



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Factibilidad del aprovechamiento  
de plumas de pollo en la  
fabricación de aislantes**

**TESINA**

Que para obtener el título de

**INGENIERA ELÉCTRICA ELECTRÓNICA**

**P R E S E N T A**

ANDREA GONZÁLEZ BAUTISTA

**DIRECTORA DE TESIS**

DRA. ALEJANDRA CASTRO GONZÁLEZ



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2023

## DEDICATORIA

A mi madre, padre, hermano, amigos, amigas, profesoras, profesores y a la sociedad interesada en un mejor futuro.

## AGRADECIMIENTOS

A todos y todas las que me inspiraron durante mi carrera universitaria y a lo largo de la vida. Gracias a familia, amigas, amigos, profesores, profesoras y a alguno que otro poeta por inspirarme y hacer mis días llevaderos.

Gracias a mi directora de tesis, Dra. Alejandra Castro González, por las clases, la paciencia y la oportunidad.

Gracias a la Dra. Manuela Azucena Escobedo Izquierdo y la M.I. Judith Catalina Navarro Gómez, por las enseñanzas, atenciones y regaños.

Gracias al Dr. Sergio Quezada García, por enseñarme lo que nunca aprendí de termodinámica y por recordarme que el conocimiento es inspirador.

Gracias a la Dra. Pilar Castañeda y al M. Jorge Miguel Iriarte por brindarme datos sobre el caso de estudio, el CEIEPAv.

Gracias Johan.

# ÍNDICE

Índice de figuras.....	VII
Índice de tablas .....	VIII
Resumen.....	IX
Introducción .....	X
Objetivo .....	XI
<b>Capítulo 1. Generalidades .....</b>	<b>1</b>
1.1. Rastros avícolas .....	1
1.2. Potencial en México .....	3
1.3. Características físicas, químicas y eléctricas de la pluma .....	6
1.4. Tipos de plumas .....	9
<b>Capítulo 2. Fundamentos.....</b>	<b>12</b>
2.1. Uso de la pluma avícola en México y en el mundo.....	12
2.2. Potencial energético de la pluma.....	14
2.2.1. Producción de biodiésel.....	14
2.2.2. Producción de biogás.....	15
2.2.3. Producción de biohidrógeno .....	15
2.3. Implicación ambiental de la industria avícola.....	18
2.4. Normatividad en la industria avícola .....	19
2.5. Aislantes en la industria eléctrica y electrónica .....	20
2.5.1. Tipos de aislantes en la industria eléctrica y electrónica.....	20
2.5.2. Plásticos aislantes .....	24
2.5.3. Métodos para elaborar plásticos aislantes .....	24
2.5.4 Implicación ambiental de aislantes plásticos.....	28
2.5.4 Normatividad en aislantes eléctricos .....	29
<b>Capítulo 3. Materiales y métodos.....</b>	<b>32</b>
3.1 Caso de estudio .....	32
3.2. Metodología de trabajo .....	36
<b>Capítulo 4. Resultados.....</b>	<b>37</b>
4.1. Potencial de la pluma en el caso de estudio.....	37
4.2. Caracterización de la pluma .....	37
4.4. Factibilidad ambiental.....	46

<b>4.5 Factibilidad económica.....</b>	<b>51</b>
<b>4.6. Comparativo con otras tecnologías.....</b>	<b>58</b>
<b>Capítulo 5. Conclusiones.....</b>	<b>61</b>
<b>Referencias bibliográficas.....</b>	<b>62</b>

## Índice de figuras

Figura 1.1.	Principales productores de carne de pollo en el mundo 1	4
Figura 1.2.	Principales productores de carne de pollo en el mundo 2	5
Figura 1.3.	Fotografía de las aves en proceso de replume	5
Figura 1.4.	Estructura física de la pluma	7
Figura 1.5.	Redes que integran al vexilo	8
Figura 1.6.	Regiones de crecimiento de plumas	10
Figura 1.7.	Esquema de un ala típica	10
Figura 1.8.	Tipos de plumas	11
Figura 2.1.	Fotografía de harina hecha de plumas de pollo	12
Figura 2.2.	Tipos de papel según el contenido de plumas de pollo	13
Figura 2.3.	Diagrama del proceso de producción de biogás a partir de plumas de pollo	16
Figura 2.4.	Diagrama del proceso de producción de biodiésel utilizando harina de plumas de pollo	17
Figura 2.5.	Fotografía de la acumulación de excretas	19
Figura 2.6.	Aislador cerámico, utilizado en líneas de transmisión	21
Figura 2.7.	Subestación eléctrica con hexafluoruro de azufre como aislante	22
Figura 3.1.	Aves de granja en el CEIEPAV	33
Figura 3.2.	Pollitos recién adquiridos por el centro	34
Figura 3.3.	Metodología de trabajo métodos de trabajo	36
Figura 4.1.	Operaciones unitarias del proceso de conversión de las plumas de pollo para elaborar un material aislante	38
Figura 4.2.	Diagrama de operaciones unitarias del proceso de lavado	40
Figura 4.3.	Filtros utilizados durante el proceso de limpieza, para bomba y para reactores, de izquierda a derecha respectivamente	41
Figura 4.4.	Balance de materia y energía del proceso de lavado	42
Figura 4.5.	Balance de materia y energía del proceso de trituración	42
Figura 4.6.	Cantidad de plumas y de bases poliméricas para elaborar un aislante	44
Figura 4.7.	Diagrama de operaciones unitarias del proceso de conversión	45
Figura 4.8.	Comparativo de utilizar las plumas de pollo como material aislante en la fabricación de 1,000 millones de computadoras	48
Figura 4.9.	Comparativo al utilizar las plumas de pollo como material aislante en la fabricación de 1.6 millones de televisores	48
Figura 4.10	Emisiones evitadas al utilizar la mezcla de una base polimérica y plumas de pollo para la fabricación de televisores y computadoras	49
Figura 4.11	Emisiones evitadas equivalentes a la fabricación y uso de autos	49

## Índice de tablas

Tabla 1.1.	Listado de rastros y/o centros de matanza en los que se realiza vigilancia o seguimiento operativo por parte de las entidades federativas año 2020	2
Tabla 1.2.	Características principales de las plumas	8
Tabla 1.3.	Principales minerales y aminoácidos en las plumas de pollo	9
Tabla 2.1.	Normatividad en la industria avícola	23
Tabla 2.2.	Características de los plásticos aislantes	27
Tabla 2.3.	Temperatura de funcionamiento de diferentes aislantes eléctricos en aparatos electrónicos	30
Tabla 2.4.	Plásticos aislantes en eléctrica	31
Tabla 3.1.	Gastos energéticos	33
Tabla 3.2.	Condiciones iniciales del CEIEPAv	34
Tabla 3.3.	Resumen de peso de pollos de engorda	35
Tabla 4.1.	Potencial de las plumas de pollo	37
Tabla 4.2.	Caracterización de las plumas de pollo	38
Tabla 4.3.	Potencial anual del CEIEPAv	38
Tabla 4.4.	Dimensiones de los reactores	41
Tabla 4.5.	Equipo para tratamiento de plumas	43
Tabla 4.6.	Características y cantidades de las bases poliméricas y plumas de pollo para producir una lámina con volumen de $93.60 \text{ cm}^3$	45
Tabla 4.7.	Uso de plásticos en la industria electrónica	47
Tabla 4.8.	Factibilidad ambiental en el CEIEPAv, México y el mundo contemplando la basura electrónica que ha sido generada hasta el 2022	50
Tabla 4.9.	Inversión fija	51
Tabla 4.10.	Inversión por base polimérica utilizada en el proceso de conversión de las plumas	51
Tabla 4.11.	Propuesta 1. Plumas y polipropileno	53
Tabla 4.12.	Propuesta 2. Plumas y polietileno de alta densidad	53
Tabla 4.13.	Propuesta 3. Plumas y EVA	54
Tabla 4.14.	Energía eléctrica consumida por semana con la propuesta del proceso de conversión	54
Tabla 4.15.	Tarifa GDBT en la División Valle de México Sur	55
Tabla 4.16.	Propuesta 1 considerando gasto por electricidad	55
Tabla 4.17.	Propuesta 2 considerando gasto por electricidad	56
Tabla 4.18.	Propuesta 3 considerando gasto por electricidad	56
Tabla 4.19.	Factibilidad económica de las diferentes combinaciones de plumas y bases poliméricas	57
Tabla 4.20.	Comparativo entre tecnologías	60

## Resumen

En el siguiente trabajo se propone la utilización de plumas de pollo como material primario en la elaboración de aislantes. El caso de estudio involucra al Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Avícola (CEIEPAV) de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, quien cada año trabaja con 7,000 gallinas de postura, 10,000 pollos de engorda y alrededor de 3,000 pavos; es decir, tiene un potencial anual aproximado de 6.54 ton de plumas.

El proceso da inicio con una limpieza exhaustiva, las plumas son secadas, trituradas, precalentadas y mezcladas con una matriz polimérica y dependiendo de la matriz elegida el material final tendrá algunas características más marcadas que otras. Posteriormente el material es precalentado y finalmente moldeado utilizando placas calientes, la estructura final escogida en este estudio no es la única posible; de hecho, se puede moldear a placer. Sin embargo, el porcentaje de plumas presente en el material final se estableció como máximo en 20% ya que una mayor proporción compromete las características del material, así como su rigidez, manejabilidad y la microestructura.

Para tratar las plumas del CEIEPAV se necesita una inversión inicial de \$986,765 que contempla únicamente el costo de la maquinaria necesaria para realizar el proceso. El proceso consta de varias etapas, se deben lavar, desinfectar y secar las plumas para luego ser trituradas y mezcladas con una base polimérica. Tomando en cuenta tres diferentes bases poliméricas se tienen tres diferentes opciones de inversión que no varían mucho una de otra. La propuesta 1, donde se mezclan plumas y polipropileno, la propuesta 2, mezcla de plumas y polietileno alta densidad, y la propuesta 3, mezcla de plumas y EVA (Copolímero etilvinilacetato), requieren una inversión inicial de \$968,765.00. La tasa interna de retorno va del 15% al 18% y la relación beneficio/costo está entre 1.38 y 1.59, valores económicamente positivos y prometedores a largo plazo.

Con el uso de las plumas de pollo es posible producir un material mucho más amable con el ambiente que los polímeros, especialmente aquellos cuyas bases son de policarbonato y acrilonitrilo butadieno estireno (ABS). Si se ocupan mezclas de materiales, como el explicado en la presente tesina, es posible reducir el consumo de plástico en un 20%; por ejemplo, actualmente en el mundo existen 1,000 millones de computadoras y 1.6 millones de televisores, para las que se ocuparon 960,000 ton y 7,200 ton de plástico respectivamente. Ahora bien, si se ocupan las plumas, es posible reducir el consumo de plástico en un 20%, entonces, para producir 1,000 millones de televisiones se utilizarían 768,000 ton de plástico y para 1.6 millones de computadores 5,760 ton.

## Introducción

El avance de la tecnología ha permitido al mundo transformarse. Se ha recorrido un gran camino desde los tubos de vacío a los transistores y de los transistores a los microchips, todo gracias a la implementación de métodos y materiales diferentes. Hoy en día la elaboración de equipos electrónicos se ha convertido en una tarea relativamente sencilla gracias al uso de maquinaria y la existencia de los plásticos, pero tan rápido ha sido el avance de la tecnología que no hay un momento en el que se detenga, todo el tiempo demanda materiales, energía, mano de obra y un público a quien vender.

Es cierto que el modelo socio económico mundial nos da muchas alternativas de consumo; sin embargo, consumir y tirar no le viene bien al planeta, ni a nosotros mismos. Las cantidades de artículos que se consumen en el mundo son descomunales, los residuos plásticos generados mundialmente representan las cifras más impresionantes. Desde la Segunda Guerra Mundial el consumo y desechos de éstos han crecido exponencialmente. Durante las últimas décadas, cada año se utilizan 5 billones de bolsas de plástico, 1 millón de botellas de plástico son compradas cada minuto, alrededor de 13 millones de toneladas de plástico son vertidas al océano cada año y de continuar con esta tendencia para 2050 se esperan 12,000 millones de toneladas de desechos plásticos (Ortiz, 2019; Lara, 2007).

El informe Global E-waste Monitor 2020 encontró que el mundo arrojó un récord de 53.6 millones de toneladas de desechos electrónicos en 2019 y solo el 17.4% fue reciclado, miles de toneladas no recicladas involucran a los plásticos aislantes, de manera que la preocupación mundial por el crecimiento de residuos electrónicos (junto con la disminución de las reservas de petróleo) ha impulsado a muchos investigadores a encontrar materiales que sean sustitutos de los plásticos, es decir que cumplan con las funciones primordiales de aislamiento y que se degraden con mayor facilidad (Forbes, 2020).

El uso de plumas de pollo para producir materiales aislantes ayuda a combatir dos de los grandes problemas de la sociedad actual: la generación de basura y la dependencia de los plásticos. Dado que la industria avícola es creciente en todo el mundo, con una producción que pasó de 9 a 132 millones de toneladas de carne de pollo de 1961 a 2019, sus residuos también lo son. Utilizar lo que hoy en día se considera un desecho (plumas de pollo) se suma a la iniciativa de muchos investigadores de encontrar materiales capaces de sustituir a los plásticos e igualar y/o superar sus beneficios (FAO, 2022).

## **Objetivo**

Evaluar la factibilidad del proceso de producción de un material aislante aprovechando las plumas de pollo generadas en el Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Avícola (CEIEPAv).

## Capítulo 1. Generalidades

### 1.1. Rastros avícolas

La avicultura es una rama de la ganadería que trata la cría y la reproducción de las aves domésticas con fines económicos, científicos o recreativos. Las granjas avícolas (empresas agropecuarias rurales en las que la explotación avícola representa la mayor parte de los ingresos) y las plantas avícolas (empresas especializadas en la crianza y explotación avícola en la que el ingreso total lo constituyen estas actividades), suelen tener espacios geográficos bien delimitados que están destinados a la matanza sistemática de aves, a dichos espacios se les denomina rastros avícolas (CEDRSSA, 2019; GC, 2008).

El proceso en los rastros puede variar según el destino de los pollos; es decir, el proceso puede terminar en el desplume o en el empaquetado para la venta al consumidor, así entonces se definen tres áreas dentro de los rastros: negra, gris y blanca. De manera general, antes de comenzar el proceso, las aves son insensibilizadas con descargas eléctricas para disminuir el estrés (Gutiérrez, 2001).

El área negra es donde se lleva a cabo la matanza y desplume; es decir, es donde se realiza el corte de la arteria del cuello o la decapitación. El desplume puede hacerse sumergiendo al ave en agua a temperatura de 82 °C a 88 °C o bien, si las aves deben ser congeladas rápidamente deben sumergirse en agua a una temperatura de 60°C; en el área gris se realiza limpieza general de la cavidad abdominal, eviscerado (extracción de vísceras), corte de tarsos (hueso de la parte inferior de la pata de las aves) y corte de cabeza si es que en el área negra no se hizo antes. Además, en esta etapa es donde se puede dar color al pollo; en el área blanca se trabajan las cavidades del pollo, sometiéndolo a un enfriamiento al sumergirlo en agua con controles bacterianos, luego siguen el corte, deshuesado y puesta en charolas (Gutiérrez, 2001).

De acuerdo con SENASICA (2020), se contabilizan 9 rastros que procesan aves, algunos de éstos son exclusivamente de aves y en otros se sacrifican más especies. El estado de la república mexicana con más procesamientos es Aguascalientes, seguido de Jalisco y San Luis Potosí, si se realiza un conteo en toda la república mexicana, los pollos procesados son 279,963, si se contemplan aquellos centros que no especifican el número de cabezas y se estima un valor, entonces los pollos procesados son 280,275 (Tabla 1.1).

Sin embargo, el corporativo Bachoco, el productor más grande pollos y derivados en México, tiene contabilizadas bajo su propiedad al menos 518 granjas en México, 10 plantas procesadoras, 20 plantas de proceso posterior y 64 plantas de distribución, de manera que la capacidad instalada y el procesamiento de aves que

se dan a conocer en los documentos oficiales emitidos por SENASICA (2020) son mucho menores a los que realmente existen (Bachoco, 2016).

