterial co-culture using glucose and volatile fatty acids as carbon source,” *J Basic Microbiol*, vol. 58, no. 3, pp. 247–254, Mar. 2018, doi: 10.1002/JOBM.201700276.
- [22] H. Pakalapati, C. K. Chang, P. L. Show, S. K. Arumugasamy, and J. C. W. Lan, “Development of polyhydroxyalkanoates production from waste feedstocks and applications,” *J Biosci Bioeng*, vol. 126, no. 3, pp. 282–292, Sep. 2018, doi: 10.1016/J.JBIOSEC.2018.03.016.
- [23] L. D. Allegue, M. Ventura, J. A. Melero, and D. Puyol, “Unraveling PHA production from urban organic waste with purple phototrophic bacteria via organic overload,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 166, p. 112687, Sep. 2022, doi: 10.1016/J.RSER.2022.112687.
- [24] Ministerio del Ambiente, “Esto debes saber sobre los residuos sólidos orgánicos e inorgánicos aprovechables - Noticias - Ministerio del Ambiente - Plataforma del Estado Peruano.” Accessed: Sep. 19, 2023. [Online]. Available:

- <https://www.gob.pe/institucion/minam/noticias/763484-esto-debes-saber-sobre-los-residuos-solidos-organicos-e-inorganicos-aprovechables>
- [25] G. Papa, T. Pepe Sciarria, B. Scaglia, and F. Adani, “Diversifying the products from the organic fraction of municipal solid waste (OFMSW) by producing polyhydroxyalkanoates from the liquid fraction and biomethane from the residual solid fraction,” *Bioresour Technol*, vol. 344, p. 126180, Jan. 2022, doi: 10.1016/J.BIORTECH.2021.126180.
- [26] B. Colombo *et al.*, “Enhanced polyhydroxyalkanoate (PHA) production from the organic fraction of municipal solid waste by using mixed microbial culture,” *Biotechnol Biofuels*, vol. 10, no. 1, pp. 1–15, Aug. 2017, doi: 10.1186/S13068-017-0888-8/TABLES/6.
- [27] G. Moretto, I. Russo, D. Bolzonella, P. Pavan, M. Majone, and F. Valentino, “An urban biorefinery for food waste and biological sludge conversion into polyhydroxyalkanoates and biogas,” *Water Res*, vol. 170, p. 115371, Mar. 2020, doi: 10.1016/J.WATRES.2019.115371.
- [28] G. Baca, *Evaluación de proyectos*, Séptima edición. México: Mc Graw Hill, 2013.
- [29] European Bioplastics, “Market – European Bioplastics e.V.” Accessed: Oct. 04, 2023. [Online]. Available: <https://www.european-bioplastics.org/market/>
- [30] Christian Flores Acosta, “Plásticos biodegradables: un nuevo paso para su normalización.” Accessed: Oct. 04, 2023. [Online]. Available: <https://boletines.exportemos.pe/recursos/notas/plasticos-biodegradables:-un-nuevo-paso-para-su-normalizacion>
- [31] A. Castillo, “Situación actual del sector plástico y perspectivas de la industria plástica,” Nov. 2021.
- [32] L. De Cajamarca, A. Juliana, N. Correa, B. Asesor, D. Adolfo, and B. Sigueñas, “Propuesta de producción de bioplástico a partir del suero de leche generado por el clúster de derivados lácteos de Cajamarca,” 2021, Accessed: Oct. 04, 2023. [Online]. Available: <http://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/4052>
- [33] D. Carhuavilca, “Industria del plástico en el Perú,” Nov. 2022.
- [34] L. Nel, *Estadística para ingenieros*, 1st ed. Lima: Editorial Macro, 2019.
- [35] K. Burnham and D. Anderson, “Multimodel inference: Understanding AIC and BIC in model selection,” *Sociol Methods Res*, vol. 33, no. 2, pp. 261–304, 2004.
- [36] M. Casia, *Guía para la preparación y evaluación de proyectos con un enfoque administrativo*, Primera edición. Guatemala: Foundation Cholsamaj, 2018.

- [37] SUNAT, “SUNAT - Acumulado anual Subpartida Nacional/País.” Accessed: Oct. 04, 2023. [Online]. Available: <http://www.aduanet.gob.pe/cl-ad-itestadispartida/resumenPPaisS01Alias?accion=cargarFrmResumenPPais>
- [38] BCRP, “Banco Central de Reserva del Perú.” Accessed: Oct. 04, 2023. [Online]. Available: <https://www.bcrp.gob.pe/>
- [39] H. Nelson, Q. Bertel, G. Uriel, F. Morales, C. Camilo, and C. Duque, “Plan de negocios para la creación de la empresa Miscompetencias.com S.A.S.,” Jun. 2012, Accessed: Nov. 25, 2023. [Online]. Available: <https://repository.universidadean.edu.co/handle/10882/1961>
- [40] A. Belen, G. Salas, and J. E. Rojas Polo, “Estudio de prefactibilidad para la producción y comercialización de bolsas de almidón de papa peruana,” Nov. 2021, Accessed: Nov. 25, 2023. [Online]. Available: <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/20816>
- [41] Michael Porter, *Estrategia Competitiva*. México: Compañía Editorial Continental, 1997.
- [42] Sociedad Nacional de Industrias, *Perú Regiones al 2031*, 1 Edición. San Isidro, 2022.
- [43] INEI, “Nota de prensa: INEI participo en el III congreso internacional de la industria plástica,” Lima, May 2021.
- [44] J. A. S. Bacalla, M. L. Caballero, and A. C. Fiestas, “Modelo del proceso jerárquico analítico para optimizar la localización de una planta industrial,” *Industrial Data*, vol. 17, no. 2, pp. 112–119, Dec. 2014, doi: 10.15381/idata.v17i2.12056.
- [45] V. Yepes, “Proceso Analítico Jerárquico (Analytic Hierarchy Process, AHP),” Universidad Politécnica de Valencia. Accessed: Nov. 28, 2023. [Online]. Available: <https://victoryepes.blogs.upv.es/2018/11/27/proceso-analitico-jerarquico-ahp/>
- [46] C. Parra and A. Crespo, *Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada en la gestión de activos*. Sevilla: Asociación Española para el Desarrollo de la Ingeniería de Mantenimiento, 2012.
- [47] F. Valentino, G. Moretto, L. Lorini, D. Bolzonella, P. Pavan, and M. Majone, “Pilot-Scale Polyhydroxyalkanoate Production from Combined Treatment of Organic Fraction of Municipal Solid Waste and Sewage Sludge,” *Ind Eng Chem Res*, vol. 58, no. 27, pp. 12149–12158, Jul. 2019, doi: [10.1021/ACS.IECR.9B01831](https://doi.org/10.1021/ACS.IECR.9B01831)/ASSET/IMAGES/LARGE/IE-2019-01831Q\_0005.JPEG.

- [48] B. Colombo *et al.*, “Enhanced polyhydroxyalkanoate (PHA) production from the organic fraction of municipal solid waste by using mixed microbial culture,” *Biotechnol Biofuels*, vol. 10, no. 1, pp. 201–215, Dec. 2017, doi: 10.1186/s13068-017-0888-8.
- [49] B. Render and J. Heizer, *Principios de administración de operaciones*, Novena edición. México: Pearson, 2014.
- [50] R. Chase and R. Jacobs, *Administración de operaciones - Producción y cadena de suministros*. México: MC Grw Hill, 2014.
- [51] Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos, “Valorización de Residuos Sólidos Orgánicos Municipales,” Lima, Nov. 2022.
- [52] J. Zela and G. Olivas, “Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en el ámbito de las empresas prestadoras,” Lima, Jun. 2022.
- [53] M. Rajadell and J. L. Sánchez, *Lean Manufacturing la evidencia de una necesidad*. Madrid: Díaz de Santos, 2010.
- [54] S. Plua, N. Carrión, J. Madruero, and P. C. Verdezoto, “Estimación de la superficie requerida y distribución de planta de una industria metalmecánica,” *INNOVATION & DEVELOPMENT IN ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES*, vol. 4, no. 2, pp. 10–10, Apr. 2022, doi: 10.53358/IDEAS.V4I2.876.
- [55] C. y S. Ministerio de Vivienda, “Reglamento Nacional de Edificaciones,” Lima, 2006.
- [56] L. Lorini, A. Martinelli, P. Pavan, M. Majone, and F. Valentino, “Downstream processing and characterization of polyhydroxyalkanoates (PHAs) produced by mixed microbial culture (MMC) and organic urban waste as substrate,” *Biomass Convers Biorefin*, vol. 11, no. 2, pp. 693–703, Apr. 2021, doi: 10.1007/S13399-020-00788-W/FIGURES/5.
- [57] E. Rojas Fernández, J. L. Hoyos Concha, and S. A. Mosquera Sánchez, “Producción de polihidroxicanoatos (PHAs) a partir de *Ralstonia eutropha* en un medio con harina de yuca como fuente de carbono,” *Biología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, vol. 14, no. 1, pp. 19–26, 2016, doi: 10.18684/BSAA(14)19-26.
- [58] C. Riccardi *et al.*, “Polychlorinated Biphenyl Profile in Polyhydroxy-alkanoates Synthetized from Urban Organic Wastes,” *Polymers 2020*, Vol. 12, Page 659, vol. 12, no. 3, p. 659, Mar. 2020, doi: 10.3390/POLYM12030659.
- [59] L. Lorini *et al.*, “Characterization of Polyhydroxyalkanoates Produced at Pilot Scale From Different Organic Wastes,” *Front Bioeng Biotechnol*, vol. 9, p. 628719, Feb. 2021, doi: 10.3389/FBIOE.2021.628719/BIBTEX.

- [60] ISO, "ISO 14855-2:2018 - Determinación de la biodegradabilidad aeróbica final de materiales plásticos en condiciones controladas de compostaje. Método mediante análisis del dióxido de carbono desprendido. Parte 2: Medición gravimétrica del dióxido de carbono desprendido en una prueba a escala de laboratorio." Accessed: May 08, 2024. [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/72046.html>
- [61] Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo, "Horas Extras (Régimen Laboral Privado)," Lima, 2018.
- [62] El Peruano, "Aprueban los Valores Unitarios Oficiales de Edificación para Lima Metropolitana y la Provincia Constitucional del Callao, la Costa, la Sierra y la Selva, vigentes para el Ejercicio Fiscal 2024 - RESOLUCION MINISTERIAL - N° 469-2023-VIVIENDA - VIVIENDA, CONSTRUCCION Y SANEAMIENTO." Accessed: May 07, 2024. [Online]. Available: <https://busquedas.elperuano.pe/dispositivo/NL/2229957-1>
- [63] L. De Cajamarca, A. Juliana, N. Correa, B. Asesor, D. Adolfo, and B. Sigüeñas, "Propuesta de producción de bioplástico a partir del suero de leche generado por el clúster de derivados lácteos de Cajamarca," 2021, Accessed: Apr. 11, 2024. [Online]. Available: <http://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/4052>
- [64] E. Rossi, F. Pasciucco, R. Iannelli, and I. Pecorini, "Environmental impacts of dry anaerobic biorefineries in a Life Cycle Assessment (LCA) approach," *J Clean Prod*, vol. 371, p. 133692, Oct. 2022, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2022.133692.
- [65] Ministerio de la Producción, "Fabricación Estadística." Accessed: Oct. 04, 2023. [Online]. Available: <https://ogeiee.produce.gob.pe/index.php/en/shortcode/estadistica-oe/estadisticas-manufactura>
- [66] Six Sigma Academy, *The Black Belt Memory Jogger*, Primera edición. GOAL/QPC, 2002.
- [67] Kubiak and D. Benbow, *The Certified Six Sigma Master Black Belt Handbook*. ASQ Quality Press, 2012.
- [68] J. Hanke and D. Wichern, *Pronósticos en los negocios*, Novena. México: Pearson Educación, 2010.
- [69] G. Kanji, *100 Statistical Test*, Third. SAGE Publications Ltd, 2006.
- [70] R. Hyndman and G. Athanasopoulos, *Forecasting: principles and practice*, 3rd edition. Australia: OTexts: Melbourne, 2021. Accessed: Oct. 27, 2023. [Online]. Available: <https://otexts.com/fpp3/decomposition.html>

- [71] L. Mahadeva and P. Robinson, *Ensayo 76: Prueba de raíz unitaria para ayudar a la construcción de un modelo*, Primera. México: Centro de Estudios Monetarios Latinoamericanos, 2009.
- [72] Minitab, “Interpretar todos los estadísticos y gráficas para Promedio móvil - Minitab.” Accessed: Mar. 26, 2024. [Online]. Available: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/help-and-how-to/statistical-modeling/time-series/how-to/moving-average/interpret-the-results/all-statistics-and-graphs/>
- [73] Consultoría de Exactitud, “Tamaño del mercado de biopolímeros bioplásticos, región, participación, pronóstico para 2029.” Accessed: Nov. 25, 2023. [Online]. Available: <https://exactitudeconsultancy.com/es/reports/11800/bioplasticos-biopolimeros-mercado/>
- [74] Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo, “Lambayeque: Panorama Laboral,” Jesús María, Oct. 2020.
- [75] Vitale, “Propiedades e inmuebles en Lambayeque, Lambayeque.” Accessed: Nov. 01, 2023. [Online]. Available: [https://www.adondevivir.com/inmobiliarias/vitale-inmuebles\\_86006-inmuebles-en-lambayeque-ciudad-de-lambayeque.html](https://www.adondevivir.com/inmobiliarias/vitale-inmuebles_86006-inmuebles-en-lambayeque-ciudad-de-lambayeque.html)
- [76] Urbania Perú, “Alquiler y venta de departamentos, casas y terrenos.” Accessed: Nov. 02, 2023. [Online]. Available: <https://urbania.pe/>
- [77] ITP Producción, “Lambayeque: Economía, salud, educación, hogares, demografía, gobierno, industrias, I+D y red CITE | ITP Producción.” Accessed: Nov. 01, 2023. [Online]. Available: <https://data-peru.itp.gob.pe/profile/geo/lambayeque#empleo>
- [78] Instituto Nacional de Estadística e Informática, “Plataforma Nacional de Datos Abiertos.” Accessed: Nov. 02, 2023. [Online]. Available: [https://www.datosabiertos.gob.pe/search/field\\_tags/renamu-1000?query=&sort\\_by=changed&sort\\_order=DESC&page=0%2C0](https://www.datosabiertos.gob.pe/search/field_tags/renamu-1000?query=&sort_by=changed&sort_order=DESC&page=0%2C0)
- [79] Y. Ku, R. Cacñahuaray, and G. Montoya, “Boletín sobre la cobertura de agua potable - Región Lambayeque,” Lima, May 2021.
- [80] Gestión, “Estos son los 120 distritos del Perú con mayor delincuencia y violencia del país, según la PNP | PERU | GESTIÓN,” Jun. 2020, Accessed: Nov. 27, 2023. [Online]. Available: <https://gestion.pe/peru/policia-detecta-120-distritos-crimenes-violencia-269349-noticia/>
- [81] V. Yepes, “Cálculo de la consistencia y el vector propio en AHP,” Universidad Politécnica de Valencia. Accessed: Nov. 28, 2023. [Online]. Available: [https://www.upv.edu/](#)

- <sup>39</sup>  
<https://victoryepes.blogs.upv.es/2022/02/15/calculo-de-la-consistencia-y-el-vector-propio-en-ahp/>
- [82] IndiaMART InterMESH Ltd, “IndiaMART - Directorio de fabricantes, proveedores y exportadores de la India, fabricante exportador de la India.” <sup>56</sup> Accessed: Apr. 07, 2024. [Online]. Available: <https://www.indiamart.com/>
- [83] Alibaba, “Biorreactor Industrial-Biorreactor Industrial Manufacturers, Suppliers and Exporters on Alibaba.comReactors.” Accessed: Apr. 07, 2024. [Online]. Available: [https://spanish.alibaba.com/trade/search?spm=a2700.supplier\\_search.page-tab-top.1.11d3534eQGBXOn&fsb=y&IndexArea=product\\_en&SearchText=biorreactor+industrial&tab=all](https://spanish.alibaba.com/trade/search?spm=a2700.supplier_search.page-tab-top.1.11d3534eQGBXOn&fsb=y&IndexArea=product_en&SearchText=biorreactor+industrial&tab=all)
- [84] Made in China, “Biorreactor aeróbico, biorreactor aeróbico de China, fabricantes de biorreactores aeróbicos, catálogo de biorreactores aeróbicos de China.” <sup>56</sup> Accessed: Apr. 07, 2024. [Online]. Available: [https://www.made-in-china.com/productdirectory.do?subaction=hunt&style=b&mode=and&code=0&comProvince=nolimit&order=0&isOpenCorrection=1&org=top&keyword=&file=&searchType=0&word=aerobic+bioreactor&log\\_from=4#word#](https://www.made-in-china.com/productdirectory.do?subaction=hunt&style=b&mode=and&code=0&comProvince=nolimit&order=0&isOpenCorrection=1&org=top&keyword=&file=&searchType=0&word=aerobic+bioreactor&log_from=4#word#)
- [85] Laval Lab, “Fermentadores – biorreactores industriales série I - Lavallab.” Accessed: Apr. 07, 2024. [Online]. Available: <https://lavallab.com/es/products/fermentadores-y-bioreactores/fermentadores-bioreactores-industriales/>
- [86] Dageye, “Tanque de sedimentación de diseño de clarificador automático de láminas a la venta.” Accessed: Apr. 08, 2024. [Online]. Available: <https://wastewatermachinery.com/es/Clarificadores-de-placa-tipo-laminilla-Alimentos-Procesamiento-de-carne-p.html>
- [87] Metso, “HRC™ Rodillos de molienda de alta presión (HPGR) - Metso.” Accessed: Apr. 08, 2024. [Online]. Available: <https://www.metso.com/es/portafolio/hrc-rodillos-de-molienda-de-alta-presion-hpgr/>
- [88] Filtración JX, “Centrífuga – Filtración JX.” Accessed: Apr. 09, 2024. [Online]. Available: <https://shop.filtrationchina.com/collections/centrifuge>
- [89] Edipesa, “EDIPESA: Lider en Maquinarias | Eximport - Distribuidores del Peru - Home.” Accessed: Apr. 22, 2024. [Online]. Available: <https://www.edipesa.com.pe/>
- [90] Ministerio del Ambiente, “Coordinación de información sobre residuos sólidos.” Accessed: Nov. 30, 2023. [Online]. Available: <https://site.minam.gob.pe/Informacion>

## Anexos

36

## Anexo 01: Datos para analizar la demanda

Para el análisis de la demanda se extrajeron datos de importación, exportación y producción nacional del polipropileno en forma primaria destinado al sector de envases. La información se recolectó a partir del año 2010 hasta el 2022, no se tomó un horizonte de solo los últimos 5 años, ya que es necesario contar con un mayor número de datos para un mejor análisis y disminuir el margen de error.