**Tabla 1.1. Listado de rastros y/o centros de matanza en los que se realiza vigilancia o seguimiento operativo por parte de las entidades federativas año 2020 (elaboración a partir de SENASICA, 2020)**

<b>Estado</b>	<b>Especies sacrificadas</b>	<b>Núm. de centros</b>	<b>Capacidad instalada</b>	<b>Cabezas sacrificadas en promedio mensualmente</b>
Aguascalientes	Ave	1	8,000	160,000
Chihuahua	Bovino y ave	1	40	500
Guanajuato	Ave	2	28,800 20,000	40 87
Jalisco	Bovino, porcino y ave	1	Bovino - 200 Porcinos – 350 Aves – 10,000	Bovino - 580 Porcinos – 2,240 Aves – 66,900
Querétaro	Bovino, porcino, ave y ovino	2	Bovinos – 2,100 Porcinos – 3,000 Aves – 15,000  Bovinos – 750 Porcinos – 750 Aves – 6,000 Ovino – 200	Bovinos – 45 Porcinos – 53 Aves – 23  En general 250.
San Luis Potosí	Ave	2	Ave – 25,000  Ave – 28,000	25,000  28,000

## 1.2. Potencial en México

En todo el mundo, la industria de procesamiento avícola genera gran cantidad de residuos de plumas anualmente que se consideran desechos, aunque a menudo se procesan pequeñas cantidades en productos como harina de plumas y fertilizantes, el resto de los residuos suelen ser incinerados o enterrados en vertederos. Sin embargo, las aplicaciones podrían ser muy extensas. El sector avícola en México ha crecido especialmente en la producción de carne pollo, de 1994 a 2018 se registra un aumento en producción del 166.4%. Durante el 2019 la industria avícola continuó siendo la actividad pecuaria más dinámica del país, actualmente representa 63.3 % de la producción pecuaria en México. En el 2020 se produjeron 3.55 millones de toneladas de carne de pollo, con un crecimiento del 1.5% respecto al 2019 (CEDRSSA, 2019; UNA, 2021).

Durante el 2020, las entidades del país con la mayor producción de carne de pollo fueron: Veracruz, Aguascalientes, Querétaro, La Laguna (Coahuila y Durango), Jalisco, Puebla, Chiapas, Guanajuato, Yucatán, Sinaloa, Estado de México, Nuevo León, San Luis Potosí, Morelos, Hidalgo y Nayarit. En el plano internacional, México es actualmente el sexto lugar en producción de pollo, detrás de países como: Estados Unidos (19.8 millones de toneladas), Brasil (13.6 millones de toneladas), China (13.8 millones de toneladas), India (4.9 millones de toneladas) y Rusia (5.1 millones de toneladas), como lo indica la Figura 1.1 (UNA, 2021).

De acuerdo con las proyecciones generadas para 2019 por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) los mayores productores de carne de pollo serían Estados Unidos con 20.1%, Brasil con 14.5%, la Unión Europea con 12.4%, China con 13.6%, Rusia con 4.8%, India también con 4.8%, México con 3.6% y el resto de los países con 26.3% (Figura 1.2). Así entonces los datos proporcionados por la UNA (2021) y las proyecciones de FIRA (2019) coinciden en gran medida: Estados Unidos sigue siendo el mayor productor mundial, Brasil en 2019 y 2020 conservó una producción de 1.36 millones de toneladas de carne de pollo y China aumentó su producción de 12.7 millones de toneladas en 2019 hasta 13.8 millones de toneladas en 2020.

De acuerdo con el análisis de Florida (2019), los subproductos de un pollo representan un 15.82% del total del volumen del animal, donde la sangre representa 3.34%, las vísceras el 7.27% y las plumas el 5.21%. Si se contempla la cifra de producción de pollo en México en el 2020, se contarían con 185,000 toneladas de plumas sólo en ese periodo. Utilizando los datos proyectados para todo el mundo por FIRA (2019) para todo el mundo, se tendrían 5.12 millones de toneladas de plumas.

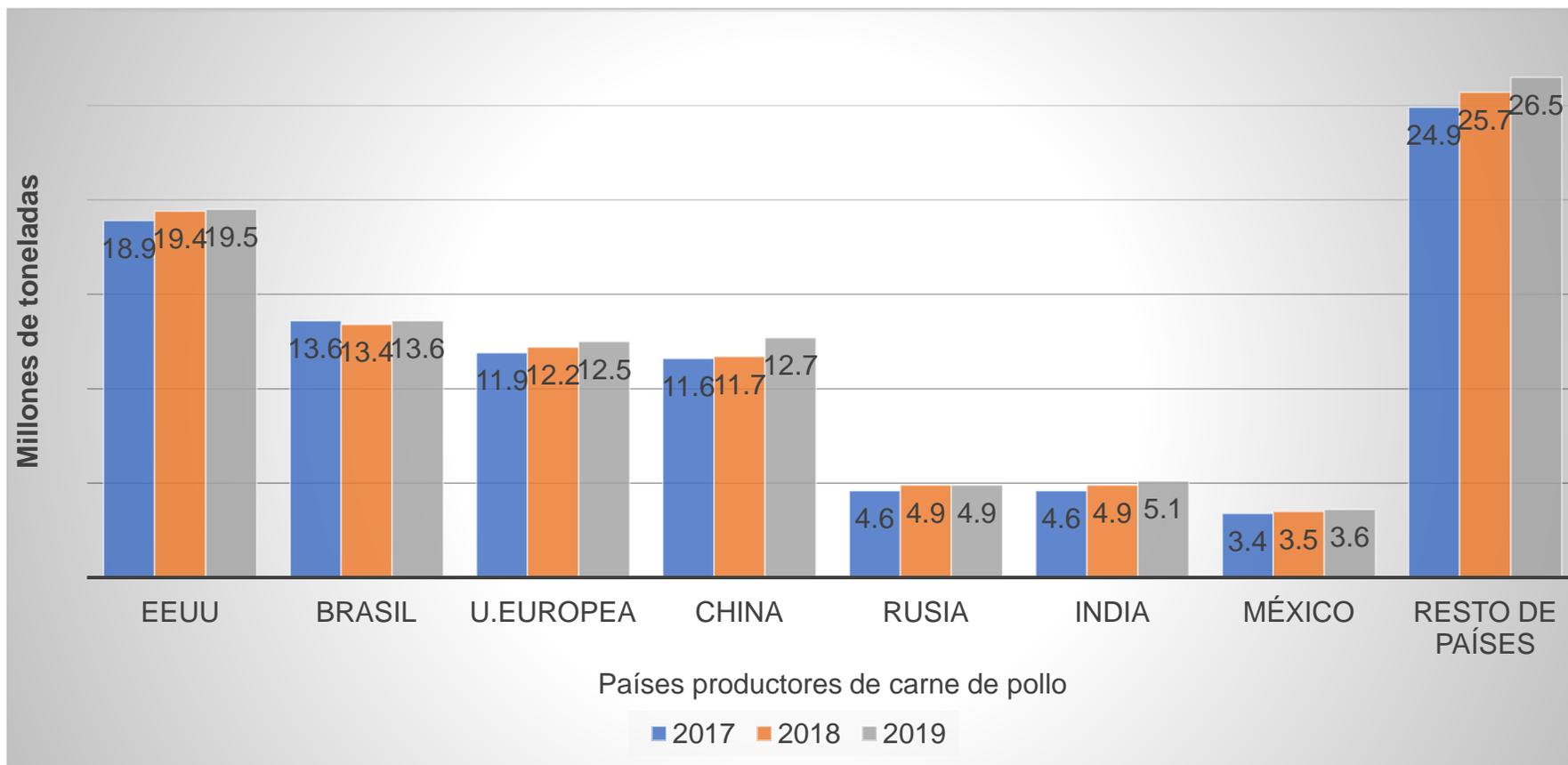


Figura 1.1. Principales productores de carne de pollo en el mundo 1 (FIRA, 2021)

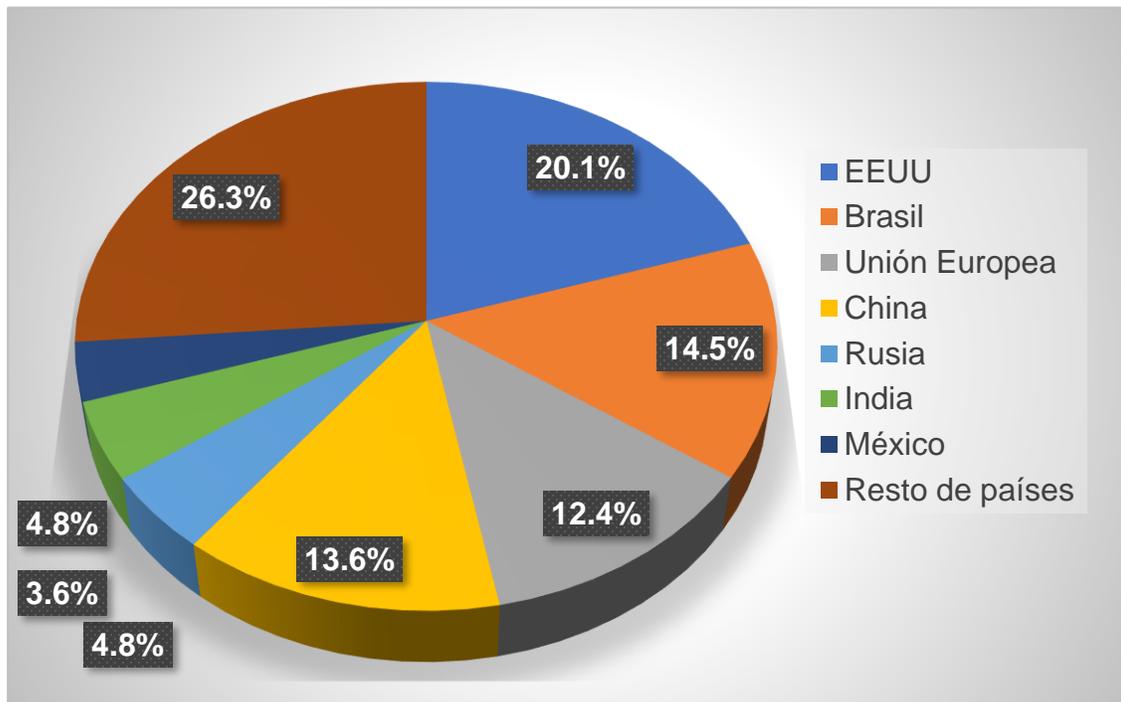


Figura 1.2. Principales productores de carne de pollo en el mundo 2 (FIRA, 2019)

Ahora bien, las aves de manera natural mudan sus plumas, pasando de un plumón a una pluma típica, pero en ciertas plantas y granjas, las aves son sometidas a un plan de muda forzada o replume, proceso en el que es inducida la caída de plumas para reiniciar la producción de huevos. El replume puede llevarse a cabo de tres maneras distintas: bajo manejo nutricional, manejo de luz y manejo farmacológico. Básicamente consiste en someter al ave a un periodo de estrés por suspensión total de alimentos como se muestra en la Figura 1.3 y en consecuencia provocar un descanso ovárico llevando la producción de huevo a cero. El principal motivo para llevar a cabo el replume es el económico, ya que implica modificar el precio de venta de huevo, demanda de huevo, entre otras (SOLLA, 2015).



Figura 1.3. Fotografía de las aves en proceso de replume (Saldaña, 2012)

Las consecuencias de llevar a cabo el replume es el mejoramiento de la calidad de la cáscara de huevo, crecimiento de la producción de huevo, disminución de costos de producción, alta mortalidad, corto periodo de producción de huevo, mayor consumo alimentario, mayor tamaño del huevo, mayor costo por kg de huevo y más. Así entonces, la cantidad de plumas que pueden obtenerse a lo largo de la vida de una gallina no sólo debe contabilizar la muda natural, ni el desplume final, sino también al proceso de replume, haciendo aún mayor la cantidad de plumas que pueden obtenerse y usarse (SOLLA, 2015; Saldaña, 2012).

### **1.3. Características físicas, químicas y eléctricas de la pluma**

Las plumas son la característica distintiva de las aves, les proporcionan su colorido, las protege contra frío y calor, las esconde de sus enemigos, las ayuda a volar o nadar, son usadas como camuflaje e incluso para atraer a sus parejas reproductivas. La estructura básica de las plumas consiste en el vexilo, raquis, ombligo, ombligo superior, cálamo y el ombligo inferior (Navarro y Benítez, 1995).

En una pluma típica, como lo muestra la Figura 1.4 la parte central es conocida como raquis, que le sirve de eje y tiene el aspecto de una caña hueca; a pesar de ser una estructura muy ligera, le da la rigidez necesaria para mantenerla firme. La parte inferior del raquis es más ancha y hueca, generalmente desnuda se le denomina cálamo o cañón, es la parte por la cual la pluma está insertada en la piel. El cañón tiene en la parte inferior un orificio denominado ombligo inferior que es por donde la pluma es alimentada durante su crecimiento. El cañón es hueco, puesto que la pluma es una estructura muerta, y una vez que ha terminado de crecer, los vasos sanguíneos que la alimentaban se retiran y queda el espacio vacío. En la parte superior del cálamo el raquis empieza a aplanarse y, justo en donde termina el cálamo, otro orificio denominado ombligo superior aparece (Navarro y Benítez, 1995).

El raquis está relleno de sustancias muertas, pigmentos y proteínas, que quedaron ahí como resultado de su desarrollo. En los márgenes laterales del raquis crece el vexilo, estructura a manera de lámina dividida en dos partes opuestas. Es el cuerpo visible y de mayor área de la pluma, formado por una complicada red de uñas entrelazadas llamadas bárbulas, que dan la textura de un tejido muy ligero con la capacidad de soportar una carga pesada por unidad de área, principio que permite a las aves volar (Navarro y Benítez, 1995).

Las bárbulas parten de láminas delgadas y rectas en posición perpendicular al raquis llamadas barbas, que se disponen en forma paralela a lo largo del raquis como las hojas de una palma (Figura 1.5). De las barbas se proyectan las bárbulas

de manera perpendicular, cada una de las cuales lleva varios ganchos (ganchillos), los cuales al entrelazarse con los de las bárbulas adyacentes forman la intrincada red del vexilo. Para ordenar el vexilo, las aves se ayudan de pico, a lo que se le llama acicalamiento, actividad en la que algunas especies invierten largos periodos (Navarro y Benítez, 1995).

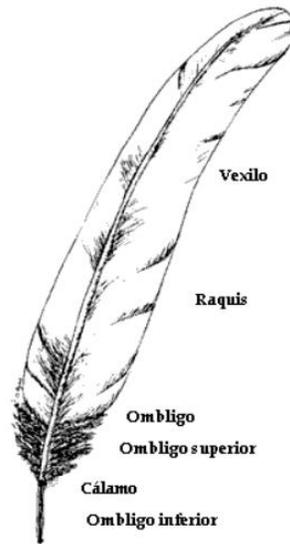


Figura 1.4. Estructura física de la pluma (Navarro y Benítez, 1995)

La composición química de las plumas es variable y compleja, se sabe que tienen un mayor contenido de proteínas, materia orgánica y nitrógeno, aunque también tienen presente fibras, humedad, cenizas y más. Los componentes que más destacan son las proteínas con presencia del 80.51%, queratina y fibra orgánica con 10.05%, materia seca con 93% y nitrógeno con 12.66% (Tabla 1.2). Los minerales presentes en las plumas son el calcio, fósforo, magnesio, potasio, sodio y hierro, los aminoácidos son Lys, Met, His, Cis, Asp, Thr y muchos más, como lo muestra la Tabla 1.3 (Florida, 2019).

Por otro lado, las principales características eléctricas estudiadas en las plumas de pollo son la conductividad eléctrica, la resistividad y la constante dieléctrica. De acuerdo con la investigación de Tesfayet y col. (2017a) se ha comprobado que, dependiendo de la estructura morfológica, pueden existir grandes cantidades de bolsas de aire en el raquis, lo que ocasiona un buen comportamiento dieléctrico. De manera que, cualquier material dieléctrico producido a partir de plumas de pollo tendrá una baja densidad que irá disminuyendo en cuanto aumente el contenido de plumas de pollo.

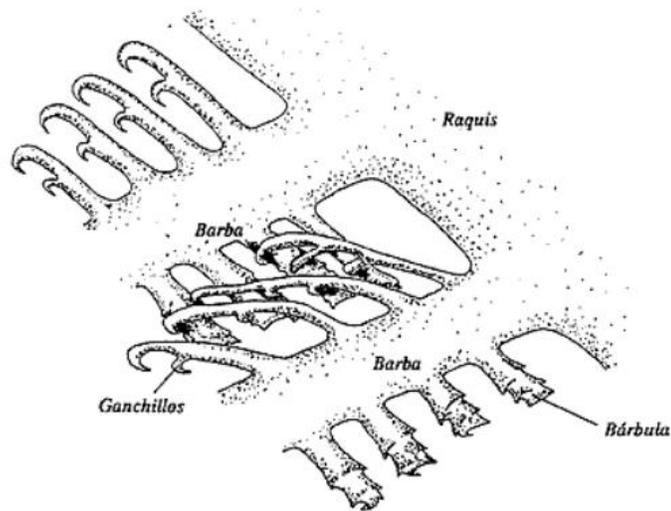


Figura 1.5 Redes que integran al vexilo (Navarro y Benítez, 1995)

Tabla 1.2 Características principales de las plumas (elaboración a partir de Florida, 2019)	
Parámetro	%
Proteína	80.51
Grasa	3.38
Fibra	10.05
Cenizas	3.91
Humedad	6.40
Materia orgánica	93.0
Nitrógeno	12.66

Para la conductividad y resistencia eléctrica se concluyó que mientras la diferencia de potencial aplicada aumente, la resistencia disminuye. Dado de la resistividad es una medida de oposición al paso de la corriente eléctrica, valores altos de resistividad indican que un material no puede usarse como conductor de carga eléctricas. En la investigación realizada por Tesfaye y col. (2018) se aplicó una diferencia de potencial de -5 a 5 V a las plumas tratadas, obteniendo resultados de resistencia eléctrica en barbas de  $6.74 \times 10^{11} \Omega$  y  $8.13 \times 10^{11} \Omega$  para raquis, mientras que las conductividades fueron de  $2.84 \times 10^{-12} S/m$  para barbas y  $3.62 \times 10^{-12} S/m$  para raquis. Por otro lado, se descubrió que al aumentar la diferencia de potencial, la corriente no cambiaba, así que el valor de resistencia disminuía. Las potenciales aplicaciones de las plumas de pollo en la industria electrónica se dan como material aislante.

#### 1.4. Tipos de plumas

Las plumas crecen sólo en ciertas partes del cuerpo del pollo en la Figura 1.6 se distinguen diversas zonas: alar, humeral, ventral, crural, caudal, capital y espinal. La forma de las plumas depende de su función: las primarias se localizan en los extremos de las alas y sirven para “remar” por el aire (también se conocen como remeras); las plumas secundarias se encuentran en la parte interna y paralelas a las primarias, sirven para retener el aire durante el vuelo facilitando la elevación; álula son un conjunto de plumas cerca del dedo pulgar de las aves y su función es disminuir las turbulencias del aire durante el vuelo; las plumas cobertoras son plumas acompañantes que participan en dar al ala una superficie aerodinámica y soporte (Figura 1.7).

**Tabla 1.3. Principales minerales y aminoácidos en las plumas de pollo (elaboración a partir de Florida, 2019)**

<b>Minerales</b>	<b>%</b>
Calcio	0.55
Fósforo	0.50
Magnesio	0.12
Potasio	0.12
Sodio	0.22
<b>Aminoácidos</b>	<b>%</b>
Lisina	2.32
Metionina	0.66
Histidina	0.86
Cisteína	3.37
Ácido aspártico	4.48
Treonina	3.98
Ácido glutámico	6.65
Alanina	5.43
Tirosina	0.77
Glicina	10.45
Serina	7.84
Prolina	9.36
Valina	6.64
Isoleucina	4.03
Fenilalanina	3.60
Leucina	6.99
Arginina	6.12

Las plumas descritas anteriormente se denominan plumas típicas o de contorno, y se encuentran localizadas en la parte exterior del cuerpo, alas y cola. Las plumas del cuerpo son cortas y simétricas, mientras que las de vuelo son más largas, fuertes, planas y con los lados del vexilo asimétricos. Este tipo de plumas generalmente presenta colores diversos y son las que determinan en gran parte los plumajes. Aparecen después de la primera muda substituyendo al plumón, y ejercen la función termorreguladora, el vuelo, el cortejo y muchas más (Navarro y Benítez, 1995).

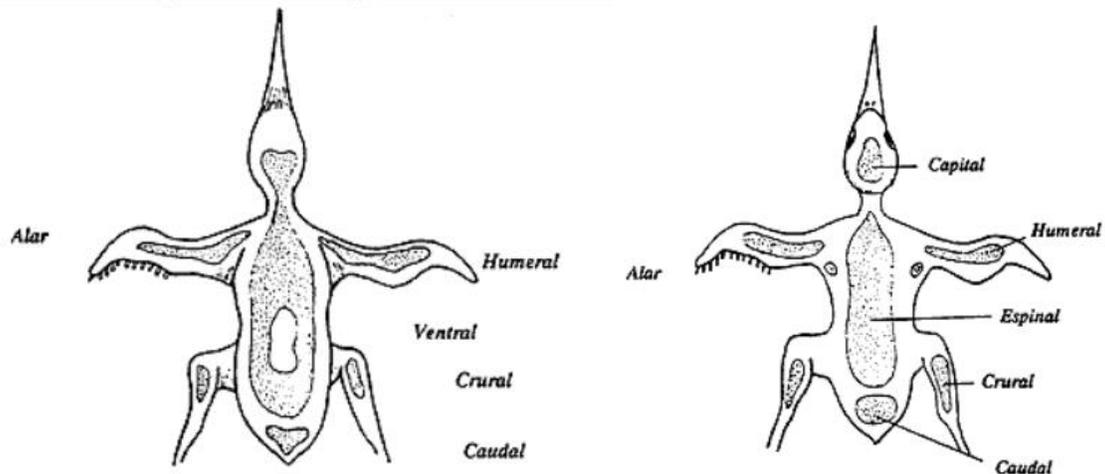


Figura 1.6 Regiones de crecimiento de plumas (Navarro y Benítez, 1995)

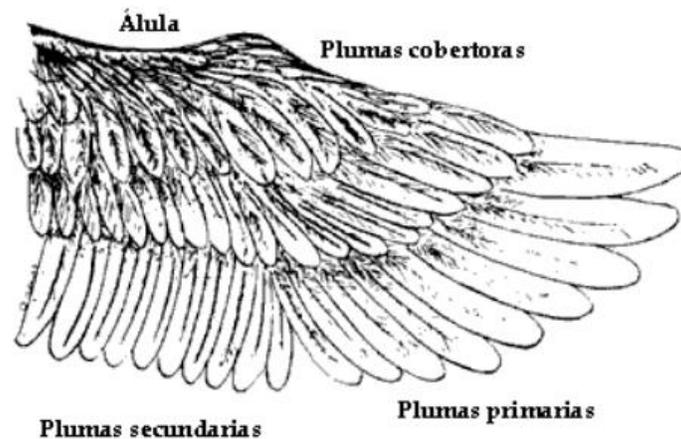


Figura 1.7 Esquema de un ala típica (Navarro y Benítez, 1995)

El plumón es un tipo de pluma caracterizada por tener un raquis muy corto o ausente (Figura 1.8), con barbas largas y bárbulas carentes de ganchillos, por lo que su apariencia es la de un mechón muy laxo, lo que le da una importante función en la termorregulación. Por lo general es el primer tipo de pluma que aparece en las aves al salir del cascarón, pues el plumaje típico de los pollos está constituido únicamente

por este tipo de pluma, aunque también está presente en los adultos debajo de las plumas típicas del cuerpo (Navarro y Benítez, 1995).

Las semiplumas son un híbrido entre el plumón y la pluma de típica, son plumas de raquis desarrollado, pero con barbas laxas. Estas plumas crecen generalmente en lugares donde se produce flexión de la piel, como los codos, las axilas y las ingles, por lo que se piensa que su función es proteger la piel en lugares donde hay fricción. Las vibrisas o bridas son plumas modificadas con apariencia de pelos gruesos. Por lo general tienen un raquis muy grueso y rígido, con unas pocas barbas en la parte baja. Las vibrisas se encuentran generalmente alrededor de la boca en las aves insectívoras, sirviéndoles de ayuda para atrapar insectos. Se piensa además que desempeñan alguna función sensorial, similar a la de los bigotes de los gatos, en las aves nocturnas y las que habitan en agujeros (Navarro y Benítez, 1995).

Las filoplumas son plumas filamentosas, muy delgadas, de raquis largo y unas cuantas barbas en la punta, las cuales se localizan en todo el cuerpo del ave, preferentemente entre las plumas de contorno del dorso y la cabeza. Son difíciles de ver y su función es sensorial (Navarro y Benítez, 1995).

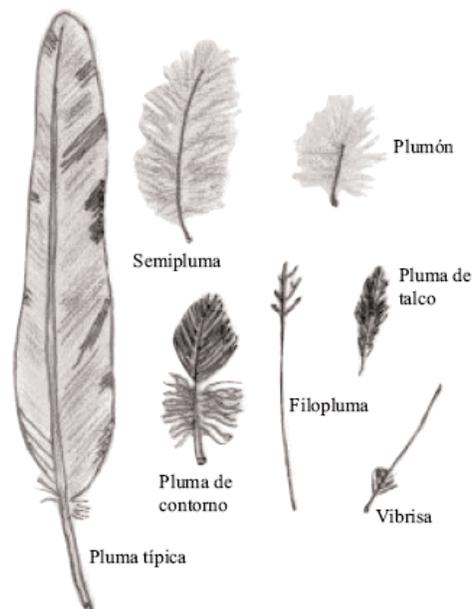


Figura 1.8 Tipos de plumas (Navarro y Benítez, 1995)

## Capítulo 2. Fundamentos

### 2.1. Uso de la pluma avícola en México y en el mundo

La industria avícola en el mundo ha crecido desde hace ya algunos años, la producción mundial de carne avícola se incrementó de 9 a 132 millones de toneladas de 1961 a 2019, y la producción de huevo aumentó de 15 a 90 millones de toneladas. Las aves de corral son el principal motor de la industria avícola y los pollos son las aves más representativas, su carne y los huevos son el objetivo de su producción. Sin embargo, existen otras partes del ave que no se consumen o que necesitan un tratamiento extra, por ejemplo, la sangre, las vísceras y plumas (FAO, 2022; Florida, 2019).

Las plumas se ocupan actualmente como materia prima para producir harina o fertilizantes. La harina a base de plumas de pollo es un producto muy digestible y de alto concentrado protéico, que brinda gran energía al ser consumido, gracias a que son ricas en queratina. Se obtiene por medio de la cocción a presión de las plumas, que deben estar necesariamente limpias, secas y molidas. El producto final es utilizado en México y en otros países para elaborar productos balanceados, consumidos por aves, ganados, peces, etc. En la industria agropecuaria la harina de pollo es mucho más económica que otro tipo de harinas como la de pescado y su apariencia convencional es como se muestra en la Figura 2.1 (Pastor y col., 2018).



Figura 2.1 Fotografía de harina hecha de plumas de pollo (Pastor y col., 2018)

El potencial de uso de las plumas se extiende hasta la producción de papel, ya que es posible someterlas a un proceso especial para obtener una pulpa y con ella producir papel. Si se compara una hoja hecha 100% de pulpa de madera con hojas hechas con cierto porcentaje de plumas de pollo, al ir en aumento el porcentaje de plumas las propiedades como la estanqueidad y el índice de tracción disminuirán, mientras que la permeabilidad del aire mejora y, a grandes rasgos, no hay diferencia

en la absorción de agua, sin embargo, con un contenido superior al 80% de plumas, la absorbencia comienza a disminuir. El contenido de plumas en el papel se vuelve físicamente evidente en cuanto más aumente su porcentaje de participación, en la Figura 2.2 puede observarse que con un 100% de PM (Pulpa de Madera) el color es blanco y la textura es aparentemente lisa, conforme va disminuyendo el porcentaje de PM y aumenta el porcentaje PP (plumas de pollo), el color se vuelve más opaco y la textura rugosa (Tefayet y col., 2017b).

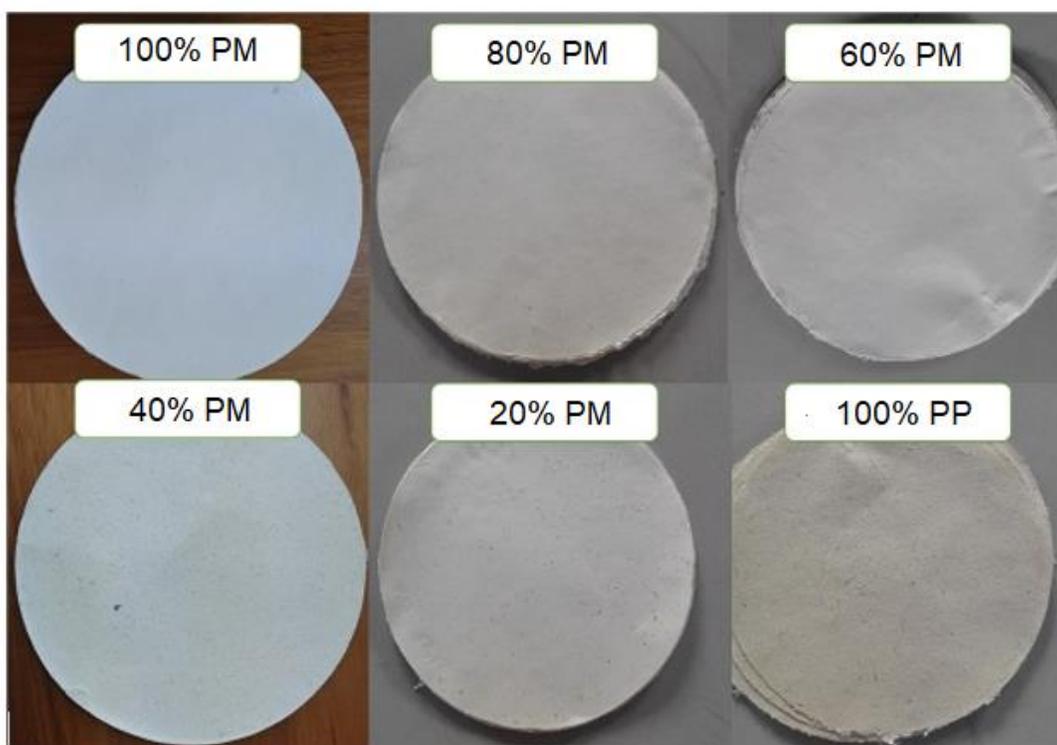


Figura 2.2 Tipos de papel según el contenido de plumas de pollo (Tefayet y col., 2017b)

Las plumas de pollo también pueden utilizarse para captar metales pesados como cobre y zinc de aguas residuales. El proceso comienza con el lavado, secado y cortado de las plumas, una vez cortadas en pedazos muy pequeños se tratan con soluciones alcalinas y con tensioactivos aniónicos. Al tratar las plumas con soluciones alcalinas, específicamente con  $Na_2S$  se obtiene una disminución de absorción de cobre, además mientras más tiempo se remojen las plumas, la absorción del metal disminuye y, tratando con  $NaOH$  mejora la capacidad de sorción (Al-Asheh y col., 2003).

Por otro lado, al tratar la pluma con diferentes cantidades de dodecil sulfato de sodio con el fin de encontrar la mejor concentración de tensioactivo aniónico, se sabe que

al aumentar la concentración aumenta la cantidad de cobre eliminado, siendo el 6% el límite de concentración, pues rebasando ese porcentaje el sorbente se satura. De manera general, es un hecho que la capacidad de sorción es mejor en las plumas tratadas químicamente que en aquellas que no son tratadas (Al-Asheh y col., 2003).