Tabla 1A: Demanda histórica del polipropileno en forma primaria destinado al sector de envases

Año	Importaciones (kg)	Sector de envases (kg)	~t	Sector de envases (kg)		~t	Sector de envases (kg)	~t	Demanda histórica (t)
				Exportaciones (kg)	Producción nacional (kg)				
2010	133 307 617,73	13 330 761,77	13 330,76	3 814 247,97	381 424,80	381,42	19 568 090,68	1 956 809,06	14 906,15
2011	154 484 008,85	15 448 400,89	15 448,40	4 152 711,86	415 271,19	415,27	22 676 551,76	2 267 655,17	17 300,78
2012	173 550 868,17	17 355 086,82	17 355,09	5 366 665,58	536 666,56	536,67	25 475 356,80	2 547 535,68	19 365,96
2013	179 524 523,55	17 952 452,36	17 952,45	6 832 185,78	683 218,58	683,22	26 352 223,64	2 635 222,36	19 904,46
2014	192 101 905,57	19 210 190,56	19 210,19	5 994 301,99	599 430,20	599,43	28 198 444,85	2 819 844,48	21 430,60
2015	196 995 859,96	19 699 586,00	19 699,59	5 167 729,37	516 772,94	516,77	28 916 823,48	2 891 682,34	22 074,50
2016	194 606 285,04	19 460 628,50	19 460,63	6 214 190,04	621 419,00	621,42	28 566 060,19	2 856 606,01	21 695,82
2017	177 599 348,07	17 759 934,81	17 759,93	5 041 250,11	504 125,01	504,13	26 069 629,07	2 606 962,90	19 862,77
2018	200 007 761,33	20 000 776,13	20 000,78	5 659 347,00	565 934,70	565,93	29 358 937,44	2 935 893,74	22 370,74
2019	177 871 505,14	17 787 150,51	17 787,15	6 842 784,57	684 278,46	684,28	26 109 578,74	2 610 957,87	19 713,83
2020	192 157 495,13	19 215 749,51	19 215,75	1 457 795,37	145 779,54	145,78	28 206 604,79	2 820 660,48	21 890,63
2021	220 752 825,92	22 075 282,59	22 075,28	2 115 875,00	21 587,50	21,59	32 404 084,54	3 240 408,45	25 294,10
2022	216 465 624,93	21 646 562,49	21 646,56	119 600,00	11 960,00	11,96	31 774 770,63	3 177 477,06	24 812,08

Fuente: Elaboración propia. En base a SNI [31], BCRP [38], SUNAT[37] y PRODUCE [65].

### Anexo 02: Datos históricos de las posibles variables predictoras

La tabla 2A muestra un data set compuesto por la información histórica de cada una de las covariables. Este conjunto de datos es el input para poder analizar si alguna de ellas tiene afinidad o no con la demanda histórica.

**Tabla 2A: Data set de covariables y variable de interés**

Año x <sub>1</sub>	PBI manufactura		Población x <sub>4</sub>	Precio del	Producción	Demanda histórica y
	no primaria (millones de soles) x <sub>2</sub>	Inflación x <sub>3</sub>		PP en forma primaria (S/. por kg) x <sub>5</sub>	industrial – Sector del plástico (millones de soles) x <sub>6</sub>	
2010	46 112	1,50	28 692 915	5,69	114,4	14 906,15
2011	49 087	3,40	28 905 725	6,66	122,2	17 300,78
2012	48 820	3,70	29 113 162	5,81	125,4	19 365,96
2013	50 562	2,80	29 341 346	6,13	135,7	19 904,46
2014	49 799	3,20	29 616 414	6,34	138,3	21 430,60
2015	48 553	3,50	29 964 499	4,97	134,4	22 074,50
2016	47 772	3,60	30 422 831	4,01	135,5	21 695,82
2017	47 363	2,80	30 973 992	4,49	131,2	19 862,77
2018	48 955	1,30	31 562 130	5,33	135,4	22 370,74
2019	49 457	2,10	32 131 400	4,60	136,7	19 713,83
2020	41 351	1,80	32 625 948	3,91	128,6	21 890,63
2021	51 772	4,00	33 035 304	6,14	146,0	25 294,10
2022	52 895	7,90	33 396 698	6,15	147,7	24 812,08

Fuente: Elaboración propia. En base a BCRP [38].

### Anexo 03: Matriz de selección de herramientas

Para poder evaluar que variable macro y microeconómica (covariables) tiene influencia sobre la demanda, se realizó un análisis de regresión (ver tabla 3A), debido a que las variables son de índole cuantitativo.

**Tabla 3A: Herramientas a utilizar dependiendo de la naturaleza de las variables**

Respuesta (y)	Factor (x)	
	Variable	Atributo
Variable	Análisis de regresión	ANOVA, prueba T y alternativas no paramétricas
Atributo	Regresión logística	Chi cuadrada y prueba de proporciones

Fuente: Elaboración propia. En base a Six Sigma Academy [66] y Kubiak y Benbow [67].

#### 17 Anexo 04: Resultados del análisis de regresión para la demanda

82 La tabla 4A presenta los resultados del análisis de regresión de cada una de las covariables. De dicho análisis se puede rescatar que el año (x1), la población (x4) y la producción industrial del sector del plástico (x6), son variables significativas debido a que el valor de p es mucho menor al 5%.

**Tabla 4A: Resultados del análisis de regresión (P Value - R<sup>2</sup> – Modelo) I**

Covariables	P value	Coefficiente de determinación	Ecuación o modelo
x1	0,000	68,45%	$y = - 1\ 182\ 110 + 597\ x_1$
x2	0,214	13,65%	$y = 2\ 953 + 0,367\ x_2$
x3	0,068	27,10%	$y = 18\ 007 + 878\ x_3$
x4	0,002	58,89%	$y = - 19\ 355 + 0,001306\ x_4$
x5	0,816	0,51%	$y = 21\ 997 - 218\ x_5$
x6	0,000	81,79%	$y = - 16\ 462 + 279,9\ x_6$

Fuente: Elaboración propia.

#### Anexo 05: Resultados de la regresión múltiple escalonada para la demanda

Una vez realizada la primera parte, análisis de regresión para cada covariable, se procede a elaborar una regresión múltiple escalonada con las covariables significativas, esto con la finalidad de obtener un modelo más eficiente, ya que esta técnica se enfoca en optimizar el modelo a través de la selección de los predictores más significativos. Vale decir, que esta regresión selecciona las variables más relevantes o que tienen mayor impacto y a partir de ello empieza a construir un modelo más eficiente. Por tanto, mediante este tipo de regresión  $x_1$ ,  $x_4$  y  $x_6$ , son puestos a prueba en conjunto y se verá cual o cuales resultan tener un mayor efecto, asimismo, también se tendrá en cuenta si su interacción resulta o no importante.

Algo que destacar es que existen 4 métodos de regresión escalonada: criterios de información hacia adelante, paso a paso, selección hacia adelante y eliminación hacia atrás. En este caso se probó cada uno de los 4 métodos y los resultados alcanzados se observan en la tabla 5A. Tal y como se puede ver, cada método arroja un  $r$  cuadrado ajustado mayor al 80%, lo cual es buen indicador porque está dando a entender que el modelo explica más del 80% de la variación que hay en la variable dependiente, que en este caso es la demanda histórica del polipropileno en forma primaria. Partiendo de esto, se podría elegir como mejor modelo aquel que tiene un mayor  $R^2$  ajustado, sin embargo, se tienen dos modelos cuyos resultados difieren por números decimales (83,52 % y 83,85%), siendo la diferencia que hay entre ambos una verdadera minucia. Ambos modelos, tanto el que arroja el método selección hacia adelante (con la técnica

paso a paso también se obtienen los mismos resultados) como el que se obtiene por eliminación hacia atrás son muy buenos, pero para este caso se terminó eligiendo el primero, y esto, debido al principio de Parsimonia, el cual recomienda optar por los modelos sencillos por encima de los complejos [68].

**Tabla 5A: Resultados de cada método de regresión escalonada I**

Método	Ecuación de regresión	R <sup>2</sup> ajustado	Nº de términos	Términos significativos
Criterios de información hacia adelante	$y = -16\,462 + 279,9 x_6$	80,33%	2	2
Paso a paso	$y = -475\,864 + 233 x_1 + 203,3 x_6$	83,52%	3	1
Selección hacia adelante	$y = -475\,864 + 233 x_1 + 203,3 x_6$	83,52%	3	1
Eliminación hacia atrás	$y = 9\,858\,730 - 4\,755 x_1 - 0,582 x_4 + 0,000285 x_1 * x_4$	83,85%	4	2

**Fuente: Elaboración propia.**

Una vez obtenido el modelo predictivo, ya se cuenta con la ecuación para poder pronosticar los valores futuros de la variable target. Sin embargo, antes de continuar con el siguiente paso, resulta imprescindible evaluar la autenticidad del modelo.

Si se requiere saber si un modelo de regresión es bueno es preciso analizar sus residuales, debido a que estos tienen información sobre su validez. Para esto se debe de comprobar que cumplan con tres supuestos: normalidad, estabilidad e independencia de los residuales vs los valores ajustados [69].

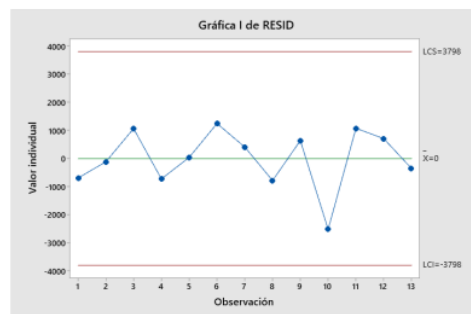
En la figura 1A se observan los resultados de dichas pruebas. La gráfica de normalidad muestra que los puntos se acercan a la línea recta, por tanto, a primera impresión se puede deducir que los residuales son normales, sin embargo, para comprobar dicha aseveración se realizó una prueba de normalidad donde el valor de p fue de 0,34, es decir, se aprueba la hipótesis nula, la cual garantiza que los datos evaluados siguen una distribución normal. En la segunda gráfica (vs. ajustes), se puede apreciar que los puntos están dispersos sin un patrón en específico, por ende, el supuesto de independencia se cumple. Por último, la gráfica cuatro sirve para evaluar la estabilidad de los residuales (vs. orden), empero, para un mejor análisis se realizó una gráfica de control de observaciones individuales (figura 2A), con la cual se puede observar que no hay puntos fuera de los límites de control y tampoco hay tendencias, así pues, se puede afirmar que los residuales cumplen con el supuesto de estabilidad. En conclusión, al

cumplir con los tres supuestos, se puede, con toda certeza asegurar, que el modelo evaluado es “bueno” y es útil para predecir valores futuros de la variable dependiente (demanda).



**Figura 1A: Prueba de residuos I**

Fuente: Elaboración propia



**Figura 2A: Gráfica de control para observaciones individuales I**

Fuente: Elaboración propia

### Anexo 06: Series de tiempo para la variable $x_6$

Ya determinado el modelo predictivo se puede identificar a primera vista que las variables  $x_1$  y  $x_6$ , son las que en cierta forma van a ayudar a predecir el valor futuro de la demanda, puesto que, si sabemos o estimamos cuales son los valores futuros de estas variables y los reemplazamos dentro del modelo, obtendremos los valores de la demanda para los próximos años.

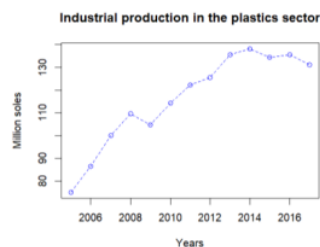
Los valores de  $x_1$  ya se tienen listos, porque buscamos pronosticar desde el 2023 hasta el 2028, por tanto, en la ecuación no habrá ningún problema con esta variable, sin embargo, sucede lo contrario con la segunda covariable,  $x_6$ , de la cual no sabemos sus valores futuros, es por ello, que se deben emplear técnicas estadísticas de análisis temporal para estimar sus posibles valores dentro de los próximos 5 años.

Para el análisis temporal de la variable  $x_6$ , se tomaron datos desde el 2005 hasta el 2022, dicha data se obtuvo del data base del BCRP. El tener un mayor horizonte temporal de los datos conduce a resultados más sólidos y con menor margen de error, “a mayor número de datos analizados, mayor confiabilidad en los resultados”.

Realizado el punto inicial, que es la recolección de los datos, se eligió el modelo ARIMA o metodología de Box – Jenkins para el análisis y pronóstico de la serie temporal. Este tipo de modelos generan pronósticos muy exactos, y, además son muy utilizados al tratar con series estacionarias y no estacionarias [70].

Ante de graficar la serie temporal se procedió a dividir el dataset, la información desde el 2005 hasta el 2017, vendrían a ser los datos de entrenamiento con los cuales se llevaría a cabo el procesamiento del modelo, y la información desde el 2018 hasta el 2022, serían los datos de prueba, los cuales nos permitirán evaluar la precisión del modelo seleccionado.

Aclarado este punto, se procedió a trabajar con el dataset de entrenamiento, la imagen 3A muestra su serie temporal. En esta se puede observar que la serie no es estacionaria, ya que se evidencia una clara tendencia a la alza. Por tal motivo, resulta imprescindible convertirla en una serie estacionaria. Algo que se debe aclarar, es que para que una serie sea considerada como tal, su media y varianza deben ser constantes a lo largo del tiempo. Asimismo, existen pruebas como la prueba de Dickey – Fuller y la de Kwiatkowski – Phillips – Schmidt – Shin (KPSS), que te permiten saber si tu serie es estacionaria o no [71].



**Figura 3A: Serie temporal del data set de entrenamiento (datos desde el 2005 – 2017)**

**Fuente: Elaboración propia**

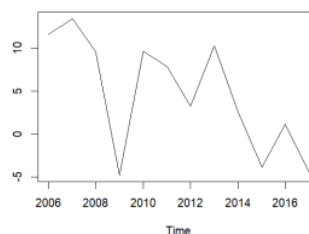
Volver una serie temporal con tendencia, a una estacionaria, se puede hacer de varias formas, por ejemplo, a través de diferenciaciones o transformaciones matemáticas. En este caso, se aplicó una diferenciación de primer orden y los resultados se muestran en la figura 4A, asimismo, en la figura 5A se visualiza la gráfica de tales valores, en ella se observa que el patrón que siguen los puntos es muy diferente y da indicios de estacionariedad. Para comprobar esto

se realizó la prueba KPSS y el valor que se obtuvo fue de 0,1, por tanto, se acepta la  $H_0$  y se comprueba que la serie es estacionaria.

[1,]	74.93808
[2,]	86.56286
[3,]	100.00000
[4,]	109.58609
[5,]	104.76789
[6,]	114.43559
[7,]	122.22903
[8,]	125.43698
[9,]	135.68272
[10,]	138.25616
[11,]	134.36988
[12,]	135.52696
[13,]	131.15917

**Figura 4A: Resultados de la diferenciación de primer orden**

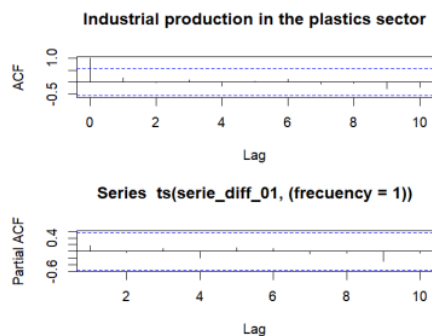
Fuente: Elaboración propia



**Figura 5A: Gráfica de las diferencias**

Fuente: Elaboración propia

Continuando con el desarrollo del modelo, se procedió a elaborar las gráficas ACF y PACF con los resultados de la diferenciación, dichos diagramas resultan ser de gran ayuda en la estimación de un modelo ARIMA. En la figura 6A se exhiben ambas gráficas y se puede notar que en la primera solo hay una autocorrelación significativa y está ubicada en el primer retraso. Caso contrario con la segunda, donde no hay ningún rezago que resulte significativo, ya que los valores de cada rezago se ubican dentro de sus límites de error, por ende, el primer modelo seleccionado sería el siguiente: ARIMA (0, 1, 1). No obstante, también se procedió a generar modelos alternativos, los cuales serían comparados con la primera opción planteada.