En la industria automotriz y de aviación la pluma puede usarse junto con otros materiales para fabricar tableros de instrumentos, asientos y revestimientos, dando ligereza al vehículo; en la industria textil actualmente se investiga la manera de generar fibras que sustituyan fibras naturales y sintéticas; en la industria farmacéutica y biomédica se puede usar como un bloque de construcción para la síntesis de diferentes productos farmacéuticos debido a la presencia de colesterol en la pluma; en la industria de los cosméticos tiene gran aplicación por su alto grado de queratina; en la industria electrónica tiene una potencial aplicación debido a que retiene muy poca humedad y tiene gran resistencia eléctrica, lo que la vuelva un gran material aislante (Teskay y col., 2017a).

## **2.2. Potencial energético de la pluma**

Hoy en día la humanidad se enfrenta a un sinnúmero de problemas ocasionados por el consumo desmedido y la explotación de recursos naturales: sobrepoblación, contaminación, tala de árboles, disminución constante de reservas naturales, agotamiento de las reservas de agua y más, lo que ha impulsado a diversas personas alrededor del mundo a proponer alternativas que sustituyan productos y procesos que dañan al medio ambiente y que terminan con las esperanzas de dejar un mundo mejor para las siguientes generaciones. La eliminación de desechos y la producción de energía son dos de los más grandes problemas a los que se enfrenta la humanidad, la solución por excelencia sería convertir los desechos en energía creando un ciclo infinito. Sin embargo, en todo proceso existen pérdidas y residuos que no pueden volver a emplear (Teskay y col., 2017a).

### **2.2.1. Producción de biodiésel**

La soya, el maíz, el girasol y la semilla de algodón son las principales fuentes ocupadas en la producción de biodiésel. Sin embargo, la producción de estas materias primas compromete a la cobertura de alimentación de las poblaciones y a grandes extensiones de terreno agrícola; por lo tanto, la búsqueda de materias primas alternativas no alimentarias es una prioridad (Teskay y col., 2017a).

Las plumas de pollo contienen cantidades sustanciales de grasa que podrían procesarse para producir harina y de ella generar biodiésel. Para generar biodiésel a partir de plumas de pollo, primero se debe extraer harina, una vez extraída la

harina se obtiene de ella la grasa mediante extracción de solventes y posteriormente transesterificarse en biodiésel utilizando catalizadores, nitrógeno y metanol, como se resume en la Figura 2.3. A partir de las enormes cantidades de plumas de pollo que se desechan en todo el mundo, se puede estimar que la generación de biodiésel podría llegar hasta los cientos de millones de litros. Esta energía producida a partir de desechos podría reducir las emisiones de carbono en un gran porcentaje, al tiempo que reemplaza la necesidad de grandes cantidades de petróleo (Tesfayet y col., 2017a).

### **2.2.2. Producción de biogás**

La producción de biogás se da mediante la degradación de materia orgánica en condiciones anaerobias, gracias a la presencia de microorganismos que pueden vivir bajo esas condiciones. La materia orgánica es variada y puede combinarse entre sí, de manera usual se utiliza excremento de vaca y cerdo, pero también se puede utilizar la de muchos otros animales, por ejemplo, ovejas, cabras, perros y aves. En el caso de las aves es mucho más común utilizar su excremento que las plumas para generar biogás.

Utilizar la gallinaza y la pollinaza en un proceso anaeróbico es la práctica más común para obtener biogás, sus valores las hacen buenas candidatas para el proceso, de 57.8 % a 72.7 % para la primera y de 25.8 % a 27.6 % para la segunda. Sin embargo, las plumas de pollo también son un residuo que puede utilizarse, ya que contienen altas cantidades de proteína cruda, carbono, nitrógeno e hidrógeno. De manera elemental, las proteínas están compuestas de aminoácidos unidos por enlaces peptídicos, que pueden ser hidrolizados por proteasas al descomponerse (Figura 2.4). Es decir, someter a las plumas a un proceso de hidrolisis descompone a las proteínas y, los productos de esa degradación incluyen ácidos grasos volátiles de cadena corta o ramificada que pueden convertirse a su vez en  $CO_2$ ,  $H_2$ , biofertilizantes y biogás (Barrera, 2018; Tesfayet y col., 2017a).

### **2.2.3. Producción de biohidrógeno**

La sostenibilidad energética en todo el mundo es un tema preocupante ya que se ocupan al menos un 80% recursos de origen fósil, siendo los mayores consumidores China, Estados Unidos, India, Rusia y Japón. Para cubrir la demanda energética se ha impulsado el uso de las energías renovables, como la fotovoltaica, eólica, mini hidroeléctricas y la biomasa, siendo esta última una alternativa sostenible, prometedora y ecológica comparada con la energía extraída de los residuos fósiles (Escobedo, 2021)

Se ha proyectado que el hidrógeno es el portador de energía renovable más prometedor, ya que sólo emite vapor de agua como subproducto. Sin embargo, los procesos industriales actuales para la producción de hidrógeno utilizan combustibles fósiles mediante el reformado con vapor, pirólisis, reformado autotérmico, descomposición térmica, oxidación catalítica y gasificación con vapor. Dado que la producción actual aumenta las emisiones de gases de efecto invernadero, la producción de gas hidrógeno a partir de biomasa a través de vías biológicas será una tecnología emergente.

Los estudios en la producción de hidrógeno biológico se han enfocado principalmente en la biofotólisis del agua empleando algas y cianobacterias, la fotofermentación de compuestos orgánicos por bacterias fotosintéticas y la fermentación oscura de compuestos orgánicos ricos en carbohidratos mediante bacterias anaerobias. Sin embargo, la materia orgánica suele ser lodo o algas, aún no hay estudios referentes a las plumas de pollo, pero sí es un hecho que la presencia de hidrógeno en las plumas se puede utilizar como materia prima para la producción de gas hidrógeno y con el reemplazar combustibles fósiles (Tesfayet y col., 2017a; Blanco y Rodríguez, 2012).

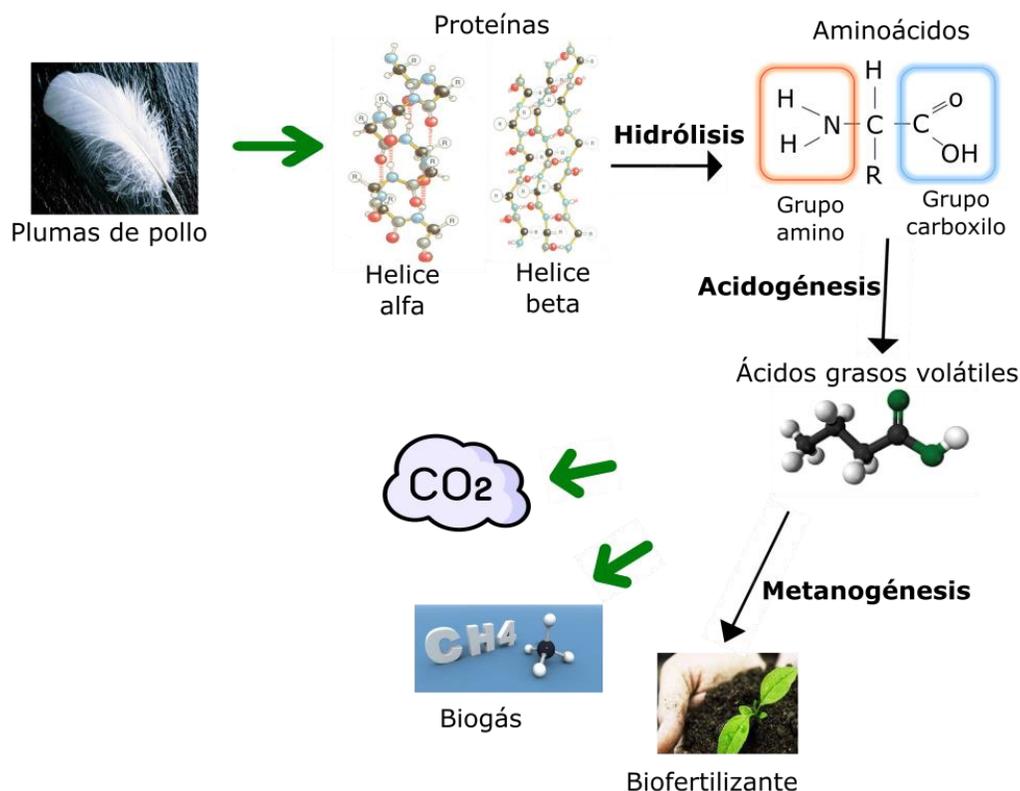


Figura 2.3. Diagrama del proceso de producción de biogás a partir de plumas de pollo (elaboración a partir de Tesfayet y col., 2017a)

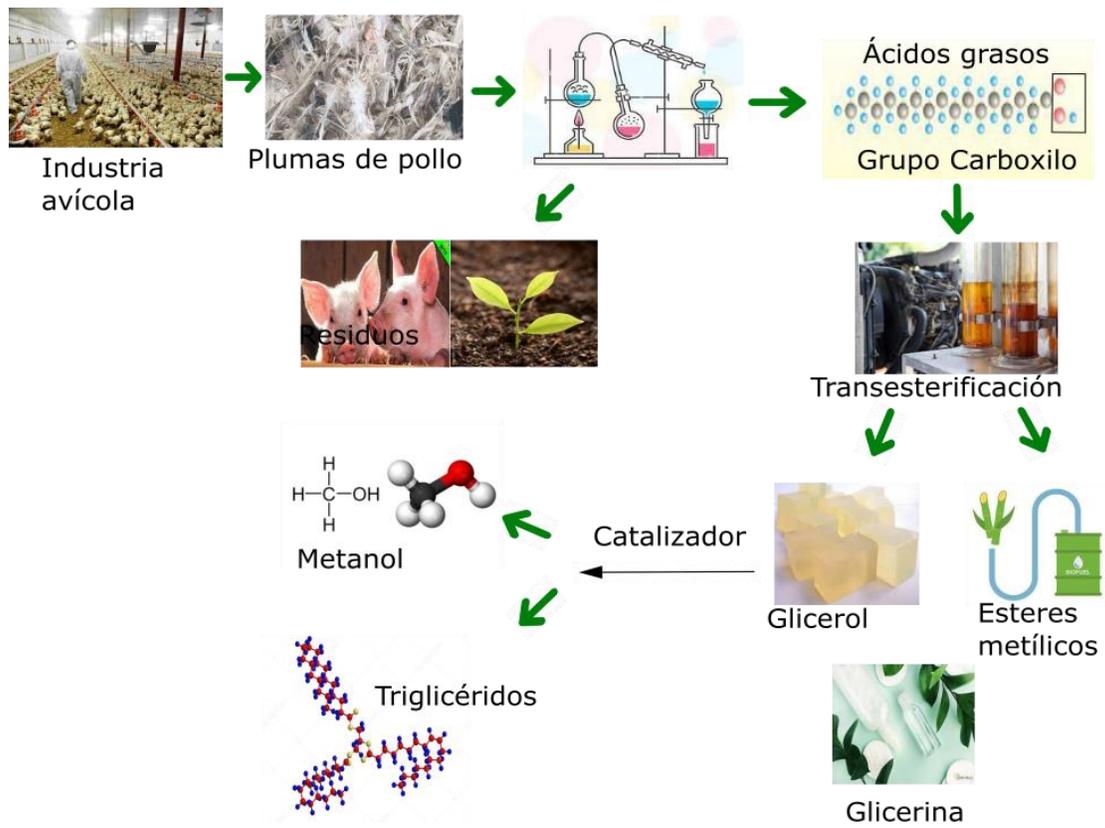


Figura 2.4. Diagrama del proceso de producción de biodiésel utilizando harina de plumas de pollo (elaboración a partir de Tesfayet y col., 2017a)

### 2.3. Implicación ambiental de la industria avícola

La avicultura es una de las ramas de la producción animal de mayor importancia en el mundo, principalmente porque ayuda a satisfacer la escasez proteica de poblaciones. En los últimos 20 años, la mayoría de los países ha aumentado considerablemente el consumo de carne de pollo, incrementando la producción de aves y a su vez la cantidad de excretas y subproductos que no se comercializan (Casas y Guerra, 2020).

Existen dos conceptos que son importantes definir, el primero es la gallinaza que contempla las excretas de gallinas ponedoras que se acumulan durante la etapa de producción de huevo o bien durante periodos de desarrollo de este tipo de aves, mezclado con desperdicios de alimento, plumas y a veces cama (cáscara de arroz, viruta de madera, cáscara de café, bagazo de caña, heno molino y otros) como lo muestra la Figura 2.5, y el segundo es la pollinaza, que contempla las excretas de aves de engorda, desde su inicio hasta su salida al mercado, mezclado con desperdicio de alimento, plumas y materiales usados como cama (Casas y Guerra, 2020; Saldaña, 2012).

La disposición incorrecta de las excretas propicia el desarrollo de microorganismos potencialmente patógenos para los mismos animales, quienes, a su vez, pueden transmitir enfermedades como rotavirus, colibacilosis, parásitos gastrointestinales, salmonelosis, entre otros. De manera general, los residuos avícolas impactan a la atmósfera con malos olores, gases asfixiantes, gases irritantes, desnitrificación y aerosoles; al suelo con la variación de pH, salinidad, metales pesados, patógenos, exceso de  $NO_2$  y  $NO_3$ , tetania y retención de agua; al agua con lixiviación, eutrofización, patógenos fecales y polución. Dependiendo de las condiciones ambientales y de la región de producción, en la gallinaza y las camas de las aves de corral puede haber antibióticos, arsénicos y micotoxinas (Casas y Guerra, 2020; Saldaña, 2012).

La aplicación de gallinaza fresca puede provocar un considerable incremento de la actividad biológica del suelo, mientras que el estiércol de aproximadamente una semana de edad tiene un efecto vitalizante máximo sobre la tierra. El fósforo, por ejemplo, una vez en el suelo, se libera mediante la acción de las fitasas que producen los microorganismos del ecosistema. Después pasa a los ríos y lagos, y da lugar a los fenómenos de eutrofización de las corrientes de agua y de los reservorios acuáticos. En estas circunstancias, hay un crecimiento acelerado de las algas y un agotamiento del contenido de oxígeno del agua, lo que provoca la mortalidad de la fauna acuática (Casas y Guerra, 2020).



Figura 2.5 Fotografía de la acumulación de excretas en corrales (Casas y Guerra, 2020)

Por otro lado, Palomino y col. (2019) investigaron el uso de cinco residuos avícolas como fuente de nitrógeno mineral disponible; sin embargo, mencionan que también son grandes alternativas la sangre, las plumas y las vísceras. La efectividad de los residuos orgánicos como proveedores de nitrógeno disponible pueden estimarse mediante procesos de incubación que permiten cuantificar la máxima cantidad de mineral y la tasa de mineralización. De acuerdo con Palomino y col. (2019) se concluyó que los residuos orgánicos investigados (estiércol de ponedoras, estiércol de reproductoras, estiércol de restos de pollo, harina de plumas y lodo de flotación) mostraron alto potencial como fuente de nitrógeno mineral, de manera que los estiércoles de gallina ponedora, reproductora y la harina de plumas tienen mucho potencial para su uso en la elaboración de abonos orgánicos de rápida disponibilidad, mientras que el lodo de flotación puede ser empleado como fuente de liberación más lenta.

#### **2.4. Normatividad en la industria avícola**

El marco regulatorio de la industria avícola es extenso, algunas Secretarías de Gobierno han emitido normas oficiales y normas mexicanas para realizar todos los procedimientos correspondientes de manera adecuada. La gran mayoría habla sobre la calidad de vida que debe tener el animal, el correcto procesamiento del ave y las normas de higiene que deben tomarse en cuenta dentro de las instalaciones, en la Tabla 2.1 se colocan algunas de las normas y sobre que habla cada una.