**Figura 6A: Gráfica de Autocorrelación y Autocorrelación parcial**

Fuente: Elaboración propia

Los modelos alternativos fueron: ARIMA (0, 1, 0) –  $M_2$ , ARIMA (1, 1, 1) –  $M_3$ , ARIMA (0, 1, 2) –  $M_4$  y ARIMA (1, 1, 2) –  $M_5$ . Para la selección de un modelo se tuvo en cuenta dos criterios: el criterio de información de Akaike (AIC) y el criterio de información Bayesiano (BIC). Los resultados que arroja cada criterio se muestran en la figura 7A, donde se observa que el modelo 1, ARIMA (0, 1, 1), fue el que obtuvo menores valores para ambos casos, por

consiguiente, sería el modelo seleccionado, dado que se puede comprobar mediante ambas pruebas que posee una mejor calidad de ajuste.

```
> AIC(model_01, model_02, model_03, model_04, model_05)
      df      AIC
model_01 2 84.98284
model_02 3 85.30133
model_03 1 85.55448
model_04 3 86.96878
model_05 4 87.30103
> BIC(model_01, model_02, model_03, model_04, model_05)
      df      BIC
model_01 2 85.95265
model_02 3 86.75605
model_03 1 86.03939
model_04 3 88.42350
model_05 4 89.24066
```

**Figura 7A: Resultados de AIC y BIC para cada modelo evaluado**

Fuente: Elaboración propia

Seleccionado el modelo, lo que sigue es verificar sus residuos a través de una serie de pruebas y gráficos. En esencia, un modelo es idóneo si los residuos no se pueden usar para mejorar los pronósticos, es decir, deben ser aleatorios. En la imagen 8A se ve el resultado de la prueba de distribución chi cuadrada ( $X^2$ ) con base en el estadístico  $Q$  de Ljung – Box, el valor de  $p$  es de 0,34 mucho mayor al 5%, en consecuencia, se acepta la hipótesis nula probándose estadísticamente que los residuos son independientes. También, en la imagen 9A se puede visualizar por medio de la gráfica de los residuos estandarizados, que estos, están centrados alrededor de cero y no presentan patrones sistemáticos. Las pruebas realizadas demuestran que el modelo es adecuado y es factible para elaborar pronósticos.

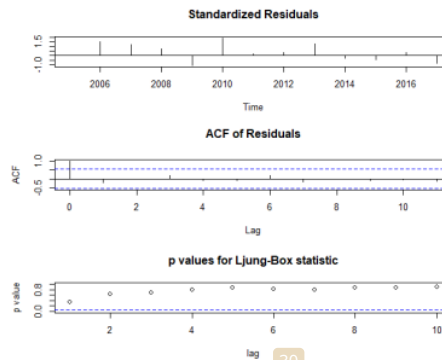
```
> Box.test(residuals(model_01), type = "Ljung-Box")

Box-Ljung test

data: residuals(model_01)
X-squared = 0.89013, df = 1, p-value = 0.3454
```

**Figura 8A: Resultados de la prueba de Ljung - Box**

Fuente: Elaboración propia



**Figura 9A: Diagnóstico de los residuos del modelo**

Fuente: Elaboración propia

Una vez verificado el modelo se procede a realizar los pronósticos, se pronostica para un horizonte de tiempo desde el 2018 hasta el 2022. Recordemos que iniciando el proceso de construcción del modelo parte del data set fue dividido. El data set de prueba (información de la variable desde el 2018 hasta el 2022) se compara con los pronósticos que arroja el modelo y de esa manera se obtienen los errores, los cuales nos permiten evaluar su precisión. En la figura

8A se muestran los resultados de los errores y se atestigua que el modelo seleccionado arroja un MAPE de 7,37, con lo cual se puede aseverar que en promedio el pronóstico está errando un 7,37% [72]. Entonces, calculados los errores y evaluada la precisión del modelo, se procede a realizar otro pronóstico para obtener los valores target, que en este caso vendrían a ser los valores para los años 2023, ...y 2027. Para la obtención de tales valores se utiliza el modelo seleccionado con la diferencia que ahora se aplica al data set completo. Los resultados y sus intervalos de predicción se visualizan en la figura 9A.

	Point Forecast	Lo 95	Hi 95
> cat("RMSE:", rmse, "\n") RMSE: 12.72979	2023	147.5529	131.8024 163.3033
> cat("MAE:", mae, "\n") MAE: 10.57573	2024	147.5529	123.4579 171.6478
> cat("MAPE:", mape, "\n") MAPE: 7.372838	2025	147.5529	117.3360 177.7697
	2026	147.5529	112.2605 182.8452
	2027	147.5529	107.8283 187.2774

**Figura 10A: Medidas de error del modelo**

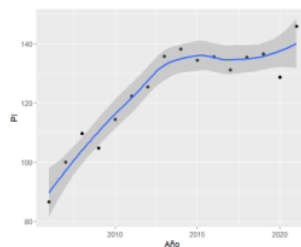
Fuente: Elaboración propia

**Figura 11A: Pronósticos y sus intervalos de predicción**

Fuente: Elaboración propia

El modelo ARIMA (0, 1, 1) es bueno y arroja resultados con bajo margen de error, sin embargo, un MAPE de 7,37 pone en tela de juicio su aplicabilidad, claramente se puede trabajar o tomar como referencia sus pronósticos arrojados, pero aun así surge la siguiente interrogante ¿Qué otro modelo de serie temporal se podría aplicar y cuya precisión sea mejor a la del modelo ARIMA?

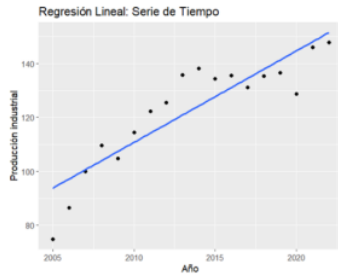
Los modelos de regresión también son muy utilizados para trabajar con series temporales, es por tal motivo que se probaron algunos modelos y la metodología empleada fue algo similar a la del modelo ARIMA, ya que al inicio del análisis hubo una partición de los datos, unos datos para entrenamiento y otros para prueba. Luego de ello, se realizó una gráfica de dispersión con el data set de entrenamiento (véase la imagen 12A) en donde se observa que, si bien hay una tendencia creciente en los datos, esta no es lineal.



**Figura 12A: Diagrama de dispersión del data set de entrenamiento**

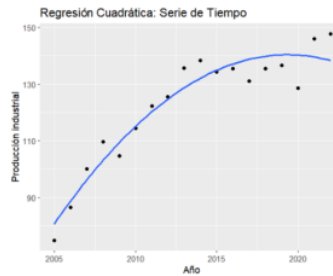
Fuente: Elaboración propia

Con la primera observación dada y partiendo de la premisa que un modelo de regresión lineal no se ajusta bien al patrón que siguen los datos, se procedió a crear varios modelos de regresión los cuales fueron los siguientes: <sup>31</sup> modelo lineal, modelo cuadrático, modelo cúbico, modelo polinomial de grado 4 y modelo polinomial de grado 5. Todo ello con la finalidad de ver cuál de todos se ajusta mejor a los datos.



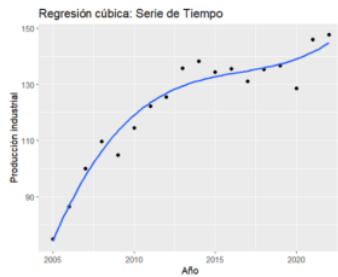
**Figura 13A: Diagrama de dispersión – Regresión lineal**

Fuente: Elaboración propia



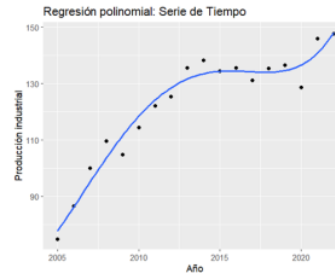
**Figura 14A: Diagrama de dispersión – Regresión cuadrática**

Fuente: Elaboración propia



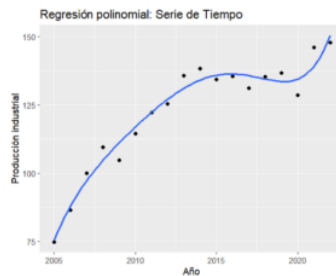
**Figura 15A: Diagrama de dispersión – Regresión cúbica**

Fuente: Elaboración propia



**Figura 16A: Diagrama de dispersión – Regresión polinomial grado 4**

Fuente: Elaboración propia



**Figura 17A: Diagrama de dispersión – Regresión polinomial grado 5**

Fuente: Elaboración propia

Al visualizar todas las imágenes se puede notar que los modelos de regresión cúbica y polinomiales son los que a priori se ajustan mejor, empero, un ANOVA nos dará evidencia estadística para demostrar que modelos resultan ser realmente significativos. Los resultados del análisis de varianza se detallan en la imagen 18A, en donde se observa que el modelo cúbico y polinomial de grado 5 tienen un valor de p mayor a 0,05, por ende, no se puede afirmar con confianza que dichos modelos resulten ser significativos. Aun así, se tomaron en cuenta para los análisis posteriores.

```

Analysis of Variance Table

Model 1: PI ~ Año
Model 2: PI ~ poly(Año, 2)
Model 3: PI ~ poly(Año, 3)
Model 4: PI ~ poly(Año, 4)
Model 5: PI ~ poly(Año, 5)
Res.Df  RSS Df Sum of Sq    F    Pr(>F)
1      14 987.93
2      13 389.58 1    598.35 32.8653 0.0001896 ***
3      12 336.95 1    52.63  2.8907 0.1199321
4      11 249.76 1    87.19  4.7892 0.0534774 .
5      10 182.06 1    67.70  3.7183 0.0826683 .
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

**Figura 18A: Resultados del ANOVA**

Fuente: Elaboración propia

Se calculó el  $R^2$  ajustado para cada modelo y también se realizaron predicciones con cada uno de ellos, estas predicciones se compararon con el data set de prueba y se obtuvieron los errores. En la tabla 6A se percibe que el modelo cúbico es el que posee una mayor precisión y además tiene un elevado coeficiente de determinación ajustado. No obstante, líneas atrás se había demostrado y mencionado que el modelo no es significativo.

**Tabla 6A: Evaluación de cada modelo de regresión**

Modelo	Tipo de regresión	$R^2$ ajustado	MAPE	MSE	RMSE
1	Lineal	0,74	16,31	277,49	16,65
2	Cuadrática	0,89	9,58	130,56	11,42
3	Cúbica	0,90	2,58	28,69	5,35
4	Polinomial de grado 4	0,92	10,68	102,43	10,12
5	Polinomial de grado 5	0,93	10,97	283,82	16,84

Fuente: Elaboración propia.

A pesar que el modelo cúbico resultó tener un p value elevado en el ANOVA este modelo no debe ser descartado, porque también debe considerarse el buen performance que tiene en cuenta a precisión y  $r$  cuadrado ajustado, además, en su gráfica de dispersión se observa que su línea de regresión se ajusta bien a los datos, por estos motivos se elige el modelo cúbico como modelo predictivo.

Las predicciones que arroja para el horizonte de tiempo objetivo (2023 – 2027) fueron los siguientes:

```
> print(predicciones)
      1      2      3      4      5
142.2975 145.1552 148.8831 153.6258 159.5279
```

**Figura 19A: Pronósticos que arroja el modelo cúbico**

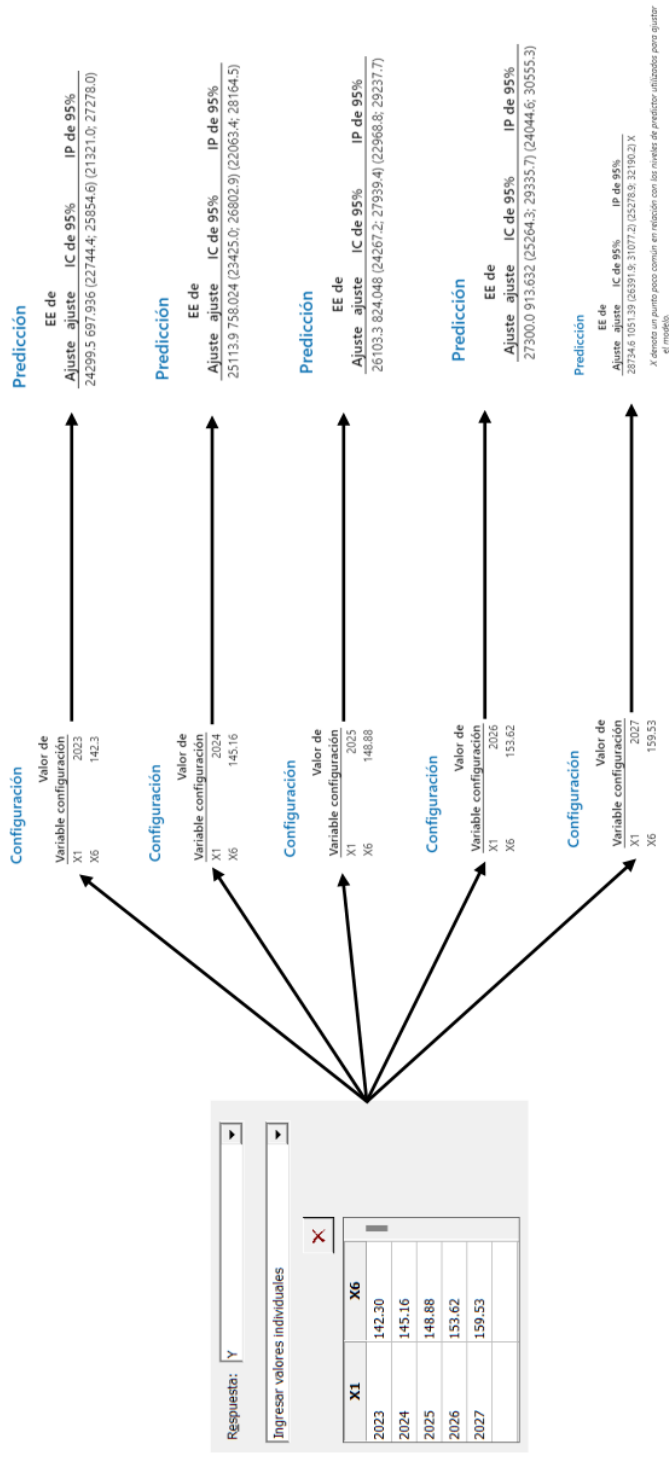
**Fuente: Elaboración propia**

Asimismo, también mencionar que se analizaron los residuales del modelo y se comprobó que estos siguen una distribución normal (la prueba de Shapiro – Wilks arrojó un p value de 0,68), muestran independencia con respecto a los valores ajustados y tienen estabilidad.

En conclusión, los valores pronosticados que arroja el modelo cúbico serán los introducidos en la ecuación predictiva de la demanda, ya que este modelo presenta una buena precisión, buen ajuste y es mejor tomar valores de un modelo que está errando un 2% a comparación de otro que erra, en promedio, 7%.

**Anexo 07: Pronósticos de la demanda**

Determinados los valores de  $x_1$  y  $x_6$ , estos son introducidos en la ecuación predictiva de la demanda para pronosticar sus valores futuros. A continuación, se muestran los resultados de la demanda esperada para los próximos años:



**Figura 20A: Demanda futura del polipropileno en forma primaria destinado al sector de envases**  
Fuente: Elaboración propia

**Anexo 08: Datos y obtención de la oferta histórica del PP en forma primaria  
destinado al sector de envases**

La tabla 7A exhibe los datos de la oferta histórica desde el año 2010 hasta el 2022. De acuerdo a Casia [36], la oferta puede ser calculada disminuyendo la capacidad del oferente menos las exportaciones. Asimismo, menciona también que para la primera variable es fundamental contar con datos de producción y la tasa de utilización de la capacidad instalada.

**Tabla 7A: Oferta histórica del PP en forma primaria destinado al sector de envases**

Año	Capacidad del oferente (t)	Exportaciones (t)	Oferta (t)
2010	3 689,31	381,42	3 307,88
2011	4 012,84	415,27	3 597,57
2012	4 528,15	536,67	3 991,48
2013	4 499,27	683,22	3 816,05
2014	4 435,81	599,43	3 836,38
2015	4 473,52	516,77	3 956,75
2016	4 912,48	621,42	4 291,06
2017	4 183,19	504,13	3 679,06
2018	4 972,72	565,93	4 406,79
2019	3 731,01	684,28	3 046,73
2020	5 865,38	145,78	5 719,60
2021	6 245,97	21,59	6 224,38
2022	7 896,31	11,96	7 884,35

Fuente: Elaboración propia. En base a SNI [31], BCRP [38], SUNAT [37] y PRODUCE [65].

**Anexo 09: Resultados del análisis de regresión para la oferta**

Al igual que con la demanda, se realizó un análisis de regresión para cada una de las covariables, los hallazgos obtenidos se visualizan en la tabla 8A, en ella se observa que el año ( $x_1$ ), la inflación ( $x_3$ ), la población ( $x_4$ ) y la producción industrial del sector del plástico ( $x_4$ ), son variables significativas debido a que su p value es mucho menor a 0,05.

**Tabla 8A: Resultados del análisis de regresión (P Value - R<sup>2</sup> – Modelo) II**

Covariables	P value	Coefficiente de determinación	Ecuación o modelo
$x_1$	0,005	52,02%	$y = - 505 766 + 253,1 x_1$
$x_2$	0,417	6,07%	$y = - 1 352 + 0,119 x_2$
$x_3$	0,007	49,99%	$y = 2 586 + 580 x_3$
$x_4$	0,004	55,08%	$y = - 14 459 + 0,0000615 x_4$
$x_5$	0,726	1,16%	$y = 3 578 + 160 x_5$
$x_6$	0,025	38,10%	$y = - 7 921 + 92,8 x_6$

Fuente: Elaboración propia.

### Anexo 10: Resultados de la regresión múltiple escalonada para la oferta

Identificadas las variables significativas, el siguiente paso es la realización de una regresión múltiple escalonada, los resultados de cada método se presentan en la tabla 9A. En ella se puede avistar que hay dos modelos cuya diferencia en cuanto a  $r$  cuadrado ajustado, es mínima. Por ende, se aplicó el principio de Parsimonia, el cual recomienda seleccionar el modelo más sencillo, que en este caso es el que arroja el método **eliminación hacia atrás**.

**Tabla 9A: Resultados de cada método de regresión escalonada II**

Método	Ecuación de regresión	R <sup>2</sup> ajustado	Nº de términos	Términos significativos
Crterios de información hacia adelante	$y = 51,5 x_3 * x_3 + 0,000001 x_4 * x_6$	97,37%	2	2
Paso a paso	$y = - 0,1389 x_4 - 66,0 x_6 + 0,1898 x_1 * x_1 + 0,00000 x_4 * x_4 + 0,000047 x_1 * x_4$	98,85%	5	4
Selección hacia adelante	$y = 53,7 x_3 * x_3 + 0,000000 x_4 * x_4 + 6,17 x_6 * x_6 - 0,0226 x_1 * x_6 - 0,000052 x_4 * x_6$	98,13%	5	1
Eliminación hacia atrás	$y = - 618 x_1 - 0,03910 x_4 + 0,456 x_1 * x_1 + 0,00000 x_4 * x_4$	98,63%	4	3

Fuente: Elaboración propia.

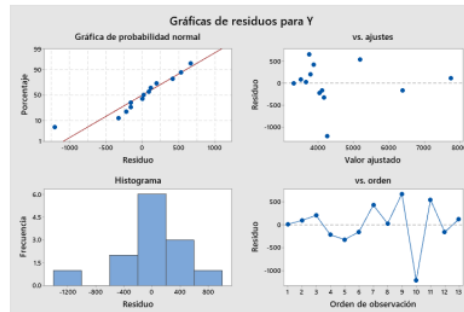
Obtenido el modelo, es imprescindible verificar sus residuos, debido a que, si no cumple con uno de los tres supuestos no sería un modelo idóneo para pronosticar los valores futuros de la variable target (oferta).

La figura 21A, da caución de que el modelo evaluado es adecuado. En la gráfica de probabilidad normal se aprecia que los puntos tienden acercarse a línea recta, dando indicio de que existe una gran probabilidad que los residuales sigan una distribución normal. Para corroborar esto se realizó una prueba de normalidad que dio como resultado un  $p$  – value de 0,20, por lo cual, se acepta la  $H_0$  (los datos siguen una distribución normal). Continuando con el análisis, en la gráfica de residuos vs ajustes, se observa que los puntos están dispersos sin ningún patrón en específico, demostrando que hay independencia entre los residuos y los valores ajustados.

Por último, en la gráfica de residuos vs orden, no se puede percibir bien si los puntos están fuera de los límites de control, es por ello, que se realizó una gráfica de control de observaciones individuales (véase la figura 22A), con la cual se puede visualizar mejor la comprobación del supuesto de estabilidad. En dicha gráfica no hay puntos fuera de los límites de control,

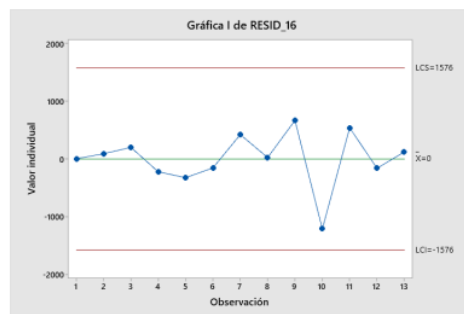
asimismo, tampoco se logra apreciar tendencias o patrones. En definitiva, hay estabilidad en los residuales.

Comprobada la estabilidad, normalidad e independencia de los residuales, se puede afirmar que el modelo es bueno para predecir valores futuros.



**Figura 21A: Prueba de residuales II**

Fuente: Elaboración propia



**Figura 22A: Gráfica de control para observaciones individuales II**

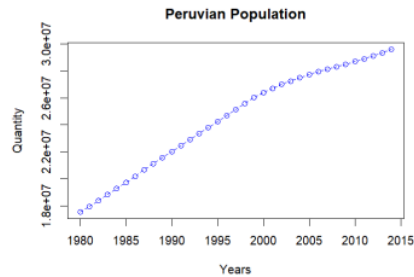
Fuente: Elaboración propia

### Anexo 11: Series de tiempo para la variable $x_4$

El modelo seleccionado toma en cuenta como variables predictoras a  $x_1$  y  $x_4$ , los valores de la primera variable ya se tienen listos, ahora bien, los de la segunda, aún no. Por esta razón, se deben estimar sus valores futuros a través de métodos estadísticos de series temporales. Los valores predichos de ambas variables se introducirán al modelo y de esa manera se obtendrá la oferta proyectada.

Para estimar los futuros valores de  $x_4$  se utilizó la metodología de Box – Jenkins y se analizó un horizonte temporal desde 1980 hasta el 2022. Siguiendo el paso a paso que se detalla en el anexo 06, lo primero que se realizó fue dividir los datos, un data set de entrenamiento (1980 –

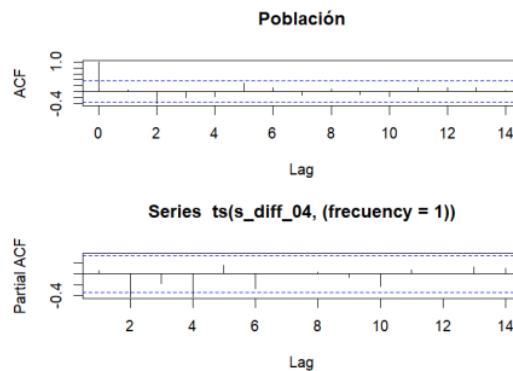
2014) y otro de prueba (2015 – 2022). La imagen 23A enseña la serie temporal del conjunto de datos de entrenamiento y como se puede evidenciar dichos datos no son estacionarios, en consecuencia, surge la necesidad de aplicar diferenciaciones para hacer que su media y varianza sean constantes.



**Figura 23A: Serie temporal del data set de entrenamiento (datos desde el 1980 – 2014)**

**Fuente: Elaboración propia**

Se aplicaron cuatro diferenciaciones a la serie temporal para volverla estacionaria. Luego de ello se realizaron las gráficas ACF y PACF (véase la imagen 24A), en la primera se puede observar que los valores de los rezagos caen a cero rápidamente y que hay dos autocorrelaciones significativas. En la segunda sucede algo similar, ya que dos rezagos cruzan los límites de significancia, demostrando que existen dos autocorrelaciones parciales significativas. Por consiguiente, el modelo seleccionado sería: ARIMA (2, 4, 2).



**Figura 24A: Gráfica de Autocorrelación y Autocorrelación parcial**

**Fuente: Elaboración propia**

Aunque ya se haya identificado un modelo, la metodología establece la creación de modelos alternativos, con la finalidad de poder trabajar con aquel que tenga una mejor calidad de ajuste. Los modelos alternativos fueron los siguientes: ARIMA (1, 4, 1) – M<sub>2</sub>, ARIMA (0, 4, 1) – M<sub>3</sub>, ARIMA (1, 4, 0) – M<sub>4</sub> y ARIMA (0, 4, 0) – M<sub>5</sub>.

Para la selección de un modelo se tomó en cuenta los criterios AIC y BIC, el modelo ARIMA (2, 4, 2) fue el que obtuvo los valores más bajos para ambos casos, por tanto, sería el modelo seleccionado. Asimismo, a los residuos del modelo se les aplicó la prueba de distribución chi cuadrada ( $X^2$ ) con base en el estadístico  $Q$  de Ljung – Box, obteniéndose un valor de  $p$  de 0,17, probándose así que estos son independientes y parecen ruido blanco.

Validado el modelo, se procede a realizar las predicciones para los años 2015 hasta el 2022, recordemos que el data set de prueba contiene los datos reales de este horizonte de tiempo, lo que se busca es comparar las predicciones que arroja el modelo con la data real, de esta manera sabremos qué tan preciso puede llegar a ser. Realizados los pronósticos y utilizando el data set de prueba se procedió a calcular los errores, los cuales se muestran en la figura 25A. El MAPE es muy bajo, dando caución de que el modelo elegido presenta una buena precisión, debido a que erra, en promedio, 0,69%.