La normatividad Mexicana contempla muchos aspectos relacionados con la industria avícola como las características de los establecimientos de procesamiento y sus trabajadores, las intervenciones de los médicos veterinarios, el destino final de un animal sospechoso, el porcentaje permitido de plumas de pollo en la

elaboración de harinas, tamaño de huevo y características de los mismos (cámara de aire, yema, clara) y características de las piezas de pollo o del pollo entero, que está destinado al consumo nacional, exportación o almacenamiento.

Particularmente la norma NMX-Y-022-SCFI-2004 es la que establece el uso que se le puede dar a las plumas y plumones de las gallinas, ya que permite el uso de cierto porcentaje de plumas para elaborar harina que está destinada a consumo animal; sin embargo, es tajante en cuanto al consumo humano. Finalmente, el uso industrial sólo se menciona en la norma, más no se describe, hecho que permitiera a diversas industrias incursionar en el uso de las plumas.

## **2.5. Aislantes en la industria eléctrica y electrónica**

### **2.5.1. Tipos de aislantes en la industria eléctrica y electrónica**

Un aislante eléctrico es un dispositivo diseñado para el aislamiento eléctrico y fijación mecánica de equipos o conductores sujetos a diferencia de potencial eléctrico, siendo un material con alta resistividad eléctrica y baja conductividad. Los aislantes pueden ser un gas, un líquido o un sólido, son elegidos ya que en su interior las cargas no fluyen libremente y es difícil que reaccionen a la influencia de un campo eléctrico. Sin embargo, incluso en materiales con alta resistividad hay pequeñas cantidades de electrones que podrían generar una corriente, de igual manera, todos los aislantes se vuelven eléctricamente conductores si se les aplica una diferencia de potencial suficientemente grande (UNISALIA,2012).

Es común establecer la resistividad de los materiales aislantes en la unidad  $\Omega \cdot m$ . Típicamente, la resistividad de los materiales aislantes está en el rango de  $10^{10}$  a  $10^{15} \Omega \cdot m$ . Ahora bien, los materiales que no poseen electrones y que permiten la circulación de corriente pueden convertirse en aislantes si también carecen de otras cargas móviles; por ejemplo, si un líquido o gas posee iones, podría existir una corriente y el material sería un conductor. Algunos de los aislantes eléctricos ocupados son:

- Caucho. En sus formas naturales y sintéticas se utilizó como aislante desde 1870 y hasta 1950. Suele utilizarse para el cableado, especialmente para instalaciones domésticas y cableado de electrodomésticos.
- Plástico. Principalmente el PVC ha servido para reemplazar al caucho como aislante para cables, el PVC y el nylon son mucho más comunes en la mayoría de los cables actuales.
- Polietileno reticulado (PEX). Se usa ampliamente para aislar cables de alimentación de más de 1kV.
- Vidrio (sílice y piedra caliza). El conocido “vidrio templado” se usa ampliamente hoy como aislante en materiales de alta tensión. El curado se

lleva a cabo calentando el vidrio a unos 700° C y luego enfriándolo con una corriente de aire frío.

- Papel y cartón. Suelen ocuparse por ser baratos y pueden usarse solos donde no hay altas temperaturas o altos voltajes. Son comunes en alta tensión, pero luego de ser impregnados de aceite.
- Cerámica o porcelana. Utilizada en instalaciones de alta tensión (Figura 2.6).



Figura 2.6 Aislador cerámico, utilizado en líneas de transmisión (UNISALIA,2012)

- Mica. Es un material duradero y estable incluso cuando está expuesto a la intemperie. Es buen conductor térmico y buen aislante eléctrico. La mica es muy importante en condensadores, se pega bajo alta presión y temperatura. Los aglutinantes son resinas fenólicas, epóxidos y resinas sintéticas.
- Teflón (politetrafluoroetileno). Es un material liso, duradero y resistente a la corrosión que se utiliza, entre otras cosas, en el aislamiento de cables.
- Perfluoroalcoxi (pertenece al grupo de parches de flúor). Es un material resistente a sustancias químicas agresivas, es transparente y flexible. Es ampliamente utilizado en aplicaciones cerca del mar porque es resistente al agua salada.
- Gas. Especialmente el aire, es un medio aislante muy utilizado, ya que la distancia entre conductores de diferentes voltajes puede aumentarse para lograr la resistencia eléctrica deseada. El hexafluoruro de azufre a alta presión se usa como medio aislante en plantas encapsuladas de alto voltaje (Figura 2.7).
- Líquido. Principalmente aceite, a menudo llamado aceite de transformador, es un producto de petróleo utilizado como aislante. El transformador en sí, es decir, el núcleo de hierro y los devanados, se sumerge en un gran tanque lleno de aceite por donde circula el aceite para disipar la pérdida de calor. Las bobinas están aisladas con una tela diferente, con mayor frecuencia

papel, de modo que ambos materiales se incluyen como parte del sistema de aislamiento. Algunos condensadores también usan aceite, así como interruptores (UNISALIA, 2012).



Figura 2.7. Subestación eléctrica con hexafluoruro de azufre como aislante (UNISALIA,2012)

Tabla 2.1. Normatividad en la industria avícola (elaboración propia a partir de SAGARPA, 1994a; SAGARPA, 1994b; SCFI, 2004; SCFI, 2016a y SCFI, 2016b)

NOM/NMX	Secretaría	Nombre	Resumen
<b>NOM-008-ZOO-1994</b>	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.	Especificaciones zoonosanitarias para la construcción y equipamiento de establecimientos para el sacrificio de animales y los dedicados a la industrialización de productos cárnicos.	La norma indica de manera precisas las disposiciones físicas con las que deben contar los centros de procesamiento (rastros), así como el equipo con el que debe de contar el personal que labora.
<b>NOM-009-ZOO-1994</b>	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.	Proceso sanitario de la carne.	Esta NOM tiene como objetivo establecer procedimientos que deben cumplir los establecimientos destinados al sacrificio de animales y los que industrialicen, procesen, empaquen, refrigieren productos o subproductos cárnicos para consumo humano. Cabe resaltar que la NOM es clara al decir que para todo proceso se necesita la autorización de un médico veterinario. Además, en caso de tener a un animal sospechoso se debe separar del resto y analizar.
<b>NMX-Y-022-SCFI-2004</b>	Secretaría de Comercio y Fomento Industrial	Alimentos para animales. Harina de subproductos avícolas. Especificaciones de calidad.	La norma indica que la harina de subproductos contempla pescuezos, patas, embriones, intestinos, carne, cabezas, no incluyen sangre o plumas (se admite solo cierto porcentaje). La norma es clara al decir que los humanos no pueden consumir este tipo de harina, sin embargo, puntualiza que debe tener valores máximos o mínimos de proteína cruda, fibra, calcio, fósforo, entre otros, además de un color y olor característico.
<b>NMX-FF-128-SCFI-2016</b>	Secretaría de Comercio y Fomento Industrial	Productos avícolas. Carne de pollo de engorda en canal y en piezas. Clasificación.	La norma establece características físicas que los pollos deben cumplir para poder clasificados en categorías. Se describe el proceso a seguir si la calidad no es aceptable, así como el proceso de muestreo.
<b>NMX-FF-127-SCFI-2016</b>	Secretaría de Comercio y Fomento Industrial	Productos avícolas. Huevo fresco de gallina. Especificaciones y métodos de prueba.	La norma establece rasgos físicos con los que deben cumplir los huevo y, dados estos, clasificarlos según su tamaño. Se describen también las características del cascarron, la yema, clara y cámara de aire.

### **2.5.2. Plásticos aislantes**

El uso de los plásticos ha sido creciente desde su aparición, debido principalmente a sus características aislantes (tanto eléctricas como térmicas), al principio se ocupaban materiales naturales que tenían propiedades plásticas intrínsecas, como la laca o la goma de mascar, el siguiente paso fue alterar químicamente los materiales como el caucho, la nitrocelulosa, el colágeno o la galatita. Finalmente, la gran diversidad de materiales completamente sintéticos que hoy en día abundan comenzó hace aproximadamente 100 años (PT, 2016).

De manera general, para fabricar un plástico hacen falta cuatro etapas básicas: fabricación de materia primas (a partir de resinas vegetales y derivados de petróleo), síntesis de polímeros (polimerización mediante condensación y adición), aditivos (se agregan compuestos para mejorar la resistencia y estabilidad) y diseño y acabado (se definen características de tiempo, temperatura y deformación) (PT, 2016).

Antes de la Segunda Guerra Mundial, uno de los materiales que se conocía y empleaba era el hule natural. Como aislamiento y cubierta exterior, para 1930 aparece el policloruro de vinilo (PVC), primer termoplástico que se empleó como aislamiento para baja tensión. Posteriormente se desarrollan compuestos de PVC resistentes a diferentes temperaturas de 90 ó 105°C y con características mejoradas de baja emisión de humos, no propagadores de incendios y de bajo contenido de gas ácido. Poco antes de 1930, se introdujeron al mercado varios hules sintéticos con propiedades especiales, el que ha logrado subsistir en su aplicación es el policloropreno, mejor conocido como neopreno. Durante la Segunda Guerra Mundial, ante la falta de materiales en general, en Alemania se implementó el hule estireno butadieno, conocido como elastómero o hule GRS o SBR. En la Tabla 2.2 se muestran los diversos plásticos aislantes y algunas de sus características más relevantes (RTE, 2014).

### **2.5.3. Métodos para elaborar plásticos aislantes**

En la industria eléctrica y electrónica la protección de piezas, equipos y cableado del medio ambiente es muy importante; por ejemplo, en los cables eléctricos, se coloca un recubrimiento aislante sobre el conductor para evitar fugas de corriente. Las condiciones ambientales y climáticas o los contactos con agentes agresivos, así como la falta de cuidado en la instalación, manejo y conservación, son las causas principales que limitan la vida de un cable. Los aislamientos se clasifican en dos grandes grupos: termoplásticos y termoestables (Formlabs, 2021).

Termoplásticos. La principal característica que los distingue es su capacidad de soportar numerosos ciclos de fusión y solidificación sin sufrir una degradación considerable. Los termoplásticos se suelen vender en forma de pequeños gránulos o láminas, que se calientan y a los que se les da la forma deseada mediante diversos procesos de fabricación. El proceso es completamente reversible, ya que no se producen enlaces químicos, por lo que es factible reciclar o fundir y reutilizar los termoplásticos. Los aislamientos termoplásticos más usuales en la fabricación de cables eléctricos son: PVC (Policloruro de vinilo), Z1 (Poliiolefinas), PE (Polietileno lineal), Poliuretano (PU), Teftel, Teflón (fluorados), etcétera (Formlabs, 2021; RTE, 2014).

Los plásticos termo endurecibles o termoestables permanecen en un estado sólido permanente después de su curado. Los polímeros en los materiales termo endurecibles se entrecruzan durante un proceso de curado inducido por luz, calor o una radiación adecuada. Este proceso de curado forma un enlace químico irreversible. Cuando se calientan, los plásticos termo endurecibles se descomponen en vez de fundirse y no vuelven a formarse al enfriarlos. No es posible reciclar los plásticos termo endurecibles o revertir el material a sus ingredientes. En cuanto a los aislamientos termoestables, los más usuales son: EPR (Etileno Propileno), XLPE (Polietileno Reticulado), EVA (Acetato de Etilo Vinil), SI (Silicona), PCP (Neopreno), SBR (Caucho Natural), etcétera (Formlabs, 2021; RTE, 2014).

Actualmente, el PVC y el polietileno se utilizan como aislamiento y como cubierta protectora de los cables eléctricos, por su alta resistencia a los impactos y a la abrasión. Algunos de los procesos de fabricación son impresión 3D, mecanizado CNC, fundición de polímeros, moldeo por rotación, moldeo al vacío, moldeo por inyección, extrusión y moldeo por soplado. A continuación, se describe cada uno de ellos.

- **Impresión 3D.** Se utilizan impresoras 3D para crear piezas tridimensionales directamente a partir de un modelo CAD construyendo el material capa a capa hasta que se forma una pieza física completa.
- **Mecanizado CNC.** Incluye centros de mecanizado, tornos y otros procesos sustractivos controlados por ordenador. Estos procesos comienzan con bloques, barras o varas sólidos de metal o de plástico a los que se les da forma retirando material de ellos mediante procesos de corte, perforación y amolado.
- **Fundición de polímeros.** Es este proceso se llena un molde con una resina líquida o caucho que pasan por una reacción química y se solidifican. Los polímeros típicos de la fundición son, entre otros, el poliuretano, la resina epoxi, la silicona y el acrílico.

- **Moldeo por rotación.** También llamado rotomoldeo, es un proceso en el que se calienta un molde hueco lleno de termoplástico en polvo y se gira el molde en torno a dos ejes para producir principalmente grandes objetos huecos. También hay disponibles procesos para el rotomoldeo de plásticos termoendurecibles, aunque son menos comunes.
- **Moldeo al vacío.** Es un método de fabricación en el que un plástico se calienta y se le da forma, normalmente mediante un molde. Las máquinas de moldeo en vacío varían en tamaño y complejidad, desde dispositivos de escritorio hasta maquinaria industrial automatizada.
- **Moldeo por inyección.** El moldeo por inyección consiste en inyectar en un molde un termoplástico fundido. Es el proceso más utilizado para la fabricación en masa de piezas de plástico.
- **Extrusión.** Consiste en empujar plástico a través de un troquel. La forma del troquel es una sección transversal de la pieza final.
- **Moldeo por soplado.** Es una técnica de fabricación que se usa para crear piezas de plástico huecas, inflando un tubo de plástico calentado dentro de un molde hasta que adquiera la forma deseada (Formlabs, 2021).

Tabla 2.2. Características de los plásticos aislantes, elaboración a partir de (RTE, 2014)

<b>Hule natural</b>	En sus inicios no tenía ninguna competencia en aislamiento y cubierta de cables, sin embargo, en la actualidad se emplea muy poco para esos propósitos.
<b>Hule SBR o GRS</b>	Conocido como estireno butadieno, hule BUNA-S, hule SBR o GRS. Su resistencia mecánica es menor que la del hule natural, sin embargo, combinado con químicos puede tener buenas cualidades eléctricas para cables de baja tensión.
<b>Hule butilo</b>	Es un material isobutileno-isopreno. Comenzó a utilizarse a gran escala a partir de 1947 en cables que transportaban 35kV. Es inherentemente resistente al ozono y a la humedad, resiste grandes cantidades de calor, tiene buena resistividad y rigidez dieléctrica.
<b>Policloropreno (neopreno)</b>	Químicamente es un polímero del cloropreno, que tiene aplicación como aislante eléctrico en conductores de baja tensión, ya que su contenido de cloro hace que sus cualidades aislantes no sean muy elevadas. Su estructura química es resistente al aceite, materiales químicos, calor, humedad, flama y al ozono. Puede trabajar en un amplio rango de temperatura que va desde los -65° hasta los 90°C.
<b>Polietileno clorosulfonado</b>	Es también un polímero del neopreno, esta especificado por la norma NMX-J-061 como aislamiento de cables tipo RHH y RHW. Suele ocuparse para aislamiento y cubierta de cables en la industria automotriz. Posee gran resistencia al ozono, al efecto corona, tiene muy buena resistencia al calor, la humedad y pueden prepararse tipos para que trabajen a muy bajas temperaturas.
<b>Polietileno clorado (CPE)</b>	Se emplea únicamente en aislamiento de baja tensión y encuentra su principal aplicación en la fabricación de cubiertas exteriores para alambres y cables. Puede trabajar con rangos de temperatura de 90 a 105° C
<b>Policloruro de vinilo (PVC) o (PVC-RAD)</b>	Los compuestos aislantes de este material tienen como base el polímero del cloruro de vinilo. Con los años se modificó el material para soportar temperaturas de conductor de 90° 105° C. Son inherentemente no propagadores de flama. Tienen muy buenas propiedades mecánicas, pero sus cualidades eléctricas no son sobresalientes.
<b>Polietileno (PE)</b>	Es un material termoplástico constituido por cadenas lineales o ramificadas de monómeros de etileno. Eléctricamente, el polietileno posee el mejor conjunto de cualidades que se pueden esperar en un aislamiento sólido: alta rigidez dieléctrica, bajo factor de potencia y constante dieléctrica, alta resistividad volumétrica.
<b>Polietileno de cadena cruzada (XLPE o XLP)</b>	Se produce por la combinación de un polietileno termoplástico y un peróxido orgánico adecuado, bajo ciertas condiciones de presión y temperatura. Los aislamientos de polietileno reticulado para altas tensiones tienen buenas cualidades mecánicas, poseen buena resistencia a la compresión y deformación térmicas y tienen una excelente resistencia al envejecimiento por altas y bajas temperaturas. Sus cualidades eléctricas como rigidez dieléctrica, factor de potencia, constantes dieléctricas y de aislamiento, así como su estabilidad eléctrica en agua son sobresalientes.
<b>Etileno Propileno (EPR o EP)</b>	El aislamiento de etileno propileno comúnmente conocido como EPR, es un material elastomérico obtenido a partir del etileno y del propileno. Es un aislador típico para alta tensión. Los aislamientos de EPR debidamente formulados y procesados poseen muy buenas cualidades eléctricas y físicas; sobresaliente resistencia térmica y al ozono, así como una excelente estabilidad eléctrica en agua. Los cables aislados con etileno propileno poseen una muy buena flexibilidad que permite un adecuado manejo durante la instalación.

#### **2.5.4 Implicación ambiental de aislantes plásticos**

Los aparatos electrónicos tienen en la actualidad un papel muy importante en nuestra vida cotidiana, tanto que no es posible desarrollar gran número de actividades sin ellos. La evolución tan rápida de la tecnología ha permitido que el acceso a equipos cada vez más reciente se vuelva común, dando paso al desperdicio y a la basura electrónica. Los aparatos eléctricos y electrónicos considerados desecho representan una preocupación ambiental porque ocupan espacio en vertederos y existen sustancias nocivas que pueden originar problemas si no hay un tratamiento adecuado (Cassia, 2006).

A raíz del gran crecimiento de la industria electrónica, el avance de la tecnología y el consumismo desmedido, se generan cerca de 50 millones de desechos electrónicos al año. Y la mayoría no pasan por un sistema de reciclaje óptimo, lo que puede llegar a afectar la salud humana. En los residuos electrónicos pueden encontrarse materiales peligrosos como metales pesados: mercurio, plomo, cadmio, plomo, cromo, arsénico o antimonio, los cuales son susceptibles de causar diversos daños para la salud y para el medio ambiente (NG, 2020).

Desde que los materiales poliméricos han estado disponibles se han utilizado con frecuencia para el aislamiento y cubierta de cables. De los plásticos, el PVC ha sido el tipo de plástico más común para cables. Sin embargo, debido a los problemas ambientales relacionados con el PVC, se han desarrollado materiales alternativos para cables y en la actualidad son frecuentemente utilizados. Los nuevos cables son libres de halógenos y usualmente basados en el polietileno (Santillán, 2018).

Los procesos de reciclado de los diferentes tipos de plástico todavía están en desarrollo, es por ello por lo que sólo un pequeño volumen del flujo total de plásticos es reciclado actualmente. Existen empresas dedicadas a procesarlos y se recupera cierto porcentaje de cobre, el resto es desecho, que suele incinerarse o usarse como relleno sanitario. Así entonces, emplear materiales diferentes a los plásticos como aislamiento se convierte en un tema relevante dada la gran demanda de aparatos electrónicos (MAVDT, 2010; Santillán, 2018).

#### **2.5.4 Normatividad en aislantes eléctricos**

En México se cuenta con la NOM-001-SCFI-2018. Aparatos electrónicos. Requisitos de seguridad y métodos de prueba, establece características y requisitos de seguridad que deben cumplir los aparatos electrónicos dentro del territorio nacional, se toma en cuenta la protección contra choques eléctricos, peligros mecánicos, radiación óptica, contra fuego, efectos térmicos, biológicos y químicos.

La NOM-001-SCFI-2018 aplica a equipos electrónicos y sus accesorios que utilizan para su alimentación la energía eléctrica del servicio público, con tensiones monofásicas de alimentación hasta 277 V c.a. a 60 Hz y/o tensiones trifásicas hasta 480 V c.a. entre líneas a 60 Hz; así como de otras fuentes de energía, tales como pilas, baterías, acumuladores, autogeneración y fuentes alternativas de alimentación hasta 500 V c.c. Para evitar calentamientos en los aislamientos eléctricos y posteriores accidentes, se tienen temperaturas nominales de funcionamiento y temperaturas en condiciones de falla según el material (Tabla 2.3). Los materiales contemplados para barreras mecánicas no se ven limitados por temperatura, de manera que un biomaterial lo suficientemente resistente puede ser usado.

Por otro lado, la NOM-001-SEDE-2018 habla sobre instalaciones eléctricas y su utilización, el contenido de la norma es muy amplio, sin embargo, habla de diferentes tipos de cables y su aislamiento. En la Tabla 2.4 se observan los tipos de cable conductor y su correspondiente aislamiento (interno), todos capaces de soportar hasta 600 V. Ya que todos los cables soportan menos de 600 V es correcto decir que los aislantes mencionados son aptos para trabajar en baja tensión, siendo el termoplástico el material más común. Finalmente, los aislamientos de cables de media tensión se centran en un material dieléctrico sólido, capaz de resistir hasta 105°C, debe contar con una cubierta exterior termoplástica o cubierta metálica. La norma no menciona nada más acerca de aislamiento eléctrico.

**Tabla 2.3. Temperatura de funcionamiento de diferentes aislantes eléctricos en aparatos electrónicos (elaborado a partir de SCFI, 2018)**

<b>Partes del aparato</b>	<b>Temperatura nominal (°C)</b>	<b>Temperatura en condiciones de falla (°C)</b>
<b>Cordones de alimentación y cableados:</b>		
Policloruro de vinilo o goma sintética	60	80
Goma natural	120	150
<b>Otros aislamientos</b>		
Materiales termoplásticos	110	150
Papel no impregnado	95	150
Cartón no impregnado	95	150
Algodón, seda, papel y tejido, impregnado	95	150
	145	190
Laminados de celulosa o textiles	200	300
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	200	300
Epóxido reforzado con fibra de vidrio		
<b>Partes que actúan como soporte o barrera mecánica incluyen las partes interiores de los gabinetes</b>		
Madera y materiales a base de madera	-	-
Materiales termoplásticos	-	-
Otros materiales	-	-

<b>Tabla 2.4. Plásticos aislantes en eléctrica (elaboración a partir de SEDE, 2018)</b>			
<b>Nombre genérico</b>	<b>Tipo de cable</b>	<b>Temperatura máxima del conductor</b>	<b>Aislamiento</b>
<b>Etileno-propileno fluorado</b>	FEP o FEPB	90°C 200°C	Etileno-propileno fluorado
<b>Aislamiento mineral (con cubierta metálica)</b>	MI	90°C 250°C	Oxido de magnesio
<b>Termoplástico aislante a la humedad, al calor y al aceite</b>	MTW	60°C 90°C	Termoplástico retardante a la flama y resistente a la humedad, al calor y al aceite
<b>Papel</b>		85 °C	Papel
<b>Perfluoroalcoxi</b>	PFA	90°C 200°C	Perfluoroalcoxi
<b>Perfluoroalcoxi</b>	PFAH	250 °C	Perfluoroalcoxi
<b>Termofijo</b>	RHH	90°C	-----
<b>Termofijo resistente a la humedad</b>	RHW	75 °C	Termofijos resistentes a la humedad y retardante a la flama
<b>Hule silicón</b>	SA	90 °C 200 °C	Hule silicón
<b>Termofijo</b>	SIS	90 °C	Termofijo retardante a la flama
<b>Termoplástico y malla externa de material fibroso</b>	TBS	90 °C	Termoplástico
<b>Politetra-fluoroetileno</b>	TFE	250°C	Politetra-fluoroetileno
<b>Termoplástico con cubierta de nylon, resistente al calor y a la propagación de la flama</b>	THHN	90°C	Termoplástico retardante a la flama y resistente a la humedad y al calor.
<b>Termoplástico resistente a la humedad, al calor y retardante a la flama</b>	THHW	75°C 90°C	Termoplástico retardante a la flama y resistente al calor y a la humedad.
<b>Termofijo retardante a la flama</b>	XHH, XHHN	90°C	Termoplástico retardante a la flama
<b>Tetrafluoroetileno modificado con etileno</b>	Z	90°C 150°C	Tetrafluoroetileno modificado con etileno
<b>Termofijo retardante a la flama y resistente al calor y a la humedad</b>	XHHW- 2	90°C	Termofijo retardante a la flama y resistente al calor y humedad.

## Capítulo 3. Materiales y métodos

### 3.1 Caso de estudio

El Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Avícola (CEIEPAv) forma parte de los Centros de enseñanza de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México. El CEIEPAv cuenta con una superficie de 6.6 hectáreas provistas de instalaciones adecuadas para la enseñanza y trabaja con aves de diversos tipos (FMVZ, 2016a):

- **Gallina de postura.** El centro se dedica a la crianza y producción intensiva de dos variedades de gallinas ponedoras, las ligeras que producen huevo blanco y las semi pesadas que producen huevo café. Adicionalmente, se produce huevo rojo de gallinas mantenidas en sistemas de semilibertad con la opción de ingreso a áreas de pastoreo (Figura 3.1).
- **Gallina reproductora.** El centro dirige la producción y venta de la mayor parte del huevo fértil y huevo con desarrollo embrionario a instituciones educativas, laboratorios particulares y escuelas.
- **Pollo de engorda.** El centro produce y procesa pequeñas parvadas criadas en casetas de ambiente natural en ciclos de 3 y 7 semanas.
- **Pavo de engorda.** En centro tiene pavos de doble pechuga criados en semi libertad a mediados de año y hasta las 12 semanas de edad, para su venta en el mes de diciembre a la FMVZ y otras facultades de la misma universidad.
- **Avestruz.** El centro tiene ejemplares de pie de cría que se trabajan con fines reproductivos y de repoblación.

A su vez el CEIEPAv tiene distintas áreas de trabajo de interés (FMVZ, 2016a):

- Producción de huevo fértil e incubación
- Producción de huevo para plato
- Producción de pollita de reemplazo
- Producción de pollo de engorda
- Producción de pavos
- Producción de avestruces

De manera general, los animales del CEIEPAv están destinados a prácticas de aprendizaje de sus estudiantes y en cierta medida a la venta a instituciones de investigación o a otros centros de enseñanza; por lo tanto, la cantidad de animales es variable, en el caso del pollo de engorda se han tenido hasta 10,000 animales por semestre, en el caso de la gallina de postura (como número fijo) se tienen 7,000

aves. Cabe resaltar que todos los datos brindados son anteriores a la pandemia por COVID-19 (Castañeda, 2021).

El centro cuenta con una pequeña planta de procesamiento avícola, la cual tiene un tanque escaldado que posee un quemador que trabaja con gas LP, este tanque escaldado tiene la función de desnaturalizar la proteína del folículo de la pluma para después ingresar las canales a una desplumadora. Cada que se procesan las aves el gasto en gas LP es de 300 a 400 pesos mexicanos, como lo indica la Tabla 3.1 y, a pesar de que la desplumadora funciona con electricidad no se gasta ningún peso, ya que al ser el centro una instalación universitaria, está subsidiada (Castañeda, 2021).

**Tabla 3.1. Gastos energéticos (elaborado a partir de Miguel, 2022 y Castañeda, 2021)**

<b>Litros de gas LP/ ave</b>	0.0024 L gas LP/ave
<b>Litros de gas LP / tiempo</b>	6.07 L gas LP/min

Dentro del centro las plumas son procesadas en compostas o son colocadas en una fosa sanitaria, en esta última se utilizan cultivos que degradan materia orgánica. En el centro, las plumas no son tratadas como basura común; es decir, no se vierten en contenedores de basura que después son recogidos. Cabe resaltar que desde que inició la pandemia por COVID-19 el centro no ha adquirido parvadas de pollo de engorda, debido a que se requiere personal para su atención y cuidado (Castañeda, 2021).



Figura 3.1. Aves de granja en el CEIEPAv (Fundación UNAM, 2019)

Para la producción de pollo de engorda el centro cuenta con una caseta de ambiente natural dividida en 10 secciones, con una superficie total de  $736 \text{ m}^2$  con capacidad para alojar 7,360 aves, con una densidad de 10 aves por  $1 \text{ m}^2$ , como se

resumen en la Tabla 3.2. Se utiliza un sistema de crianza de túnel, que consta de divisiones a lo largo de la caseta por medio de cortinas de polietileno, que ayudan a mantener el calor en el área de crianza (FMVZ, 2016b).

El calor que se les proporciona a las aves se obtiene mediante criadoras infrarrojas con una capacidad de 40,000 BTU suficientes para 1,000 aves, como lo muestra la Tabla 3.2. El ciclo de producción completo dura 49 días y comienza con la adquisición de pollitos de un día de edad de la estirpe Ross 308, como se muestra en la Figura 3.2 El alimento se produce en el centro y se compone principalmente de sorgo, pasta de soya, premezcla de vitaminas y minerales. Se formulan las dietas en base a los requerimientos nutricionales de la estirpe Ross 308 (FMVZ, 2016b).

Tabla 3. 2. Condiciones iniciales en el CEIEPAv	
<b>Caseta de ambiente natural</b>	1 (divida en 10 secciones)
<b>Superficie total (<math>m^2</math>)</b>	736
<b>Capacidad (aves)</b>	7,360
<b>Densidad de aves por <math>m^2</math></b>	10
<b>Energía total P/1,000 aves (BTU)</b>	40,000

Al día 10 de edad se inmunizan a las aves contra la enfermedad de Newcastle con un método de vacunación simultaneo con una vacuna de virus activo y una vacuna de virus inactivo en emulsión ósea, que se aplican vía ocular y subcutánea respectivamente. Semanalmente se pesan y se calculan los parámetros productivos: ganancia diaria de peso, consumo de alimento, conversión alimenticia y porcentaje de mortalidad. Al finalizar el ciclo de 49 días, las aves son vendidas en pie o transportadas a la sala de procesamiento avícola del CEIEPAv, donde se procesan y se obtienen los datos de rendimiento de canal y pigmentación cutánea (FMVZ, 2016b).

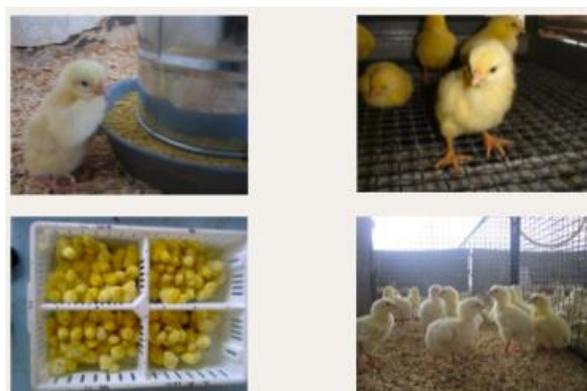


Figura 3.2. Pollitos recién adquiridos por el CEIEPAv (FMVZ, 2016b)

De entre los datos adquiridos semanalmente uno de ellos la masa durante las siete semanas que dura la crianza, se tienen valores desde los 2.95 kg hasta los 3.31 kg por pollo, la Tabla 3.3 muestra un resumen de las masas a lo largo de los diferentes años de crianza y un promedio final de las mismas.

<b>Tabla 3.3. Resumen de masa individual de pollos de engorda (elaborado a partir de FMVZ, 2016b)</b>	
<b>Año</b>	<b>Masa (kg)</b>
<b>2010</b>	2.952
<b>2011</b>	3.011
<b>2012</b>	3.298
<b>2014</b>	3.310
<b>2015</b>	3.121
<b>Promedio</b>	<b>3.1384</b>

### 3.2. Metodología de trabajo

En la Figura 3.3 puede observarse la metodología de trabajo seguida para realizar la presente tesina. Partiendo de una revisión bibliográfica extensa y profunda, se solicitaron datos reales relacionados con el Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Avícola (CEIEPAv), luego, mediante el análisis del proceso químico y físico de transformación de las plumas se determinó la factibilidad técnica, económica y ambiental del mismo.