```
> cat("RMSE:", rmse, "\n")
RMSE: 264611.5
> cat("MAE:", mae, "\n")
MAE: 221375.3
> cat("MAPE:", mape, "\n")
MAPE: 0.6881119
```

**Figura 25A: Medidas de error del modelo**

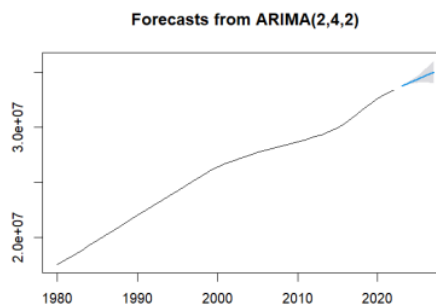
Fuente: Elaboración propia

Calculada la precisión que tiene el modelo, el siguiente paso es elaborar los pronósticos para el horizonte de tiempo target, 2023 – 2027. Los resultados finales se visualizan en las imágenes 26A y 27A.

	Point Forecast	Lo 95	Hi 95
2023	33741637	33713494	33769780
2024	34077996	33956035	34199957
2025	34403514	34094597	34712431
2026	34715411	34106842	35323980
2027	35012495	33975657	36049334

**Figura 26A: Pronósticos y sus intervalos de predicción**

Fuente: Elaboración propia



**Figura 27A: Gráfica de los pronósticos**

Fuente: Elaboración propia

### Anexo 12: Pronósticos de la oferta

Obtenidos los valores de  $x_1$  y  $x_4$ , estos son introducidos en la ecuación predictiva de la oferta para pronosticar sus valores futuros. A continuación, se muestran los resultados de la oferta proyectada:

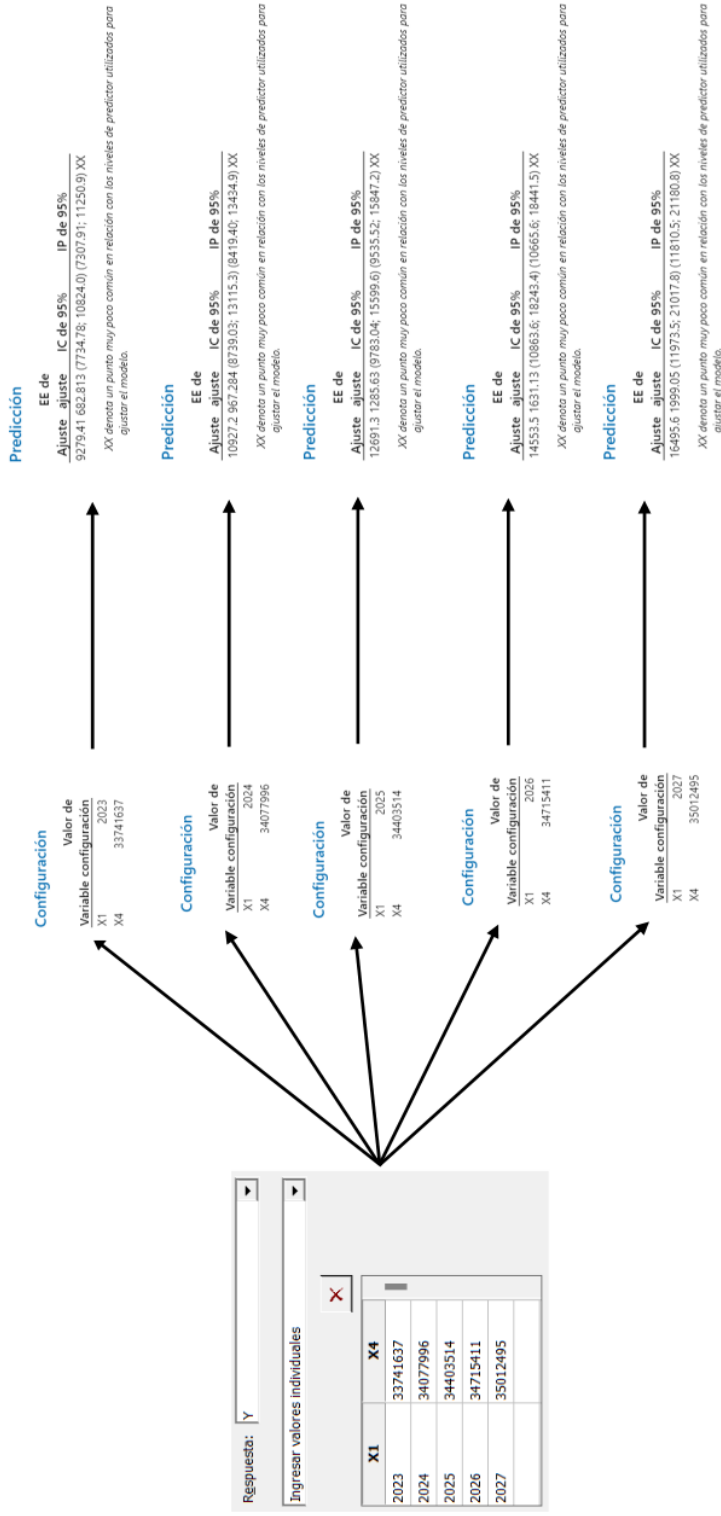


Figura 28A: Oferta futura del polipropileno en forma primaria destinado al sector de envases  
Fuente: Elaboración propia

### **Anexo 13: Elementos a considerar en las decisiones del incremento de capacidad**

Porter [41], en su obra “Estrategia Competitiva” sostiene que, antes de tomar la decisión de incrementar o no la capacidad de una planta industrial, la empresa debe evaluar los siguientes elementos:

**Tabla 10A: Modelo para evaluar la decisión de incrementar la capacidad**

#### **Elementos de la decisión sobre el incremento de la capacidad**

1. Determinar las opciones de la empresa respecto al tamaño y tipo de incrementos a la capacidad.
2. Evaluar la demanda futura y el costo de los insumos.
3. Evaluar los probables cambios tecnológicos y la probable obsolescencia.
4. Pronosticar las adiciones a la capacidad por cada competidor basadas en las expectativas del competidor respecto al sector industrial.
5. Sumar éstas para determinar el equilibrio de la oferta y demanda del sector industrial y los resultantes precios y costos industriales.
6. Determinar los flujos de efectivos esperados por el incremento de la capacidad.
7. Probar la congruencia del análisis.

**Fuente:** Porter [41].

### **Anexo 14: Obtención del precio proyectado**

Para proyectar los precios del PHB se utilizaron datos históricos del mercado internacional. Se tomo un horizonte desde el 2015 hasta el 2022, debido a que solo fue posible encontrar datos de estos años. La tabla 11A contiene aquellos datos y como bien se observa, el precio del producto a lo largo de los años ha fluctuado de manera cíclica, alcanzando algunos picos o subidas en los dos últimos años.

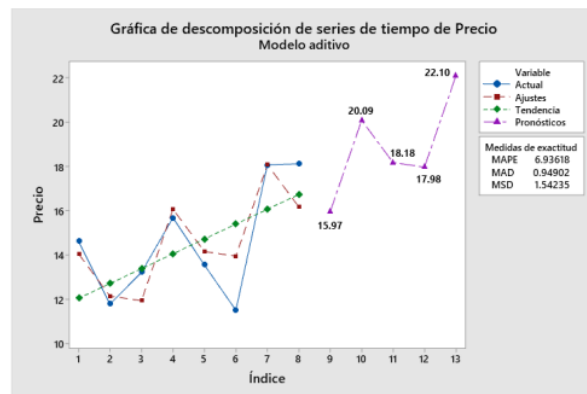
**Tabla 11A: Precio histórico del PHB**

<b>Año</b>	<b>Precio del PHB por kg</b>
2015	S/ 14,64
2016	S/ 11,80
2017	S/ 13,23
2018	S/ 15,69
2019	S/ 13,56
2020	S/ 11,52
2021	S/ 18,08
2022	S/ 18,12

**Fuente:** Exactitude Consultancy [73]. **Tipo de cambio:** (nov 2023): S/. 3,75.

Para obtener los valores futuros se efectuaron varios métodos de pronósticos, en primer lugar, se desarrolló un modelo ARIMA, sin embargo, este arrojó elevadas medidas de error (se

obtuvo un MAPE superior al 20%). Como segunda alternativa se probaron los modelos de regresión, siendo el modelo cuadrático el que presentaba una mejor precisión, aun así, un 8,27% (MAPE del modelo cuadrático) pone en duda la idoneidad del modelo. Por esta razón se procedió a probar otros métodos de series temporales, como el suavizado exponencial y la descomposición de series tanto aditiva como multiplicativa. El modelo aditivo fue el que dio como resultado menores medidas de error, ya que se obtuvo un MAPE de 6,94, un MAD de 0,95 y un MSD de 1,54. En virtud a su buena precisión, se trabajó con los precios proyectados que se obtienen de dicho modelo. Asimismo, a manera de evidencia y de demostrar el buen ajuste que tiene la herramienta, véase la figura 29A, en la cual se puede apreciar como los valores ajustados tienden a caer muy cerca de los valores reales. Destacar que en la figura también se muestran los valores proyectados (unidad: soles S/), los cuales serán el cimiento para el cálculo de los ingresos aproximados del proyecto.



**Figura 29A: Gráfica de la serie temporal y los valores proyectados**

Fuente: Elaboración propia

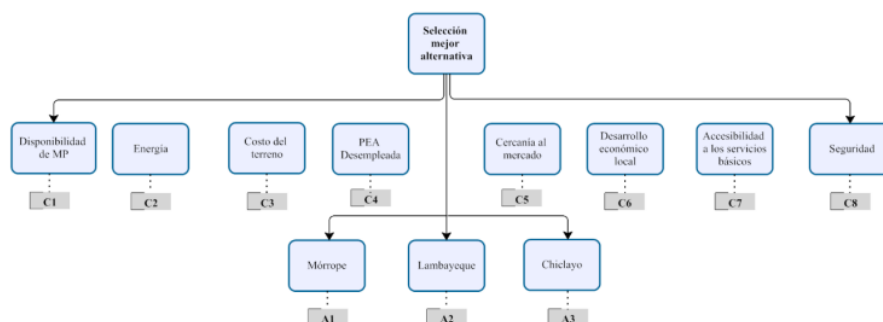
**Anexo 15: Descripción de los criterios para el análisis de micro localización**  
**Tabla 12A: Características de los distritos evaluados**

Factores	Mórrope	Lambayeque	Chiclayo
<b>Disponibilidad de materia prima</b>	La materia prima se obtendrá del distrito de Lambayeque.	La materia prima se obtendrá del distrito de Lambayeque.	
<b>Energía</b>	Fácil acceso al abastecimiento de energía eléctrica.	Fácil acceso al abastecimiento de energía eléctrica.	
<b>Costo del terreno</b>	El costo de los terrenos disponibles oscila entre: 15 a 25 dólares el metro cuadrado.	El precio de los terrenos disponibles en el distrito de Lambayeque oscila entre: 45 a 150 dólares el metro cuadrado.	En Chiclayo el precio de los terrenos oscila entre: 50 a 136 dólares el metro cuadrado.
<b>PEA Desempleada</b>	De acuerdo al Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo (MTPE), en el distrito de Mórrope hay alrededor de 800 personas que están buscando trabajo y están disponibles a trabajar si se les presenta la oportunidad.	Según el MTPE, el distrito de Lambayeque cuenta con una PEA desempleada de alrededor de 1 159 personas.	El distrito de Chiclayo cuenta con alrededor de 4 062 personas económicamente activas que se encuentran desempleadas.
<b>Cercanía al mercado (km)</b>	804.60	789.10	769.00
<b>Desarrollo económico local</b>	Desde el 2019 hasta el 2022 la municipalidad otorgó 6 licencias de funcionamiento para establecimientos de manufactura: Fábricas.	Desde el 2019 hasta el 2022 la municipalidad otorgó 2 licencias de funcionamiento para establecimientos de manufactura: Fábricas.	Desde el 2019 hasta el 2022 la municipalidad no otorgó ninguna licencia de funcionamiento para establecimientos de manufactura: Fábricas.
<b>Accesibilidad a los servicios básicos</b>	Precaria cobertura de agua potable. Por ejemplo: solo el 54,9% de viviendas está conectada a la red de agua potable. También resaltar que el recurso hídrico del distrito de Mórrope tiene un alto grado de concentración de metales pesados.	Buena cobertura de agua potable. Por ejemplo: solo el 69,4% de viviendas está conectada a la red de agua potable.	Excelente cobertura de agua potable. El 87,1% de viviendas está conectada a la red de agua potable y, además, cuenta con 164 682 conexiones activas de agua potable.
<b>Seguridad</b>	No está incluida dentro de los 120 distritos con mayor delincuencia y violencia del país.	No está incluida dentro de los 120 distritos con mayor delincuencia y violencia del país.	El Ministerio del Interior introdujo al distrito de Chiclayo en su lista de los 120 distritos del Perú con mayor delincuencia y violencia del país. Le asignó un índice de priorización de 1,04.

**Fuente:** MTPE [74], Vitale [75], Urbanía Perú [76], ITP Producción [77], INEI [78], Defensoría del Pueblo [79] y Gestión [80].

## Anexo 16: Desarrollo de la metodología AHP para determinar la ubicación de la planta industrial

A continuación, se detalla el desarrollo de la metodología AHP para la determinación de la ubicación idónea de la planta industrial. La figura 30A, muestra el esquema general de decisión, ya que en base a 8 criterios se busca identificar que alternativa (Mórrope, Lambayeque y Chiclayo) es la adecuada para ubicar la planta de bioplásticos.



**Figura 30A: Esquema general de decisión**

Fuente: Elaboración propia

Antes de dar paso a la primera parte de la metodología, se debe hacer hincapié en un recurso imprescindible para poder realizar las comparaciones. Este elemento es la escala fundamental de Saaty (véase la tabla 13 A), la cual nos permitirá transformar conceptos en valores cuantitativos matemáticamente operables [44].

**Tabla 13A: Escala fundamental de Saaty**

Escala numérica	Escala verbal	Explicación
1	Igual importancia.	Los dos elementos contribuyen igualmente a la propiedad o criterio.
3	Moderadamente más importante un elemento que el otro.	El juicio y la experiencia previa favorecen a un elemento frente al otro.
5	Fuertemente más importante un elemento que el otro.	El juicio y la experiencia previa favorecen fuertemente a un elemento frente a otro.
7	Mucho más fuerte la importancia de un elemento que la del otro.	Un elemento domina fuertemente. Su dominación está probada en práctica.
9	Importancia extrema de un elemento frente al otro.	Un elemento domina al otro con el mayor orden de magnitud posible.

Fuente: Yepes [45].

Una vez que ya se tienen definidos los inputs: criterios, alternativas y la escala de Saaty. Se procede en primer lugar a ponderar los criterios, con la finalidad de poder ver si todos ellos influyen de la misma forma en el interés de la alternativa o bien influyen en porcentajes distintos. La ponderación se realizó a través de una matriz de comparación pareada, la cual se muestra en la figura 31A, en ella se evidencia la comparación de cada criterio en función a su grado de importancia. Por ejemplo, comparamos el C1 con el C2, el primer criterio es más importante que el segundo, sin embargo, el grado de importancia superior es moderado, por ello, se le asigna un 3/1.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
C1	1/1	3/1	1/1	3/1	5/1	5/1	3/1	7/1
C2	1/3	1/1	1/1	3/1	5/1	7/1	1/1	7/1
C3	1/1	1/1	1/1	5/1	5/1	7/1	3/1	7/1
C4	1/3	1/3	1/5	1/1	3/1	5/1	1/1	5/1
C5	1/5	1/5	1/5	1/3	1/1	5/1	1/5	7/1
C6	1/5	1/7	1/7	1/5	1/5	1/1	1/5	3/1
C7	1/3	1/1	1/3	1/1	5/1	5/1	1/1	7/1
C8	1/7	1/7	1/7	1/5	1/7	1/3	1/7	1/1
SUMA:	3.54	6.82	4.02	13.73	24.34	35.33	9.54	44.00

**Figura 31A: Matriz de comparación pareada**

Fuente: Elaboración propia

Prosiguiendo con el análisis, resulta necesario probar si hay consistencia lógica en la comparación de criterios que se ha realizado, es por tal motivo, que se calcula el ratio de consistencia. Si esta variable es mayor al 10%, quiere decir que la matriz de comparación pareada es inconsistente.

Para el cálculo de la variable en mención, primero se debe de normalizar la matriz, la normalización da paso para calcular el lambda máximo y con este valor se obtiene el índice de consistencia. Este último dividido entre la consistencia aleatoria da como resultado el ratio de consistencia. Cabe mencionar que, al tratarse de una matriz de tamaño 8, su consistencia aleatoria es de 1,41 [81].

El cociente de la división dio como resultado 0,0925 (véase la figura 32A), de este modo, se asevera que hay consistencia en la matriz elaborada.

II. Normalización de la matriz:								Suma de filas	Promedio	Vector fila total	Cociente
0.2823	0.4399	0.2488	0.2184	0.2054	0.1415	0.3144	0.1591	2.0098	0.2512	2.2939	9.131
0.0941	0.1466	0.2488	0.2184	0.2054	0.1981	0.1048	0.1591	1.3754	0.1719	1.5941	9.272
0.2823	0.1466	0.2488	0.3641	0.2054	0.1981	0.3144	0.1591	1.9188	0.2398	2.2006	9.175
0.0941	0.0489	0.0498	0.0728	0.1232	0.1415	0.1048	0.1136	0.7487	0.0936	0.8654	9.247
0.0565	0.0293	0.0498	0.0243	0.0411	0.1415	0.0210	0.1591	0.5225	0.0653	0.5563	8.519
0.0565	0.0209	0.0355	0.0146	0.0082	0.0283	0.0210	0.0682	0.2532	0.0316	0.2593	8.194
0.0941	0.1466	0.0829	0.0728	0.2054	0.1415	0.1048	0.1591	1.0073	0.1259	1.1837	9.401
0.0403	0.0209	0.0355	0.0146	0.0059	0.0094	0.0150	0.0227	0.1644	0.0205	0.1718	8.363
										<b>λ máx:</b>	<b>8.913</b>
Indice de consistencia											0.1304
Ratio de consistencia											<b>0.0925</b>

**Figura 32A: Calculo del ratio de consistencia**

Fuente: Elaboración propia

Comprobada ya la consistencia del primer análisis, se procede a calcular el vector propio de la matriz de comparación. El cálculo del vector permite identificar qué criterios son más importantes que otros, dicho en otras palabras, jerarquiza los criterios. La figura 33A exhibe el vector propio y en él se puede apreciar que la disponibilidad de MP es el criterio de mayor envergadura, dado que tiene un valor más alto (0,2546), luego le sigue el costo del terreno (0,2429) y la energía (0,1738); la última posición de la jerarquización lo tiene el criterio de seguridad con un valor de 0,0192.

0.2546	Disponibilidad de materia prima
0.1738	Energía
0.2429	Costo del terreno
0.0936	PEA Desempleada
0.0595	Cercanía al mercado* (km)
0.0285	Desarrollo económico local
0.1280	Accesibilidad a los servicios básicos
0.0192	Seguridad

**Figura 33A: Vector propio de los criterios**

Fuente: Elaboración propia

Ya obtenido el primer vector propio, lo que sigue es comparar cada alternativa en función a cada uno de los criterios. Para esto es necesario utilizar la tabla 13A y la escala de Saaty. Por ejemplo, en la figura 34A se puede apreciar la comparación de cada distrito en base al criterio de disponibilidad de materia prima. Como bien se observa para la comparación también se utiliza una matriz de comparación pareada, obteniendo con ella otro vector propio, con el cual se puede afirmar que Lambayeque es la alternativa de mayor importancia cuando estas se evalúan en virtud del primer criterio. Este mismo análisis se repite para los demás criterios; al final cada uno de estos vectores propios formaran una matriz que se multiplicará por el vector propio de los criterios.

III. Comparación de las alternativas en función al criterio 1 - Disponibilidad de materia prima:

	Morrope	Lambaye	Chiclayo					
Morrope	1/1	1/5	1/1	Primer producto:			3.00	0.1429
Lambaye	5/1	1/1	5/1	3.00	0.60	3.00	6.60	0.7143
Chiclayo	1/1	1/5	1/1	15.00	3.00	15.00	33.00	0.1429
				3.00	0.60	3.00	6.60	0.1429
							46.2	
				Segundo producto:			Vector Propio	
				27	5.4	27	59.4	0.1429
				135	27	135	297	0.7143
				27	5.4	27	59.4	0.1429
							415.8	

Figura 34A: Comparación de alternativas en función al C1 y obtención de su vector propio

Fuente: Elaboración propia