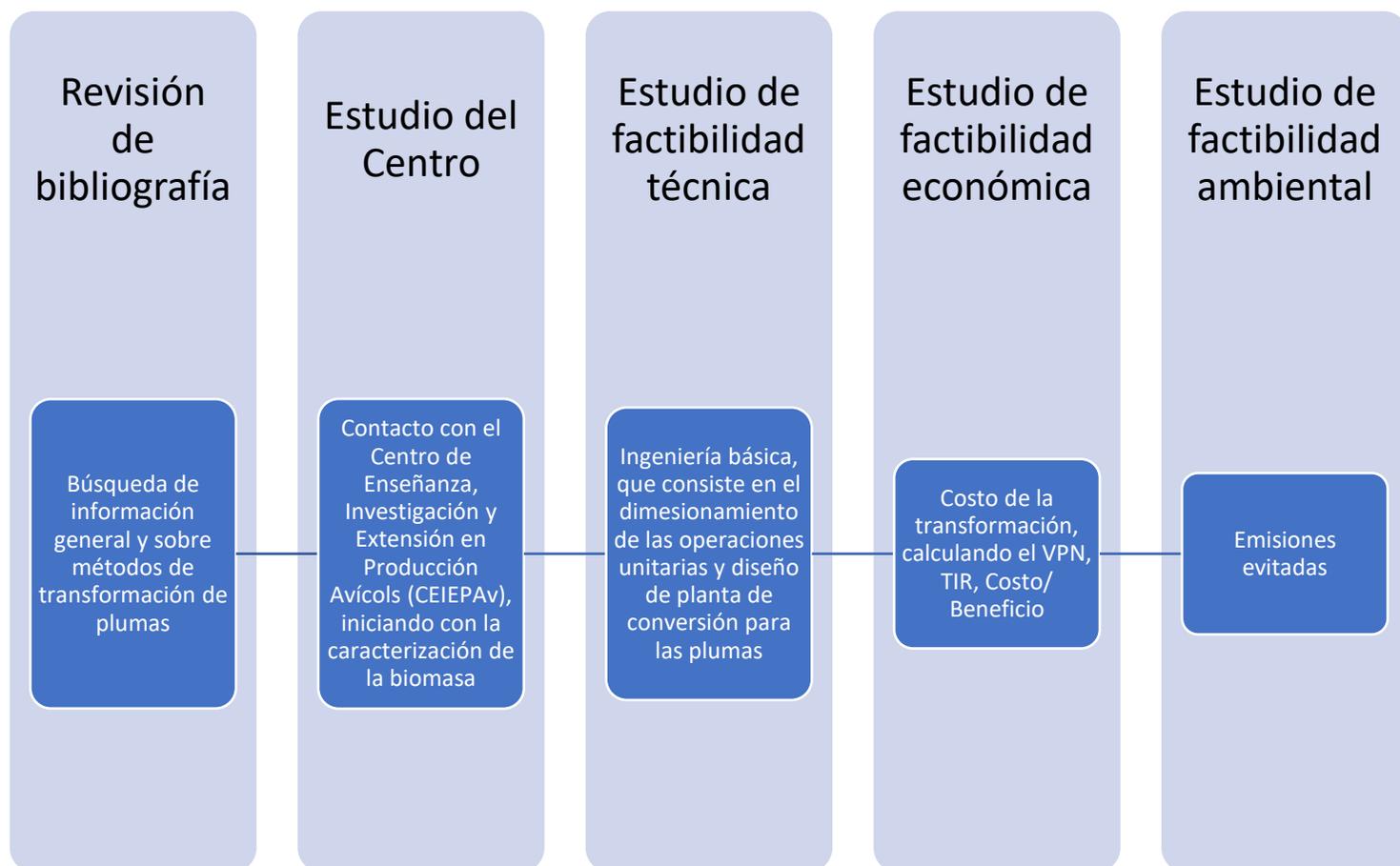


Figura 3.3. Metodología de trabajo métodos de trabajo

## Capítulo 4. Resultados

### 4.1. Potencial de la pluma en el caso de estudio

Considerando que en un semestre se cuentan con 10,000 ejemplares de pollos de engorda y que en promedio cada uno tienen una masa de 3.1384 kg, el centro produce 31.384 toneladas de pollo y 1.63 ton de plumas al semestre o bien 3.27 ton al año. Si se contemplan también a las gallinas de postura podrían obtenerse otras 2.29 ton de plumas. En la Tabla 4.1 se puede observar el potencial del CEIEPAv y compararlo con el potencial de México y del mundo (contemplando a los mayores productores de pollo: Estados Unidos, Brasil, China, Europa, Rusia, India y México).

<b>En el caso de estudio</b>	Gallina de engorda: 3.27 ton de plumas en el 2019 Gallina de postura: 2.29 ton de plumas en 2019 Total: 5.56 ton de plumas en 2019
<b>En México</b>	184.96 ton de plumas en el 2020
<b>En el Mundo</b>	5,126.64 ton de toneladas en el 2019

### 4.2. Caracterización de la pluma

El centro de investigación trabaja en su mayoría con gallinas de postura, pollo de engorda y con pavos, siendo diferente el número de ejemplares de cada especie. Para la caracterización de la pluma se toma en cuenta desde el número de animales por especie, hasta la composición químicas de las plumas, así como los gastos energéticos y costos para la obtención de plumas.

Las principales características de las plumas de pollo son la densidad aparente y real, humedad, granulometría, relación C/N, PH, cenizas, calcio, fósforo, magnesio, materia orgánica, nitrógeno y resistencia eléctrica, visibles en la Tabla 4.2. Por otro lado, las plumas en el CEIEPAv se emplean en la elaboración de compostas debido a su alto contenido proteico; sin embargo, la gran mayoría son desechadas, recolectadas y tratadas como basura municipal. La idea de utilizar plumas para fabricar un material aislante nace a partir de que hoy en día las plumas son consideradas basura; es decir, generarlas no tiene ningún costo económico directo. En el CEIEPAv existen dos gastos principales de energía, eléctrica y térmica: la primera se satisface por medio de la red eléctrica y la segunda a partir de la quema de gas LP. Dado que el centro es de investigación la electricidad esta subsidiada y el gas LP, por otro lado, es utilizado para retirar las plumas de las aves, el gasto en gas es de 400 pesos mexicanos cada que se utiliza la máquina.

Por otro lado, tomando en cuenta datos del 2019, con las gallinas de postura se obtienen 2.29 ton de plumas, con el pollo de engorda 3.27 ton y con los pavos 0.89 ton, obteniendo en total 6.45 ton de plumas anuales. En la Tabla 4.3 se muestran las toneladas de plumas de las que el centro puede disponer.

<b>Tabla 4.2. Caracterización de las plumas de pollo (elaboración a partir de Florida, 2019; Tesfaye y col. 2018)</b>	
<b>Característica</b>	<b>Valor</b>
Densidad aparente $\left(\frac{g}{cm^3}\right)$	0.054
Densidad real $\left(\frac{g}{cm^3}\right)$	1.46
<b>Granulometría (% peso)</b>	
<0.125 mm	11
0.125-0.25 mm	1
0.25-0.5 mm	1
0.5-1 mm	2
1-2 mm	6
2-4 mm	11
4-8 mm	12
8-16 mm	12
>16 mm	44
pH	4.92
Cenizas (%)	3.91%
Humedad (%)	67.7%
Materia orgánica (%)	93%
Nitrógeno (%)	12.66%
Calcio (%)	0.55%
Fósforo (%)	0.50%
Magnesio (%)	0.12%
Relación C/N	3.6
<b>Resistencia eléctrica</b>	
Barbas ( $\Omega$ )	$6.74 \times 10^{11}$
Raquis ( $\Omega$ )	$8.13 \times 10^{11}$

<b>Tabla 4.3. Potencial anual del CEIEPAv</b>		
<b>Especie</b>	<b>Número de aves</b>	<b>Plumas (Ton)</b>
Gallina de postura	7,000	2.29
Pollo de engorda	10,000	3.27
Pavo	Estimación de 3000	0.89
<b>Total</b>		<b>6.45</b>

### 4.3. Factibilidad técnica

Para la conversión de las plumas se realizará un tren de tratamiento, comenzando con un lavado profundo, continua el proceso de secado, trituración y finalmente se mezclan con el material polimérico escogido. En la Figura 4.1 se muestran a detalle los pasos a seguir y las cantidades correspondientes de sustancias y materiales involucrados, cuyos datos se obtuvieron del proceso estudiado por (Rahhali, 2015).

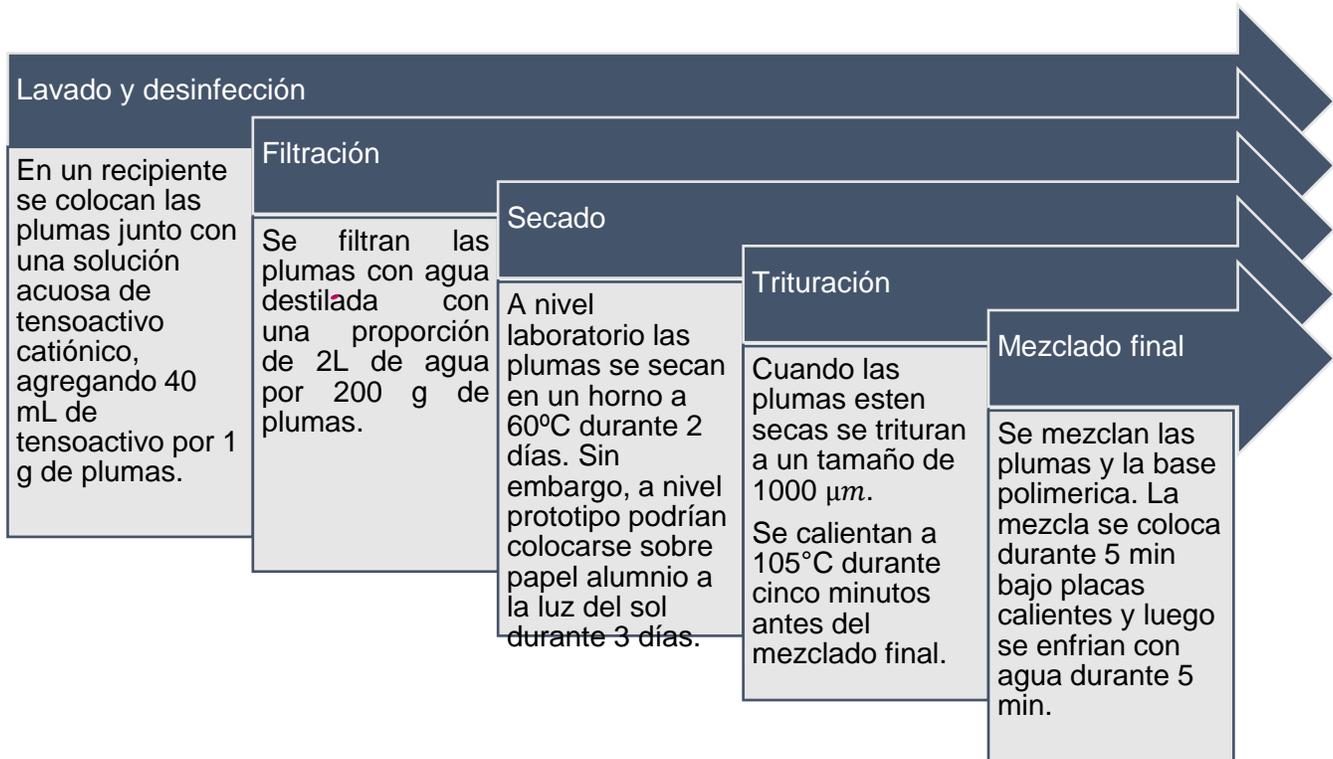


Figura 4.1. Operaciones unitarias del proceso de conversión de las plumas de pollo para elaborar un material aislante (elaboración a partir de Rahhali, 2015)

El proceso comienza vertiendo las plumas en un reactor dentro del cual se mezclarán con el tensoactivo por aproximadamente una hora, posteriormente se utilizará una bomba con su respectivo filtro para drenar el tensoactivo y dejar solo las plumas. Posteriormente las plumas deben ser enjuagadas con agua, para luego sacarlas del recipiente y exponerlas a la luz del sol para secarse, como lo indica el diagrama de la Figura 4.2.

Para determinar el tamaño de los reactores se tomó en cuenta la cantidad de plumas que se deben tratar a la semana (106.63 kg) y la cantidad de tensoactivo correspondiente, en la Tabla 4.4 se muestran los valores necesarios. Dado que el tamaño del reactor debe ser de al menos 5,331.5 L se escogen reactores con capacidad de 6,000 L ya que, en el mercado, son la capacidad más cercana a la requerida.

Para conocer la potencia requerida de la bomba se tomó en cuenta la dimensión del reactor y un tiempo mínimo de actividad. La potencia de la bomba escogida fue de 1 HP, con capacidad de succión de hasta 7 metros y con un caudal de  $210 \text{ m}^3/\text{h}$ , lo que indica que un reactor de 6,000 L puede ser vaciado en 7.71 minutos y sin ninguna dificultad ya que la altura del reactor no excede los 7 metros.

Para que el proceso de lavado sea lo más eficiente posible se necesitan de varios filtros: los primeros deben ser colocados a las entradas y salidas de los reactores, justo en el área en la que se conecta a la bomba y el resto deben ser utilizados en las bombas mismas. Los primeros evitan que las plumas abandonen o entren a los reactores ya que funcionan como pequeños parches con tamaños de 20x20 cm y los filtros de las bombas detendrán cualquier partícula que se mezcle con el tensoactivo o con el agua filtrada, en la Figura 4.3 puede verse la diferencia entre los filtros. Los residuos deben ser guiados a su destino final, razón por la cual se necesitan varios metros de tuberías.

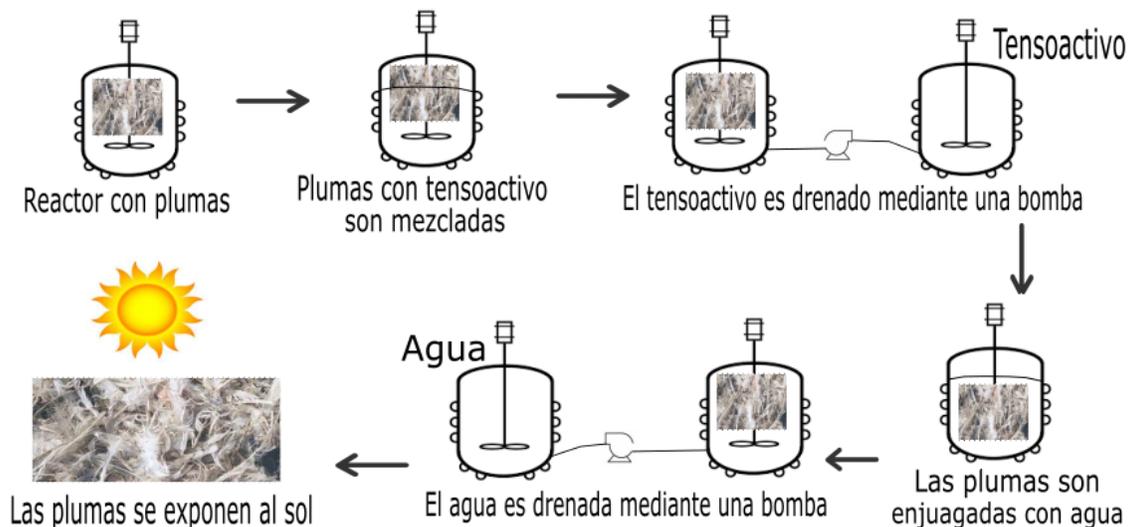


Figura 4.2. Diagrama de operaciones unitarias del proceso de lavado

Tabla 4.4. Dimensiones de los reactores (elaborado a partir de Rahhali, 2015)

Cantidad de plumas	Cantidad de tensoactivo	Capacidad total
1g	40 mL	50 mL
106.63 kg	4,265.2 L	5,331.5 L



Figura 4.3. Filtros utilizados durante el proceso de limpieza, para bomba y para reactores, de izquierda a derecha respectivamente

Por otro lado, una vez que las plumas han sido secadas deben triturarse, la máquina elegida para esa tarea tiene una potencia de 3 HP, con capacidad para procesar de 65 a 75 kg/h. Inicialmente el proceso contempla 106.63 kg de plumas, sin embargo, el rendimiento del proceso de lavado es del 44.8%, así que se contarían con 47.78 kg de plumas que pueden ser trituradas en 38.22 minutos. A su vez, el rendimiento del proceso de trituración es del 95%, así que finalmente se tendrían 45.39 kg de plumas. En la Figura 4.4 puede observarse el balance de materia y energía del proceso de lavado y en la Figura 4.5 el de trituración.