Finalizada la comparación de alternativas considerando cada una de las directrices, lo que sigue, tal y como se mencionó antes, es agrupar los vectores en una sola matriz (conocida como: matriz de vectores propios de alternativas por criterio), la cual se multiplica por el primer vector calculado (el de criterios) y el resultado será otro vector que indica la mejor alternativa para ubicar la planta industrial. En este caso, el resultado o mejor dicho la alternativa ad hoc es Lambayeque, debido a que arroja un valor superior al de los demás distritos.

IV. Multiplicación final											
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	V.P. de los criterios		
Morrope	0.1429	0.3333	0.7143	0.0668	0.1350	0.6370	0.0719	0.4545	0.2546	0.3182	Morrope
Lambayeque	0.7143	0.3333	0.1429	0.2185	0.2808	0.2583	0.2790	0.4545	0.1738	0.3634	Lambayeque
Chiclayo	0.1429	0.3333	0.1429	0.7147	0.5842	0.1047	0.6491	0.0909	0.2429	0.3184	Chiclayo
Matriz de vectores propios de alternativas por criterio									0.0936		
									0.0595		
									0.0285		
									0.1280		
									0.0192		

Figura 35A: Obtención de la mejor alternativa para ubicar la planta de bioplásticos

Fuente: Elaboración propia

### Anexo 17: Índice de consumo por unidad

La figura 37A muestra los materiales que serán empleados para el proceso productivo, como bien se observa el proceso no demanda de un gran variedad de insumos.



Figura 37A: Materiales que demanda el proceso productivo

Fuente: Elaboración propia.

Establecida la lista de materiales el siguiente paso es calcular la cantidad que se necesita de cada uno de ellos para producir un saco de PHB (su índice de consumo por unidad), para ello se hace uso del balance de materia, el cual da la premisa para el cálculo de cada insumo. Por ejemplo, si para producir 65,45 kg de PHB se necesita 1 t de OFMSW, ¿cuánto de OFMSW se necesitará para obtener 50 kg de PHB? De esta forma se calcula el índice de consumo para cada uno de los materiales.

En la tabla 14A se muestran las cantidades de cada material para obtener un saco de PHB, así como también el monto por unidad y los surtidores de cada insumo.

**Tabla 14A: Índice de consumo por unidad**

Materia prima o insumo	Surtidor	Unidad de compra	Índice de consumo	Valor por unidad de compra	Monto por unidad
<i>Materiales Directos</i>					
OFMSW	Municipalidad provincial de Lambayeque	t	0,76	S/ 100,00	S/ 76,39
Lodos activos	Epsel S.A.	kg	42,84	S/ 0,15	S/ 7,71
Agua tratada	Epsel S.A.	m <sup>3</sup>	0,38	S/ 12,00	S/ 6,11
Óxido de calcio	Productos Industriales Perú	kg	3,82	S/ 1,72	S/ 7,03
Sulfato de amonio	Productos Industriales Perú	kg	0,14	S/ 1,20	S/ 0,17
Hipoclorito de sodio al 5%	Hydrotech Perú Import E.I.R.L.	L	56,28	S/ 1,23	S/ 74,29
Cloroformo	Química Industrial Perú	L	43,75	S/ 3,00	S/ 393,75
<i>Materiales Indirectos</i>					
Saco de kraft hermético	PROCOMSAC	ud.	1,00	S/ 0,90	S/ 0,90

Fuente: Elaboración propia.

### Anexo 18: Disponibilidad de la materia prima

El proyecto utiliza como insumo principal la fracción orgánica de los residuos sólidos municipales, pues busca darles un valor agregado y convertirlos en un producto de alto valor en el mercado. En específico se busca utilizar aquella cantidad que no se valoriza; en el distrito Lambayeque desde el 2020 se ha empezado a valorizar a este tipo de residuos, sin embargo, las cantidades que se llegan a valorizar son pobres en comparación con otros distritos, por ejemplo,

Lima Metropolitana, con la incorporación de una planta de biogás a gran escala logra valorizar una gran cantidad de sus residuos orgánicos.

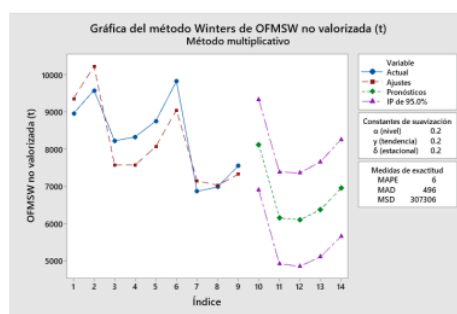
La imagen 38A muestra las cantidades de OFMSW que no se han llegado a valorizar desde el año 2014 hasta el 2022, tal y como se aprecia las cantidades son exorbitantes y “para mal”, han terminado incineradas o en cuerpos de agua. Esta parte del estudio tiene como objetivo pronosticar los valores futuros de la OFMSW no valorizada, con el fin de poder determinar si hay disponibilidad de materia prima para cumplir con lo que solicita el mercado (plan de ventas)

Año	OFMSW (t)	Valorizó (t)	No se valorizó (t)
2014	8,955.35	0.00	8,955.35
2015	9,580.64	0.00	9,580.64
2016	8,224.56	0.00	8,224.56
2017	8,332.72	0.00	8,332.72
2018	8,756.33	0.00	8,756.33
2019	9,824.20	0.00	9,824.20
2020	6,885.56	14.78	6,870.78
2021	7,044.00	55.63	6,988.37
2022	7,618.28	61.98	7,556.30

**Figura 38A: OFMSW no valorizada en el distrito de Lambayeque (2014 - 2022)**

Fuente: Elaboración propia. En base a Ministerio del Ambiente [90].

Para estimar los valores futuros se evaluaron distintos métodos de pronósticos en función a sus medidas de error. El método de Winters fue el que tuvo menor medidas de error, puesto que obtuvo un MAPE de 6 y un MSD de 496. La figura 39A da garantía del buen ajuste del modelo y la figura 40A muestra los resultados que arroja el método.



**Figura 39A: Gráfica de series de tiempo**

Fuente: Elaboración propia

## Pronósticos

Periodo	Pronóstico	Inferior	Superior
10	8208.88	7074.33	9343.43
11	6022.47	4870.15	7174.79
12	6132.46	4960.32	7304.60
13	6425.84	5231.94	7619.74
14	7206.34	5988.83	8423.84

**Figura 40A: Resultados OFMSW no valorizada (t) para los próximos 5 años**

Fuente: Elaboración propia

Al observar los resultados y ver lo que solicita el plan de producción se puede afirmar que si habrá disponibilidad para cumplir con lo solicitado.

### Anexo 19: Elección de la maquinaria y equipos

Para seleccionar la maquinaria y/o equipos con los cuales se llevará a cabo todo el proceso productivo, antes que nada, se debe identificar qué clase de equipos son los necesarios para cada etapa del proceso. La tabla 15A muestra los equipos que se necesitan en cada uno de los procesos y operaciones unitarias.

**Tabla 15A: Equipos necesarios para cada etapa del proceso**

Etapa del proceso productivo	Equipo necesario
Reducción de pulpa / Molienda	Molino de rodillos
Fermentación acidogénica	Biorreactor anaeróbico
Centrifugación I	Centrífuga industrial
Etapa de selección	Biorreactor aeróbico
Recuperación de nutrientes	Tanque de precipitación
Etapa de acumulación	Biorreactor aeróbico
Centrifugación II	Centrífuga industrial
Secado	Secador rotativo
	Lavadora industrial o túnel de lavado
Extracción	Homogeneizadores de alta presión
	Centrífuga industrial
Extrusión	Peletizadora
Envasado	Balanza digital
Almacenamiento	Montacargas y pellets

Fuente: Elaboración propia

Concluida la primera parte, Baca [28] en su libro “Evaluación de proyectos”, manifiesta que la siguiente etapa es seleccionar que factores van a ser los que determinarán la adquisición del equipo, el autor hace un listado de 13 factores relevantes, sin embargo, para la presente

investigación solo se tomó en cuenta 7, los cuales se están detallados en la tabla 16A. Asimismo, en esta tabla también se puede observar que cada factor tiene diferentes opciones y a cada una de ellas se les asignó un puntaje, esto servirá más adelante para la comparación entre las diferentes alternativas de compra.

**Tabla 16A: Factores y escala de valores**

Factor	Código	Puntaje				
		1	2	3	4	5
Proveedor	F01	Proveedor confiable, con un tiempo de entrega relativamente largo	-	Proveedor confiable, con un tiempo de entrega relativamente largo	-	Proveedor confiable con una excelente capacidad de tiempo de entrega y servicio
Lugar de procedencia	F02	Europa	Asia	África	América del Norte	América Latina
Precio (\$)	F03	* Se le asignará un 3 a la opción que presente un mayor valor y a la de menor valor se le asignará 1. El valor estará determinado no solo por el precio del producto, sino también por las garantías, servicio post venta y costo de la instalación.				
Consumo de energía (kWh)	F04	* Se le asignará un valor de 3 a la opción que presente un menor consumo de energía y a la de mayor consumo se le asignará un valor de 1.				
Capacidad	F05	La capacidad del equipo puede generar cuellos de botella en la operación	-	-	-	La capacidad del equipo permite que el material fluya de forma continua
Área que ocupa	F06	Amplia	-	Regular	-	Reducida
Existencia de refacciones en el país	F07	Disponibilidad en el continente europeo	Disponibilidad en el continente asiático	Disponibilidad en África	Existen surtidores de repuestos en América del norte	Existen surtidores de repuestos en América Latina

Fuente: Elaboración propia. En base a Baca [28].

Definidos los factores, estos se deben parangonar con la finalidad de poder reconocer cuales son los de mayor y menor envergadura. Esta comparación es fundamental para poder elegir la maquinaria, ya que puede haber opciones de compra que tengan características similares, empero, la que destaque más en un factor crítico tendrá una mayor probabilidad de elección. De acuerdo a la matriz de enfrentamiento (tabla 17A), el factor con mayor importancia es la capacidad del equipo, a su vez, el precio, el consumo de energía y la existencia de refacciones en el país, también resultan ser factores con un alto grado de consideración.

**Tabla 17A: Matriz de enfrentamiento de factores**

Factores	F01	F02	F03	F04	F05	F06	F07	Total	Ponderación
F01	1	1	0	1	0	0	1	2	8,33%
F02	1	1	0	0	0	0	1	2	8,33%
F03	1	1	1	1	0	1	1	4	16,67%
F04	1	1	1	1	0	1	1	4	16,67%
F05	1	1	1	1	1	1	1	5	20,83%
F06	1	1	0	0	1	1	0	3	12,50%
F07	1	1	1	0	0	1	1	4	16,67%
<b>Total</b>								<b>24</b>	<b>100 %</b>

Fuente: Elaboración propia.

Posterior al enfrentamiento de factores, ya se procede a identificar las opciones de compra, a continuación, en las siguientes tablas se mostrarán los diferentes equipos que fueron evaluados para poder formar parte del proceso productivo.

Tabla 18A: Opciones de compra I

Factores	Molienda		Fermentación acidogénica		Centrifugación I		Etapa de selección		Recuperación de nutrientes		Etapa de acumulación		Centrifugación II	
	Opción 1	Opción 2	Opción 1	Opción 2	Opción 1	Opción 2	Opción 1	Opción 2	Opción 1	Opción 2	Opción 1	Opción 2	Opción 1	Opción 2
<b>Modelo</b>	HPGM1050	HRCTM 1200	Biorreactor anaeróbico ECPC	MBBR Rs 4 Lakh	JXHDC - 650	Biorreactor industrial serie I	Sysbiotech	DLC	NZSG	CSTR ZJ	CSTR Wuxi 20 000 L	TWZ10A	JXDC - 260	
<b>Proveedor</b>	Shandong Huate Magnet Technology Co. Ltd.	Metso	Mingshuo Environment Technology Group Co., Ltd.	Envirotech Systems Integrated	JX Filtration Industries Co., Ltd.	Lavallab	Albion	Dagyeec	Xinhai	Guangang JinzongceMachinery Co. Ltd.	Wuxi Hesheng Environment Chemical Equipment Co. Ltd.	Luoyang Zhongtai Industries Co., Ltd.	JX Filtration Industries Co., Ltd.	
<b>País de procedencia</b>	China	Finlandia	China	India	China	Canadá	Austria	China	China	China	China	China	China	
<b>Precio</b>	S/ 45 185,00	S/ 91 975,00	S/ 280 571,4	S/ 183 965,00	S/ 441 480,00	S/ 734 193,00	S/ 450 644,75	S/ 91 982,50	S/ 76 180,20	S/ 101 477,09	S/ 45 710,40	S/ 110 370,00	S/ 128 765,00	
<b>Dimensiones</b>	H = 2 m W = 2 m L = 2 m	H = 2,2 m W = 1,6 m L = 4,4 m	H = 5 m W = 8 m L = 10 m	H = 8 m W = 5 m L = 5 m	H = 1 m W = 0,5 m L = 1,1 m	H = 6 m φ = 3,5 m	H = 5 m φ = 4,5 m	H = 3 m W = 2,82 m L = 4,65 m	H = 2,5 m W = 6 m L = 3 m	H = 3 m W = 2,8 m L = 4 m	H = 4,5 m W = 2 m L = 2 m	H = 1,7 m W = 1,5 m L = 2,1 m	H = 2,3 m W = 2,6 m L = 1,9 m	
<b>Capacidad</b>	100 t/h	200 t/h	300 m <sup>3</sup>	200 m <sup>3</sup>	85 m <sup>3</sup> /h	60 m <sup>3</sup>	60 m <sup>3</sup>	55 m <sup>3</sup>	50 m <sup>3</sup>	40 m <sup>3</sup>	20 m <sup>3</sup>	50 t/h	50 m <sup>3</sup> /h	
<b>Consumo de energía eléctrica</b>	90 kWh	110 kWh	180 kWh	90 kWh	45 kWh	6 kWh	4 kWh	55 kWh	50 kWh	45 kWh	20 kWh	25 kWh	22 kWh	

Fuente: Elaboración propia. En base a IndiaMART [82], Alibaba [83], Made in China [84], Laval Lab [85], Dagyeec [86], Metso [87] y Filtración JX[88].

Tabla 19A: Opciones de compra II

Factores	Secado		Extracción etapa de lavado		Extracción etapa de lisis bacteriana		Extracción etapa de precipitación de PHA		Extrusión		Envasado		
	Opción 1	Opción 2	Opción 1	Opción 2	Opción 1	Opción 2	Opción 1	Opción 2	Opción 1	Opción 2	Opción 1	Opción 2	
<b>Modelo</b>	GCH	DDGT	Lavadora industrial SC02500	Túnel de lavado Braun SmoothFlow	GYB5000 - 10D	WS - 25 - 2000	TWZ850	DHCS50	YX-21P	SISZ80156	LAP - 300	BBA231	
<b>Proveedor</b>	Shandong Rotax Machinery Co., Ltd.	Zhengzhou Dongling Machinery Co., Ltd.	Tecnolfer	Centrax	Shanghai Donghua High Pressure Homogenizer Factory	Weishi Machinery Technology (Shanghai) Co., Ltd.	Luoyang Zhongtai Industries Co., Ltd.	Liaoyang Sincotech Technology Development Co., Ltd.	Wenzhou Chaouxu Machinery Co., Ltd.	Yurefon Machinery (Zhangjiagang) Co., Ltd.	Alexander Mobba	Metter Toledo	
<b>País de procedencia</b>	China	China	Italia	México	China	China	China	China	China	China	Perú	Perú	
<b>Precio</b>	S/ 171 738,00	S/ 143 950,00	S/ 62 543,00	S/ 84 617,00	S/ 20 602,40	S/ 13 980,20	S/ 69 901,00	S/ 66 222,00	S/ 83 012,00	S/ 95 728,00	S/ 765,00	S/ 880,00	
<b>Dimensiones</b>	H = 2 m W = 1 m L = 24 m	H = 2,1 m W = 5 m L = 15 m	H = 2 m W = 2,2 m L = 3,1 m	H = 3 m W = 1,8 m L = 3,4 m	H = 2,9 m W = 1,6 m L = 2,7 m	H = 1 m W = 0,5 m L = 1,1 m	H = 2,2 m W = 2,3 m L = 2,7 m	H = 1,9 m W = 1,9 m L = 1,6 m	H = 3,3 m W = 4 m L = 18 m	H = 3,3 m W = 5,7 m L = 18,3 m	H = 0,85 m W = 0,19 m L = 300 kg	H = 0,9 m W = 0,5 m L = 300 kg	
<b>Capacidad</b>	20 t/h	50 t/h	10 t/h	8,8 t/h	5 m <sup>3</sup> /h	2 m <sup>3</sup> /h	30 m <sup>3</sup> /h	20 m <sup>3</sup> /h	230 kg/h	1 t/h	300 kg	1 Wh	2 Wh
<b>Consumo de energía eléctrica</b>	90 kWh	110 kWh	37 kWh	49 kWh	160 kWh	78 kWh	21,5 kWh	18,5 kWh	90 kWh	130 kWh	1 Wh	2 Wh	

Fuente: Elaboración propia. En base a IndiaMART [82], Alibaba [83], Made in China [84], Laval Lab [85], Dagyeec [86], Metso [87] y Filtración JX[88].

Las opciones de compra se evaluaron en función a cada uno de los factores anteriormente mencionados. La selección de equipos está plasmada en la tabla 20A, en ella se puede atestiguar, por ejemplo, que para el molino de rodillos se elegirá la opción número dos, puesto que, en base a la evaluación de factores fue la que obtuvo un mayor puntaje.

Los equipos con un mayor puntaje serán los seleccionados para formar parte de las operaciones de la planta.

106 **Tabla 20A: Selección de equipos**

Etapa del proceso	Maquinaria o equipo	Opción	F01	F02	F03	F04	F05	F06	F07	P.
			8,33%	8,33%	16,67%	16,67%	20,83%	12,50%	16,67%	Total
Molienda	Molino de rodillos	1	3	2	3	3	5	3	2	<b>3,17</b>
		2	3	1	1	1	5	3	1	2,25
F. Acidogénica	Biorreactor anaeróbico	1	3	2	1	1	5	1	2	<b>2,25</b>
Centrif. I	Centrifuga industrial	2	1	2	3	3	1	1	2	1,92
		1	3	2	3	1	5	3	2	<b>2,83</b>
Etapa de selección	Biorreactor aeróbico	2	1	2	1	3	5	3	2	2,67
		1	3	4	1	1	5	3	4	3,00
Recuperación de nutrientes	Tanque de precipitación	2	5	1	3	3	5	3	1	<b>3,08</b>
		1	1	2	1	1	5	3	2	2,33
Etapa de acumulación	Biorreactor aeróbico	2	3	2	3	3	5	3	2	<b>3,17</b>
		1	3	2	1	1	5	3	2	<b>2,50</b>
Centrif. II	Centrifugadora industrial	2	1	2	3	3	1	3	2	2,17
		1	3	2	3	1	5	3	2	<b>2,83</b>
Secado	Secador rotativo	2	3	2	1	3	5	1	2	2,08
		1	3	2	3	3	1	1	2	<b>2,25</b>
Extracción	Lavadora o túnel de lavado	1	3	1	3	3	5	3	1	<b>2,92</b>
		2	3	4	1	1	1	3	4	2,17
	Homogeneizador de alta presión	1	3	2	1	1	5	5	2	<b>2,75</b>
		2	3	2	3	3	1	5	2	2,58
Centrifugadora industrial	1	3	2	1	1	5	5	2	<b>2,75</b>	
	2	3	2	3	3	1	5	2	2,58	
Extrusión	Peletizadora	1	3	2	3	3	1	1	2	2,08
		2	3	2	1	1	5	1	2	<b>2,25</b>
Envasado	Balanza digital	1	5	5	3	3	5	5	5	<b>4,33</b>
		2	5	5	1	1	5	5	5	3,67

**Fuente: Elaboración propia.**

Para concluir con esta etapa del estudio técnico, se debe hacer hincapié que, a parte de los equipos principales, la planta industrial debe tener en cuenta algunos equipos complementarios que también son necesarios para el desarrollo de su actividad económica. Por ejemplo, tanques de almacenamiento, que como bien establece su nombre serán fundamentales para almacenar

la materia prima e insumos químicos. La tabla 21A muestra el listado de todos los equipos complementarios:

**Tabla 21A: Equipos complementarios**

Equipo	Proveedor	Capacidad	Dimensiones	Consumo de energía	Precio
Tanque de almacenamiento industrial	Eurotankworks OÜ	120 m <sup>3</sup>	ø = 6 m y H = 4.7 m	-	S/ 87 440,00
	Comquima Europe	30 m <sup>3</sup>	3 m x 3 m x 6 m	-	S/ 59 858,16
	Comquima Europe	20 m <sup>3</sup>	2 m x 2.5 m x 5 m	-	S/ 41 877,07
	Comquima Europe	15 m <sup>3</sup>	2 m x 2 m x 4.5 m	-	S/ 25 914,90
Tanque agitador	Xinhai	100 m <sup>3</sup> /h	ø = 15 m y H = 11 m	80 kWh	S/ 89 715,73
Separador magnético	Metso	-	2 m x 2.5 m x 1 m	-	S/ 11 559,00
Fajas transportadoras (3)	Macpresse Europa	50 t/h	10 m x 2 m x 2.5 m	15 kWh	S/ 31 291,67
Máquina para coser sacos	Henkel	-	(275 x 370 x 305) mm	90 Wh	S/ 699,00
Montacargas	NobleMAQ	Capacidad de carga 5,4 t	-	-	S/ 81 312,00
Muelle de descarga compuesto de tornillos sinfín	Fabricación local	100 t	20 m x 5 m	20 kWh	S/ 35 500,00
Tolva de ensaque	Fabricación local	10 t	2 m x 2.5 m x 4 m	-	S/ 3 200,00
Balanza electrónica para el pesaje de la MP	Balanzas Electrónicas Lima	200 t	24 m x 3 m	-	S/ 95 845,00
Contenedor de residuos (3)	Fabricación local	100 m <sup>3</sup>	7 m x 4 m x 5 m	-	S/ 20 560,00

**Fuente:** Elaboración propia. En base a Alibaba [83], IndiaMART [82] y Edipesa [89].

## Anexo 20: Estimación del consumo de energía

Para estimar el consumo de energía anual que tendrá la planta industrial, en primer lugar, se estimó el consumo para un lote de 215 sacos, luego de estimar cuantos kW demandan los equipos para un lote de producción, se puede multiplicar dicho valor por la cantidad de lotes que se producen al año y de esa manera obtener una estimación del consumo energético anual.

Algo que aclarar es que el valor hallado es una estimación y está sujeta a cierto margen de error, ya que para obtener un valor más preciso se necesita de mayor información y aplicar otra metodología, sin embargo, el valor que se expone en el presente estudio será de gran ayuda para poder estimar y tener noción alguna de los costos energéticos que puede acarrear el desarrollo de la actividad económica de la planta.

**Tabla 22A: Consumo energético para un lote de 215 sacos**

<b>Etapas del proceso</b>	<b>Capacidad del equipo</b>	<b>Cantidad a procesar *</b>	<b>Tiempo de procesamiento</b>	<b>Potencia (kWh)</b>	<b>Consumo energético (kW)</b>
Reducción de pulpa	100 t/h	164,25	1,64 h	90	147,82
Mezcla o agitación	100 m <sup>3</sup> /h	246,37	2,46 h	80	197,10
Fermentación acidogénica	300 m <sup>3</sup>	246,37	12 d	180	51 840,00
Centrifugación	100 t/h	72,56	0,73 h	50	36,28
Etapas de selección	60 m <sup>3</sup>	39,94	10 d	4	960,00
Recuperación de nutrientes	50 m <sup>3</sup>	39,04	7 d	50	8 400,00
Etapas de acumulación (2 equipos)	40 m <sup>3</sup>	54,16	5 d	90	10 800,00
Centrifugación II	50 t/h	54,16	1,08 h	25	27,08
Secado	20 t/h	28,29	1,41 h	110	155,59
Lavado	10 t/h		5,43 h	37	200,75
Lisis B.	5 m <sup>3</sup> /h	54,26	10,85 h	160	1 736,20
Precipitación de PHA	10 m <sup>3</sup> /h		5,43 h	21.5	116,65
Extrusión	1 t/h	13,44	13,44 h	130	1 747,23
<b>Total</b>					<b>76 364,70</b>
<b>~MW</b>					<b>76,36</b>
<b>En el primer año se producirán 28 lotes, por tanto, se estima un consumo energético de (en MW):</b>					<b>2 138,21</b>
<b>~GW</b>					<b>2,14</b>

**Fuente: Elaboración propia**

*\*La cantidad a procesar se determinó teniendo en cuenta el balance de materia, debido a que sirve de base para poder hallar cuanto de materia prima, producto en proceso o insumos químicos se deben procesar en cada etapa del proceso para un lote de producción de 215 sacos.*

## Anexo 23: Distribución de Planta

63 A continuación, se muestran los resultados que arroja el método de Guerchet en la estimación de las superficies para cada una de las áreas que tendrá la planta:

Tabla 23A: Cálculo del área de producción

Elemento	n	N	L (m)	A (m)	H (m)	SS (m <sup>2</sup> )	SG (m <sup>2</sup> )	K	SE (m <sup>2</sup> )	ST (m <sup>2</sup> )
<i>Elemento móvil</i>										
Máquinista especializado	1	-	-	-	1,65	0,50	-	0,25	-	0,5
Envasadores (terceros)	2	-	-	-	1,65	0,50	-	0,25	-	1
<i>Elementos fijos</i>										
Molino de rodillos	1	1	2	2	2	4	4	0,25	1,97	9,97
Biorreactor anaeróbico	1	2	10	8	5	80	160	0,25	59,07	299,07
Centrifugadora industrial I	1	2	2,7	2,3	2,2	6,21	12,42	0,25	4,59	23,22
Biorreactor aeróbico I	1	2	4,50	4,5	5	20,25	40,5	0,25	14,95	75,7
Tanque de precipitación	1	1	3	6	2,5	18	18	0,25	8,86	44,86
Biorreactor aeróbico II	2	2	4	2,8	3	11,2	22,4	0,25	8,27	83,74
Centrifugadora industrial II	1	2	2,1	1,5	1,7	3,15	6,3	0,25	2,33	11,78
Secador rotativo	1	1	15	5	2,1	75	75	0,25	36,92	186,92
Lavadora industrial	1	1	3,1	2,2	2	6,82	6,82	0,25	3,36	17
Homogeneizador de alta presión	1	1	2,6	1,6	2,9	4,16	4,16	0,25	2,05	10,37
Centrifugadora industrial III	1	2	2,7	2,3	2,2	6,21	12,42	0,25	4,59	23,22
Pelotizadora	1	1	18,3	5,7	3,3	104,31	104,31	0,25	51,34	259,96
Balanza digital para sacos	1	3	0,75	0,19	0,85	0,14	0,43	0,25	0,14	0,71
Tanque de almacenamiento I	1	1	6	6	4,7	36	36	0,25	17,72	89,72
Tanque de almacenamiento II	1	1	3	3	6	9	9	0,25	4,43	22,43
Tanque de almacenamiento III	1	1	2	2,5	5	5	5	0,25	2,46	12,46
Tanque de almacenamiento IV	1	1	2	2	4,5	4	4	0,25	1,97	9,97
Tanque agitador	1	1	5	10	11	50	50	0,25	24,61	124,61
Muelle de descarga	1	4	20	5	-	100	400	0,25	123,06	623,06
Tolva de ensaque	1	1	2	2,5	4	5	5	0,25	2,46	12,46
Faja transportadora	3	2	10	2	2,5	20	40	0,25	14,77	224,3
<b>Área total (m<sup>2</sup>)</b>										<b>2.167,01</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24A: Cálculo para el área de almacén de MP

Elemento	n	N	L (m)	A (m)	H (m)	SS (m <sup>2</sup> )	SG (m <sup>2</sup> )	K	SE (m <sup>2</sup> )	ST (m <sup>2</sup> )
<i>Elemento móvil</i>										
Almacenista	1	-	-	-	1,65	0,50	-	1,36	-	0,50
<i>Elementos fijos</i>										
Escritorio	1	1	1,48	0,9	0,76	1,33	1,33	1,36	3,61	6,27
Silla de oficina	1	1	0,5	0,53	0,79	0,27	0,27	1,36	0,72	1,25
Papelera	1	1	0,2	0,2	0,28	0,04	0,04	1,36	0,19	0,19
<b>Área total (m<sup>2</sup>)</b>										<b>8,21</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25A: Cálculo del área de mantenimiento

Elemento	n	N	L (m)	A (m)	H (m)	SS (m <sup>2</sup> )	SG (m <sup>2</sup> )	K	SE (m <sup>2</sup> )	ST (m <sup>2</sup> )
<i>Elemento móvil</i>										
Jefe de mantenimiento	1	-	-	-	1,65	0,50	-	0,66	-	0,50
Supervisor de mantenimiento	1	-	-	-	1,65	0,50	-	0,66	-	0,50
<i>Elementos fijos</i>										
Escritorio	1	1	1	0,70	0,80	0,70	0,70	0,66	0,92	2,32
Silla ergonómica	2	1	0,6	0,60	0,60	0,36	0,36	0,66	0,47	2,38
Estante	2	1	1	0,50	1,76	0,50	0,50	0,66	0,66	3,31
Mesa de trabajo	2	4	1,2	0,50	0,90	0,60	2,40	0,66	1,97	9,93
Almacén de herramientas	1	1	5	3,50	2,75	17,50	17,50	0,66	22,94	57,94
<b>Área total (m<sup>2</sup>)</b>										<b>76,88</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 26A: C. para las oficinas del área administrativa

Elemento	n	N	L (m)	A (m)	H (m)	SS (m²)	SG (m²)	K	SE (m²)	ST (m²)
<i>Elementos móviles</i>										
Gerente general	1	-	-	-	1.65	0.50	-	1	-	0.50
Jefe de contabilidad y finanzas	1	-	-	-	1.65	0.50	-	1	-	0.50
Jefe de seguridad y salud ocupacional	1	-	-	-	1.65	0.50	-	1	-	0.50
Jefe comercial	1	-	-	-	1.65	0.50	-	1	-	0.50
Jefe de logística	1	-	-	-	1.65	0.50	-	1	-	0.50
Jefe de recursos humanos	1	-	-	-	1.65	0.50	-	1	-	0.50
<i>Elementos fijos</i>										
Escritorio	7	1	0.90	1.82	0.92	1.64	1.64	1	3.27	45.79
Silla de oficina	8	1	0.50	0.53	0.79	0.27	0.27	1	0.53	8.47
Papelera	7	1	0.20	0.20	0.28	0.04	0.04	1	0.08	1.12
Estante de melamina	4	1	1.25	0.90	1.70	1.13	1.13	1	2.24	17.97
Área total (m²)										
										<b>76.84</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 27A: C. para la sala de reuniones del área administrativa

Elemento	n	N	L (m)	A (m)	H (m)	SS (m²)	SG (m²)	K	SE (m²)	ST (m²)
<i>Elementos móviles</i>										
Colaboradores	8	-	-	-	1.65	0.50	-	1	-	4
<i>Elementos fijos</i>										
Mesa de reuniones	1	4	2.20	1	0.75	2.20	8.80	1	10.96	21.96
Silla	8	1	0.50	0.53	0.79	0.27	0.27	1	0.53	8.47
Estante de melamina	1	1	2.50	0.80	1.75	2	2	1	3.99	7.99
Área total (m²)										
										<b>42.42</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 28A: C. para la sala de espera del área administrativa

Elemento	n	N	L (m)	A (m)	H (m)	SS (m²)	SG (m²)	K	SE (m²)	ST (m²)
<i>Elementos móviles</i>										
Visita o colaboradores	3	-	-	-	1.65	0.50	-	1.41	-	1.50
<i>Elementos fijos</i>										
Sofá de espera	1	1	1.80	0.85	0.82	1.53	1.53	1.41	4.32	7.38
Mesa de sala de espera	1	1	0.55	0.35	0.55	0.55	0.55	1.41	1.55	2.65
Área total (m²)										
										<b>11.53</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 29A: C. para la superficie de la sala de control

Elemento	n	N	L (m)	A (m)	H (m)	SS (m²)	SG (m²)	K	SE (m²)	ST (m²)
<i>Elementos móviles</i>										
Supervisor de producción	1	-	-	-	1.65	0.50	-	1.20	-	0.50
<i>Elementos fijos</i>										
Escritorio	1	1	2.80	1.20	0.75	3.36	3.36	1.20	8.03	14.75
Silla ergonómica	2	1	0.60	0.60	0.66	0.36	0.36	1.20	0.86	3.16
Área total (m²)										
										<b>18.42</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 30A: C. para el área de saneamiento

Elemento	n	N	L (m)	A (m)	H (m)	SS (m²)	SG (m²)	K	SE (m²)	ST (m²)
<i>Elementos móviles</i>										
Jefe de saneamiento	1	-	-	-	1.65	0.5	-	0.63	-	0.5
Personal de limpieza	3	-	-	-	1.65	0.5	-	0.63	-	1.5
<i>Elementos fijos</i>										
Escritorio	1	1	1	0.7	0.8	0.7	0.7	0.63	0.89	2.29
Silla ergonómica	2	1	0.6	0.6	0.6	0.36	0.36	0.63	0.46	2.35
Estante	1	1	1	0.5	1.76	0.5	0.5	0.63	0.63	1.63
Almacén de herramientas	1	4	3.5	2.75	14	14	14	0.63	17.74	45.74
Área total (m²)										
										<b>54.02</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 31A: C. para el comedor

Elemento	n	N	L (m)	A (m)	H (m)	SS (m²)	SG (m²)	K	SE (m²)	ST (m²)
<i>Elementos móviles</i>										
Colaboradores	20	-	-	-	1.65	0.5	-	0.92	-	10
<i>Elementos fijos</i>										
Frigobar	1	1	0.7	0.7	1	0.49	0.49	0.92	0.91	1.89
Mesa de comedor	3	4	2.9	0.2	0.76	0.58	2.32	0.92	2.68	16.75
Sillas de comedor	20	1	0.4	0.45	0.85	0.18	0.18	0.92	0.33	13.86
Tacho de basura	1	1	0.4	0.4	0.52	0.16	0.16	0.92	0.3	0.62
Mueble base con lavaplatos	1	1	0.4	1.5	0.4	0.4	0.4	0.92	0.74	1.54
Área total (m²)										
										<b>44.65</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 32A: C. para los servicios higiénicos de producción y vestidores

Elemento	n	N	L (m)	A (m)	H (m)	SS (m²)	SG (m²)	K	SE (m²)	ST (m²)
<i>Elementos móviles</i>										
Colaboradores	11	-	-	-	1,65	0,50	-	0,91	-	5,50
<i>Elementos fijos</i>										
Lavatorio	1	1	1,50	0,45	0,74	0,68	0,68	0,91	1,23	2,58
Inodoro	3	1	0,72	0,36	0,66	0,26	0,26	0,91	0,47	2,97
Urinario	2	1	0,27	0,34	0,29	0,09	0,09	0,91	0,17	0,70
Ducha	2	1	0,31	0,38	1,90	0,12	0,12	0,91	0,21	0,90
Locker	2	1	1,50	0,45	1,93	0,68	0,68	0,91	1,23	5,16
Banca amplia de madera	1	1	1,80	0,55	0,42	0,99	0,99	0,91	1,80	3,78
Techo de basura	4	1	0,35	0,35	0,55	0,12	0,12	0,91	0,22	1,87
Área total (m²)										<b>23,47</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 33A: C. para los servicios higiénicos para el área administrativa (hombres)

Elemento	n	N	L (m)	A (m)	H (m)	SS (m²)	SG (m²)	K	SE (m²)	ST (m²)
<i>Elementos móviles</i>										
Colaboradores	2	-	-	-	1,65	0,50	-	1,45	-	1
<i>Elementos fijos</i>										
Lavatorio	1	1	0,42	0,38	1	0,16	0,16	1,45	0,46	0,78
Inodoro	2	1	0,72	0,36	0,66	0,26	0,26	1,45	0,75	2,54
Urinario	2	1	0,27	0,34	0,29	0,09	0,09	1,45	0,27	0,90
Techo de basura	3	1	0,35	0,35	0,55	0,12	0,12	1,45	0,36	1,80
Área total (m²)										<b>7,02</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 34A: C. para los servicios higiénicos para el área administrativa (mujeres)

Elemento	n	N	L (m)	A (m)	H (m)	SS (m²)	SG (m²)	K	SE (m²)	ST (m²)
<i>Elementos móviles</i>										
Colaboradores	2	-	-	-	1,65	0,50	-	1,25	-	1
<i>Elementos fijos</i>										
Lavatorio	1	1	0,42	0,38	1	0,16	0,16	1,25	0,40	0,72
Inodoro	2	1	0,72	0,36	0,66	0,26	0,26	1,25	0,65	2,33
Techo de basura	3	1	0,35	0,35	0,55	0,12	0,12	1,25	0,31	1,65
Área total (m²)										<b>5,70</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 35A: C. para el laboratorio de control de calidad

Elemento	n	N	L (m)	A (m)	H (m)	SS (m²)	SG (m²)	K	SE (m²)	ST (m²)
<i>Elementos móviles</i>										
Colaboradores	1	-	-	-	1,65	0,50	-	0,91	-	0,50
<i>Elementos fijos</i>										
Escritorio	1	1	0,70	0,80	0,70	0,56	0,56	0,91	1,02	2,14
Silla de oficina	1	1	0,60	0,60	0,36	0,36	0,36	0,91	0,65	1,37
Estante metálico	1	1	0,50	1,76	0,50	0,88	0,88	0,91	1,60	3,36
Mesa central de trabajo	1	4	1,50	0,90	2,70	1,35	5,40	0,91	6,13	12,88
Techo de basura	1	1	0,20	0,20	0,28	0,04	0,04	0,91	0,07	0,15
Área total (m²)										<b>20,41</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 36A: C. para el área de desechos

Elemento	n	N	L (m)	A (m)	H (m)	SS (m²)	SG (m²)	K	SE (m²)	ST (m²)
<i>Elementos móviles</i>										
Colaboradores	1	-	-	-	1,65	0,50	-	0,06	-	0,5
<i>Elementos fijos</i>										
Contenedor de residuos	3,00	1,00	7,00	4,00	5,00	28,00	28,00	0,06	3,08	177,24
Área total (m²)										<b>177,74</b>

Fuente: Elaboración propia.

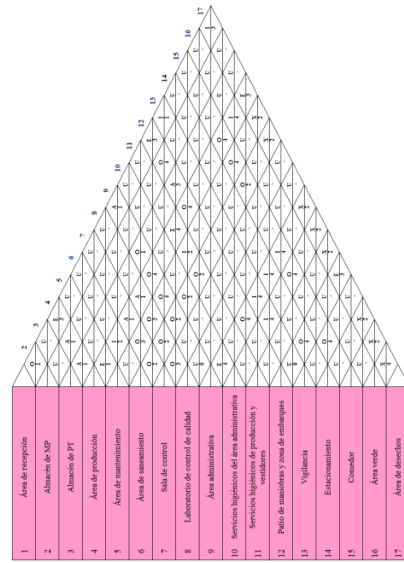
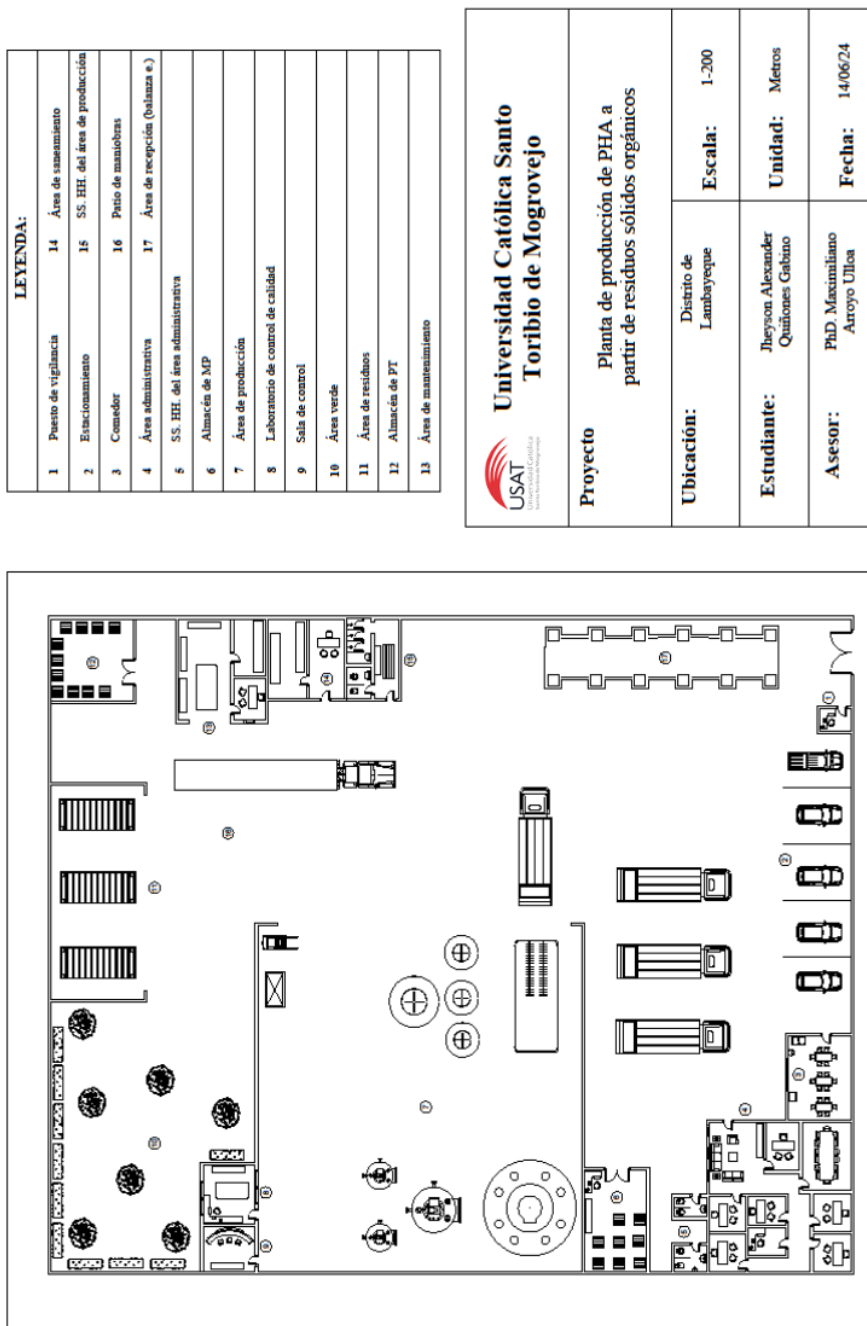


Figura 40A: Diagrama de relación de actividades  
Fuente: Elaboración propia



**Figura 41A: Plano de la Planta**

Fuente: Elaboración propia

72  
**Anexo 24: Flujo de caja del proyecto**

Concepto	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Inversión						
Capital social	S/ 1,982,541.03					
Préstamos	S/ 4,000,000.00					
Total inversión	S/ 5,982,541.03					
72 Ingresos						
Cuentas por cobrar		S/ 1,220,906.50	S/ 1,796,040.25	S/ 1,798,021.75	S/ 1,944,384.00	S/ 2,654,943.50
Cobranzas ventas al año		S/ 3,107,762.00	S/ 4,289,215.00	S/ 4,186,854.00	S/ 4,568,718.00	S/ 6,342,700.00
Total de ingresos		S/ 4,328,668.50	S/ 6,085,255.25	S/ 5,984,875.75	S/ 6,513,102.00	S/ 8,997,643.50
Egresos						
Costos de producción		S/ 2,882,621.38	S/ 3,161,061.23	S/ 3,115,004.36	S/ 3,447,918.95	S/ 3,652,235.02
Gastos administrativos		S/ 426,560.00	S/ 426,560.00	S/ 426,560.00	S/ 426,560.00	S/ 426,560.00
Gastos de comercialización		S/ 75,986.00	S/ 77,336.00	S/ 78,936.00	S/ 80,286.00	S/ 81,486.00
Amortización de préstamos		S/ 626,768.37	S/ 703,422.14	S/ 789,450.67	S/ 886,000.48	S/ 994,358.34
Intereses de préstamo		S/ 489,200.00	S/ 412,546.23	S/ 326,517.70	S/ 229,967.88	S/ 121,610.03
Total de egresos		S/ 4,501,135.75	S/ 4,780,925.59	S/ 4,736,468.73	S/ 5,070,733.32	S/ 5,276,249.39
Saldo bruto		-S/ 172,467.25	S/ 1,304,329.66	S/ 1,248,407.02	S/ 1,442,368.68	S/ 3,721,394.11
Impuesto a la renta			S/ 391,298.90	S/ 374,522.11	S/ 432,710.60	S/ 1,116,418.23
Saldo (después de impuestos)		-S/ 172,467.25	S/ 913,030.76	S/ 873,884.91	S/ 1,009,658.08	S/ 2,604,975.88
Depreciación		S/ 630,598.72	S/ 630,598.72	S/ 630,598.72	S/ 630,598.72	S/ 630,598.72
Saldo final	-S/ 1,982,541.03	S/ 458,131.48	S/ 1,543,629.48	S/ 1,504,483.64	S/ 1,640,256.80	S/ 3,235,574.60
Utilidad acumulada	-S/ 1,982,541.03	-S/ 1,524,409.55	S/ 19,219.93	S/ 1,523,703.57	S/ 3,163,960.37	S/ 6,399,534.97

Fuente: Elaboración propia.

# Informe de tesis al 100%\_EF.pdf

## ORIGINALITY REPORT

19%

SIMILARITY INDEX

18%

INTERNET SOURCES

3%

PUBLICATIONS

3%

STUDENT PAPERS

## PRIMARY SOURCES

1	<a href="https://tesis.usat.edu.pe">tesis.usat.edu.pe</a> Internet Source	8%
2	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Internet Source	3%
3	<a href="https://doczz.es">doczz.es</a> Internet Source	<1%
4	<a href="https://dokumen.pub">dokumen.pub</a> Internet Source	<1%
5	<a href="https://es.scribd.com">es.scribd.com</a> Internet Source	<1%
6	<a href="https://docero.mx">docero.mx</a> Internet Source	<1%
7	Submitted to Universidad Nacional de Colombia Student Paper	<1%
8	<a href="https://repository.uamerica.edu.co">repository.uamerica.edu.co</a> Internet Source	<1%
9	<a href="https://www.researchgate.net">www.researchgate.net</a> Internet Source	<1%

10	<a href="http://www.conama11.vsf.es">www.conama11.vsf.es</a> Internet Source	<1 %
11	<a href="http://alicia.concytec.gob.pe">alicia.concytec.gob.pe</a> Internet Source	<1 %
12	<a href="http://www.ptolomeo.unam.mx:8080">www.ptolomeo.unam.mx:8080</a> Internet Source	<1 %
13	<a href="http://www.slideshare.net">www.slideshare.net</a> Internet Source	<1 %
14	<a href="http://repositorio.uta.edu.ec">repositorio.uta.edu.ec</a> Internet Source	<1 %
15	<a href="http://vdocuments.pub">vdocuments.pub</a> Internet Source	<1 %
16	<a href="http://repositorio.uchile.cl">repositorio.uchile.cl</a> Internet Source	<1 %
17	<a href="http://baixardoc.com">baixardoc.com</a> Internet Source	<1 %
18	<a href="http://rockflood.files.wordpress.com">rockflood.files.wordpress.com</a> Internet Source	<1 %
19	<a href="http://dspace.ups.edu.ec">dspace.ups.edu.ec</a> Internet Source	<1 %
20	Submitted to City University of New York System Student Paper	<1 %
21	Submitted to University of Waikato Student Paper	<1 %

<1 %

22

[idoc.pub](http://idoc.pub)

Internet Source

<1 %

23

[issuu.com](http://issuu.com)

Internet Source

<1 %

24

[repositorio.ucv.edu.pe](http://repositorio.ucv.edu.pe)

Internet Source

<1 %

25

[repositorio.usil.edu.pe](http://repositorio.usil.edu.pe)

Internet Source

<1 %

26

[1library.co](http://1library.co)

Internet Source

<1 %

27

[docplayer.es](http://docplayer.es)

Internet Source

<1 %

28

[doku.pub](http://doku.pub)

Internet Source

<1 %

29

[worldwidescience.org](http://worldwidescience.org)

Internet Source

<1 %

30

Submitted to Universidad Carlos III de Madrid

Student Paper

<1 %

31

Submitted to ITESM: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey

Student Paper

<1 %

32

[www.biorxiv.org](http://www.biorxiv.org)

Internet Source

<1 %

33

Julio Alejandro Salas Bacalla, Máximo Leyva Caballero, Adolfo Calenzani Fiestas. "Modelo del proceso jerárquico analítico para optimizar la localización de una planta industrial", Industrial Data, 2014

Publication

<1 %

34

[cdn.www.gob.pe](http://cdn.www.gob.pe)

Internet Source

<1 %

35

[repositorio.ulima.edu.pe](http://repositorio.ulima.edu.pe)

Internet Source

<1 %

36

[tesis.pucp.edu.pe](http://tesis.pucp.edu.pe)

Internet Source

<1 %

37

[www.coursehero.com](http://www.coursehero.com)

Internet Source

<1 %

38

Submitted to Curtin University of Technology

Student Paper

<1 %

39

Submitted to Universitat Politècnica de València

Student Paper

<1 %

40

[lacamara.pe](http://lacamara.pe)

Internet Source

<1 %

41

[repositorioacademico.upc.edu.pe](http://repositorioacademico.upc.edu.pe)

Internet Source

<1 %

42	Submitted to Instituto Politecnico Nacional Student Paper	<1 %
43	documentop.com Internet Source	<1 %
44	ijece.iaescore.com Internet Source	<1 %
45	raccefyn.co Internet Source	<1 %
46	tuprints.ulb.tu-darmstadt.de Internet Source	<1 %
47	www.scribd.com Internet Source	<1 %
48	cybertesis.unmsm.edu.pe Internet Source	<1 %
49	datospdf.com Internet Source	<1 %
50	go.gale.com Internet Source	<1 %
51	mici.gob.pa Internet Source	<1 %
52	repositorio.lamolina.edu.pe Internet Source	<1 %
53	Submitted to BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA BIBLIOTECA	<1 %

54

[www.elsectoragricola.com](http://www.elsectoragricola.com)

Internet Source

<1 %

---

55

Submitted to AUT University

Student Paper

<1 %

---

56

[www.anjs.edu.iq](http://www.anjs.edu.iq)

Internet Source

<1 %

---

57

Imen Ben Tahar, Patrick Fickers. "Metabolic engineering of microorganisms for urban waste valorization", Case Studies in Chemical and Environmental Engineering, 2021

Publication

<1 %

---

58

Submitted to RMIT University

Student Paper

<1 %

---

59

SERV GEOGRAFICOS Y MEDIO AMBIENTE SAC. "ITS para el Proyecto de Modificación de la Ubicación, Área de la Plataforma y Profundidad de 18 Pozos de Desarrollo en el Lote X-IGA0007479", R.D. N° 010-2018-SENACE-JEF/DEAR, 2022

Publication

<1 %

---

60

Submitted to Universidad TecMilenio

Student Paper

<1 %

---

61

[energypedia.info](http://energypedia.info)

Internet Source

<1 %

---

62

Internet Source

&lt;1 %

63

Submitted to Universidad Cesar Vallejo

Student Paper

&lt;1 %

64

Submitted to Universidad San Francisco de Quito

Student Paper

&lt;1 %

65

repositorio.esan.edu.pe

Internet Source

&lt;1 %

66

tesis.ucsm.edu.pe

Internet Source

&lt;1 %

67

www.interacciones.com.mx

Internet Source

&lt;1 %

68

conocimientoabierto.flacso.edu.mx

Internet Source

&lt;1 %

69

cr.fourcornersdailypost.com

Internet Source

&lt;1 %

70

repositorio.cientifica.edu.pe

Internet Source

&lt;1 %

71

repositorio.unne.edu.ar

Internet Source

&lt;1 %

72

repository.unilasallista.edu.co

Internet Source

&lt;1 %

73

revistasojs.utn.edu.ec

Internet Source

<1 %

74

[www.investigacion.biblioteca.uvigo.es](http://www.investigacion.biblioteca.uvigo.es)

Internet Source

<1 %

75

"Inter-American Yearbook on Human Rights / Anuario Interamericano de Derechos Humanos, Volume 18 (2002)", Brill, 2006

Publication

<1 %

76

J & E CONSULTORES GENERALES S.R.L.. "EIA-SD del Proyecto Instalación de la Línea de Transmisión en 60 kV Pongo de Caynarachi - Yurimaguas y Subestaciones-IGA0002612", R.D. N° 196-2017-MEM/DGAAE, 2020

Publication

<1 %

77

Submitted to Universidad ESAN -- Escuela de Administración de Negocios para Graduados

Student Paper

<1 %

78

[http://192.91.247.23/wto/spanish/tratop\\_s/dispu\\_s/166](http://192.91.247.23/wto/spanish/tratop_s/dispu_s/166)

Internet Source

<1 %

79

[michoacanimparcial1.wixsite.com](http://michoacanimparcial1.wixsite.com)

Internet Source

<1 %

80

[www.full-trust.com](http://www.full-trust.com)

Internet Source

<1 %

81

Lucía Rodríguez-Olay, Marta García-Sampedro, Elia Saneleuterio. "Preferencias literarias e influencias de género en los

<1 %

# hábitos lectores del alumnado de 5.º Y 6.º de Educación Primaria", Investigaciones Sobre Lectura, 2024

Publication

82

Sharisse D. McCafferty, Geoffrey G. McCafferty. "SPINNING AND WEAVING TOOLS FROM SANTA ISABEL, NICARAGUA", Ancient Mesoamerica, 2008

Publication

<1 %

83

[catalonica.bnc.cat](http://catalonica.bnc.cat)

Internet Source

<1 %

84

[ebuah.uah.es](http://ebuah.uah.es)

Internet Source

<1 %

85

[elisendamoia.blogspot.com](http://elisendamoia.blogspot.com)

Internet Source

<1 %

86

[eprint.ncl.ac.uk](http://eprint.ncl.ac.uk)

Internet Source

<1 %

87

[es.slideshare.net](http://es.slideshare.net)

Internet Source

<1 %

88

[moam.info](http://moam.info)

Internet Source

<1 %

89

[networkofcenters.net](http://networkofcenters.net)

Internet Source

<1 %

90

[publications.europa.eu](http://publications.europa.eu)

Internet Source

<1 %

91	<a href="https://repositorio.unibague.edu.co">repositorio.unibague.edu.co</a> Internet Source	<1 %
92	<a href="https://rodin.uca.es">rodin.uca.es</a> Internet Source	<1 %
93	<a href="https://wiki2.org">wiki2.org</a> Internet Source	<1 %
94	<a href="http://www.cacic2016.unsl.edu.ar">www.cacic2016.unsl.edu.ar</a> Internet Source	<1 %
95	<a href="http://www.ftforum.org">www.ftforum.org</a> Internet Source	<1 %
96	<a href="http://www.youtube.com">www.youtube.com</a> Internet Source	<1 %
97	<a href="http://zaloamati.azc.uam.mx">zaloamati.azc.uam.mx</a> Internet Source	<1 %
98	Calderón Pinto, José Alberto   Espinoza Badillo, Kimberly Kelly   Leguía Escalante, Gustavo   Sayas Pacussich et al. "Modelo Prolab: Propuesta de Negocio Para la Implementación del Servicio de Crowdfunding para las Micro y Pequeñas Empresas en Lima y Callao", Pontificia Universidad Católica del Perú (Peru), 2023 Publication	<1 %
99	ENVIRONMENTAL HYGIENE & SAFETY SRLTDA. "Actualización del Plan de Manejo	<1 %

Ambiental de la DIA de la Planta N° 1 - Lurín-  
IGA0017768", R.D. N° 00124-2020-  
PRODUCE/DGAAMI, 2022

Publication

- 
- |     |  |      |
|-----|--|------|
| 100 | Jesús Pardo Loaiza. "Mejora de la gestión del recurso hídrico mediante la incorporación de indicadores de regímenes ecológicos en el análisis de sistemas de recursos hídricos",<br>Universitat Politecnica de Valencia, 2023<br>Publication | <1 % |
| 101 | Submitted to Universidad del Atlántico<br>Student Paper  | <1 % |
| 102 | <a href="http://biblioteca.icap.ac.cr">biblioteca.icap.ac.cr</a><br>Internet Source  | <1 % |
| 103 | <a href="http://dspace.unitru.edu.pe">dspace.unitru.edu.pe</a><br>Internet Source  | <1 % |
| 104 | <a href="http://economia.gob.mx">economia.gob.mx</a><br>Internet Source  | <1 % |
| 105 | <a href="http://ficem.org">ficem.org</a><br>Internet Source  | <1 % |
| 106 | <a href="http://hkkk.fi">hkkk.fi</a><br>Internet Source  | <1 % |
| 107 | <a href="http://iris.uniroma1.it">iris.uniroma1.it</a><br>Internet Source  | <1 % |
| 108 | <a href="http://pdfcoffee.com">pdfcoffee.com</a><br>Internet Source  | <1 % |

---

109	<a href="http://prezi.com">prezi.com</a> Internet Source	<1 %
110	<a href="http://pt.slideshare.net">pt.slideshare.net</a> Internet Source	<1 %
111	<a href="http://repositorio.continental.edu.pe">repositorio.continental.edu.pe</a> Internet Source	<1 %
112	<a href="http://repositorio.unap.edu.pe">repositorio.unap.edu.pe</a> Internet Source	<1 %
113	<a href="http://reunir.unir.net">reunir.unir.net</a> Internet Source	<1 %
114	<a href="http://revistas.unicauca.edu.co">revistas.unicauca.edu.co</a> Internet Source	<1 %
115	<a href="http://rinfi.fi.mdp.edu.ar">rinfi.fi.mdp.edu.ar</a> Internet Source	<1 %
116	<a href="http://terrassawireless.net">terrassawireless.net</a> Internet Source	<1 %
117	<a href="http://www.aguamarket.com">www.aguamarket.com</a> Internet Source	<1 %
118	<a href="http://www.magzter.com">www.magzter.com</a> Internet Source	<1 %
119	<a href="http://www.mcx.es">www.mcx.es</a> Internet Source	<1 %
120	<a href="http://www.oalib.com">www.oalib.com</a> Internet Source	<1 %

---

121	<a href="http://www.socioeco.org">www.socioeco.org</a> Internet Source	<1 %
122	<a href="http://www.wto.org">www.wto.org</a> Internet Source	<1 %
123	<a href="http://www2.mdpi.com">www2.mdpi.com</a> Internet Source	<1 %
124	<a href="http://www3.fi.mdp.edu.ar">www3.fi.mdp.edu.ar</a> Internet Source	<1 %
125	<a href="http://xdocs.net">xdocs.net</a> Internet Source	<1 %
126	S. Rahul, N. Valliammai, S. Varshiny, M. Lakshaya, S. Prabakaran, S. Sudalai, A. Arumugam. "Utilization of lignocellulosic biomass for advanced simultaneous biofuel and biomaterials production", Elsevier BV, 2024 Publication	<1 %
127	<a href="http://infosen.senado.gob.mx">infosen.senado.gob.mx</a> Internet Source	<1 %
128	<a href="http://artemis.cslab.ece.ntua.gr:8080">artemis.cslab.ece.ntua.gr:8080</a> Internet Source	<1 %
129	<a href="http://repositorio.ucundinamarca.edu.co">repositorio.ucundinamarca.edu.co</a> Internet Source	<1 %
130	<a href="http://elar.urfu.ru">elar.urfu.ru</a> Internet Source	<1 %

131

repository.tudelft.nl

Internet Source

<1 %

---

132

repository.ugc.edu.co

Internet Source

<1 %

---

133

www.esan.edu.pe

Internet Source

<1 %

---

Exclude quotes      On

Exclude matches      Off

Exclude bibliography      On