## ENTRADA

## SALIDA

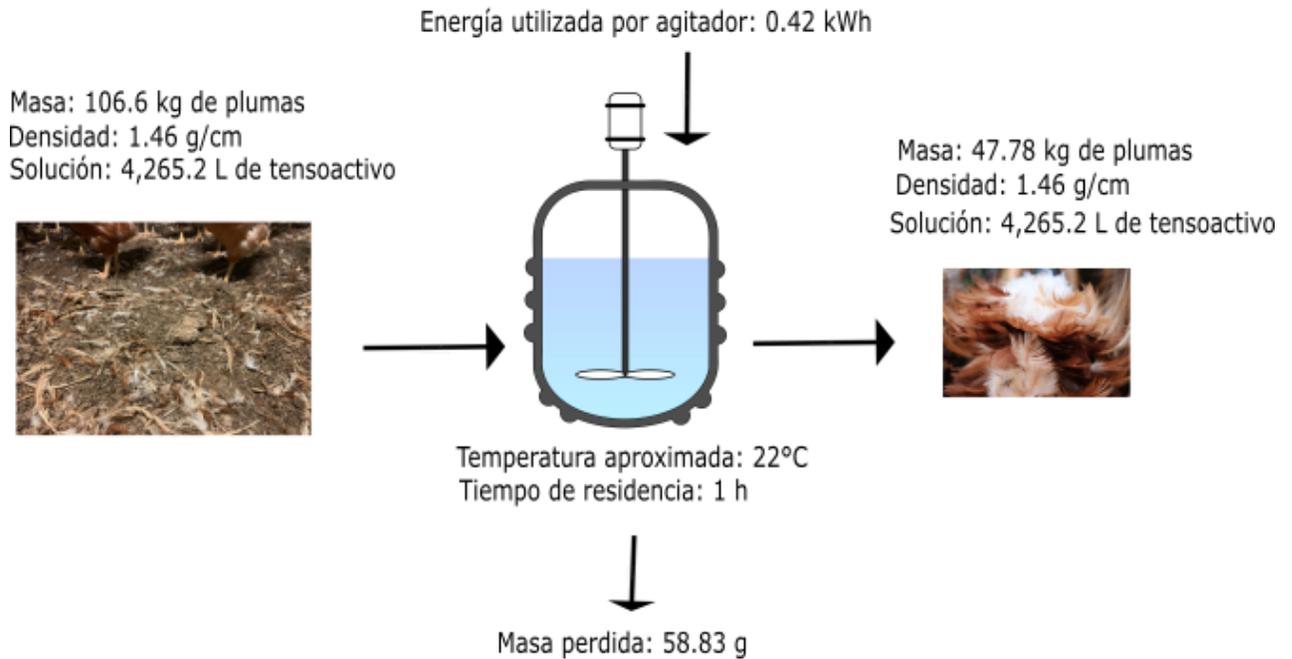


Figura 4.4. Balance de materia y energía del proceso de lavado

## ENTRADA

## SALIDA

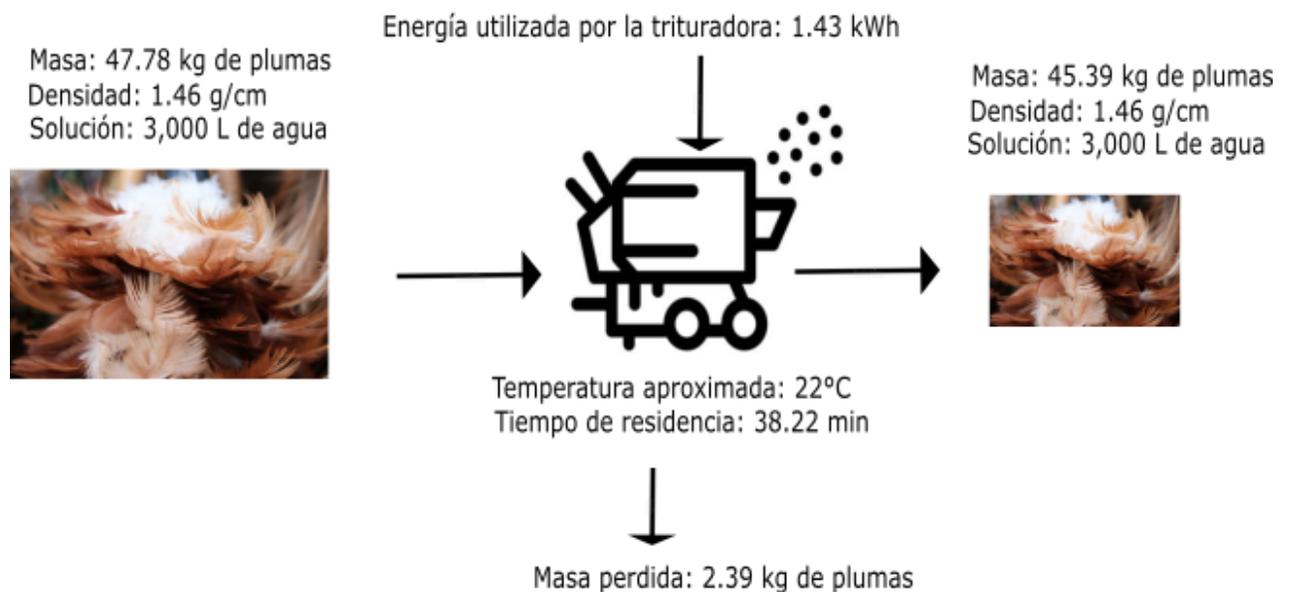


Figura 4.5. Balance de materia y energía del proceso de trituración

Para mezclar las plumas con la base polimérica, primero deben ser precalentadas, para ello se piensa en un horno, similar a que se utiliza hoy en día para hacer pan, exponiendo a las plumas a una temperatura de 105°C. El paso siguiente es la mezcla de las plumas trituradas y la base polimérica, razón por la cual la mezcladora elegida tiene un contenedor de 50 kg, y con capacidad de mezclar 30 kg/min, si se agrega una parte de plumas y una parte de la base polimérica, el tiempo de mezclado no superaría los 20 min. Para formar las placas aislantes se utilizan prensas calientes, aquellas elegidas fueron las más grandes disponibles en el mercado que tenían la fuerza necesaria para fabricar el material aislante, su fuerza es de 100 kN y tiene una potencia de 3 HP. En la Tabla 4.5 se enlistan todos los equipos y materiales ya mencionados.

<b>Tabla 4.5. Equipo para tratamiento de plumas</b>		
<b>Equipo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Capacidad</b>
<b>Reactores</b>	3	6000 L
<b>Bombas</b>	3	1 HP
<b>Filtro para reactor</b>	3	3 rejillas
<b>Filtro para bomba</b>	2	2 piezas
<b>Manguera</b>	3	5 m
<b>Agitador</b>	1	0.42 kW, 4 a 15 m <sup>3</sup>
<b>Triturador</b>	1	3 HP, 3440 rpm
<b>Mezcladora</b>	1	220V, 30 kg/min
<b>Horno</b>	1	0 a 300 °C
<b>Prensa de placas calientes</b>	1	100 kN, 4 HP

Para producir una pieza final con medidas de 39 cm x 16 cm x 0.15 cm y volumen de 93.6 cm<sup>3</sup> (tamaño similar a la base de un teclado de computadora de escritorio), se debe contemplar el rendimiento del proceso de lavado y triturado ya mencionado anteriormente, pues la cantidad de plumas efectiva en el caso de estudio es de 45.39 kg semanalmente, cifra para cual se necesitan 4,265.2 L de tensoactivo y diferentes cantidades de bases poliméricas, en el presente trabajo se analizan tres bases diferentes, que son:

- PP. Polipropileno
- HDE. Polietileno de alta densidad
- EVA. Copolímero etilvinilacetato

Para determinar la cantidad de plumas y bases poliméricas que la mezcla debe tener, se utilizó el método planteado por Ranhali (2015), donde primero se calcula el volumen de la pieza con la Ec 4.1.

$$V = \text{alto} * \text{largo} * \text{ancho} \quad \text{Ec.4.1}$$

La masa de cada uno de los componentes se calcula con la Ec 4.2, en la que para compensar las pérdidas del proceso de preparación del material compuesto se contempla un término que incluye la adición de un exceso del 10%.

$$m_{m,f} = V * X_{m,f} * \rho_{m,f} + (V * X_{m,f} * \rho_{m,f}) * 10\% \quad \text{Ec 4.2}$$

Donde:

$m_{m,f}$ : representa la masa de la matriz o de las fibras de plumas en g.

$V$ : representa el volumen de la placa en  $\text{cm}^3$ .

$X_{m,f}$ : representa el porcentaje en volumen de matriz ( $X_m$ ) o de pluma ( $X_f$ )

$\rho_{m,f}$ : representa la densidad de la matriz ( $\rho_m$ ) y de las plumas ( $\rho_f$ ) en  $\text{g}/\text{cm}^3$

Considerando siempre que las plumas representan un 20% y las bases poliméricas un 80% del material final, además de que la pieza final de producción tiene un volumen de  $93.6 \text{ cm}^3$ , se requieren 18.35 gr de plumas y, dependiendo de la base polimérica elegida, 74.30 gr de polipropileno, 79.07 gr de polietileno de alta densidad o bien 77.18 gr de copolímero etilvinilacetato, en la Figura 4.6 pueden verse de manera más clara las proporciones y en la Tabla 4.6 se muestran las bases poliméricas, sus densidades, el porcentaje de participación de cada una y la cantidad final necesaria de la base. Finalmente, en la Figura 4.7. se muestran las operaciones unitarias del proceso de conversión de plumas de pollo a un aislante eléctrico de manera general.

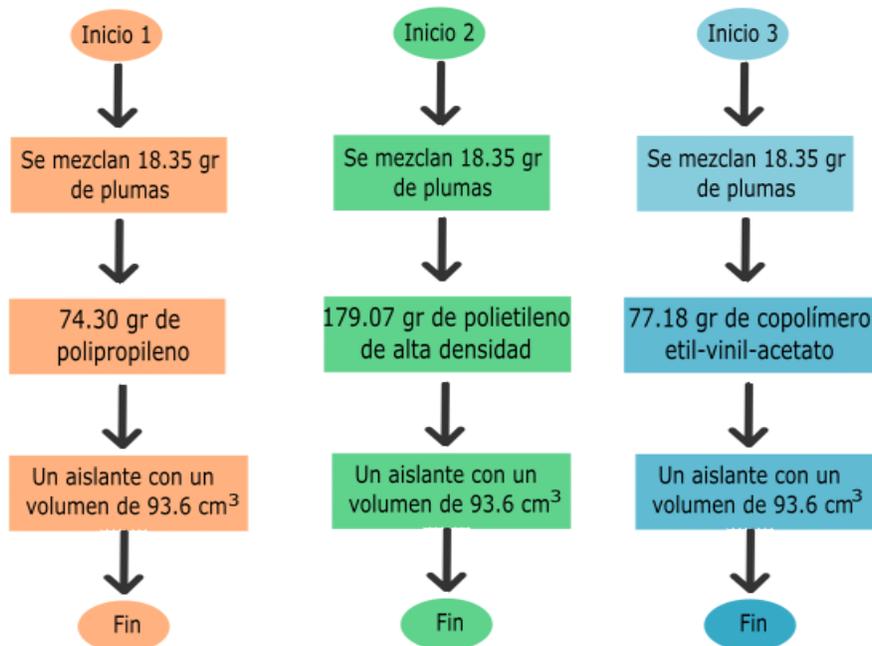


Figura 4.6. Cantidad de plumas y de bases poliméricas para elaborar un aislante

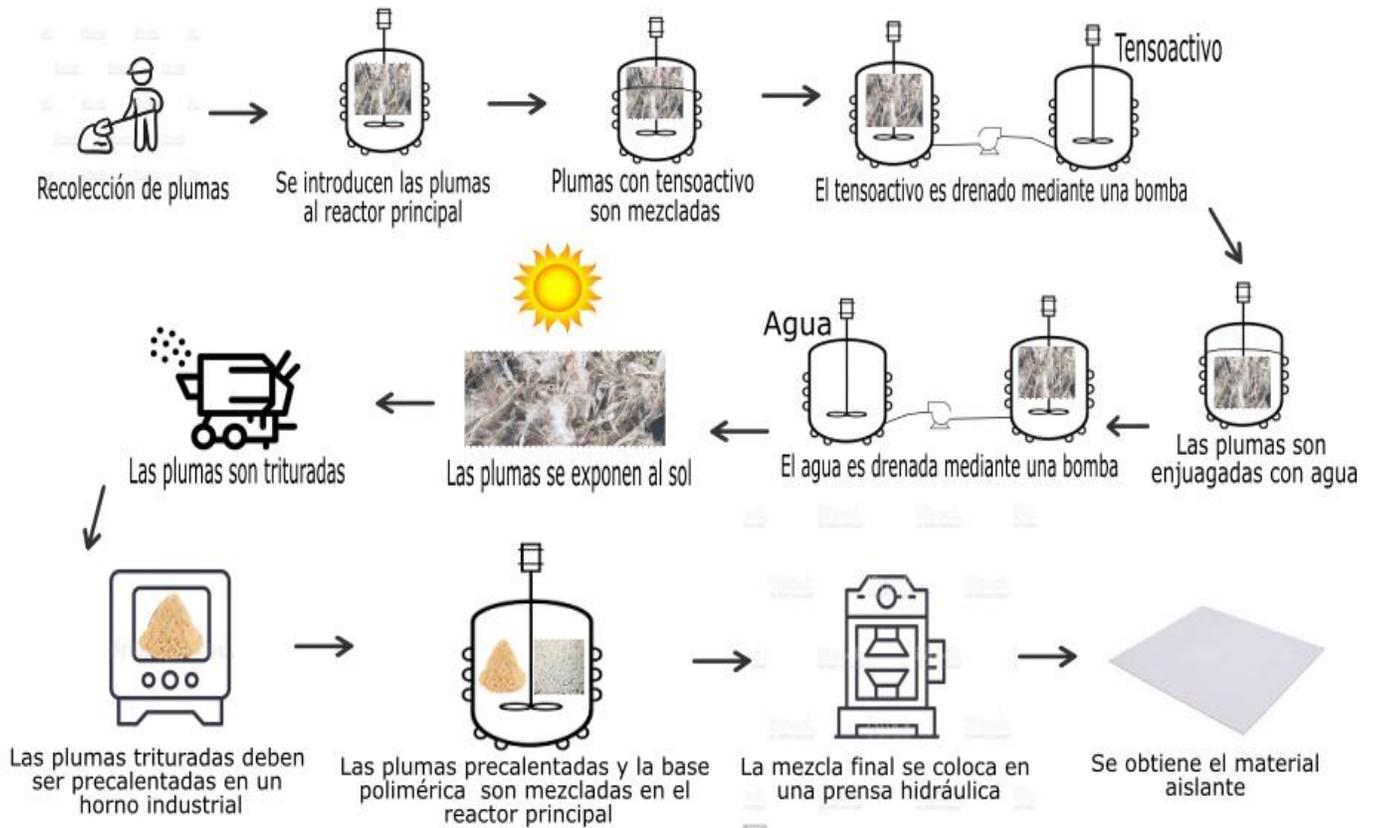


Figura 4.7. Diagrama de operaciones unitarias del proceso de conversión

Tabla 4.6. Características y cantidades de las bases poliméricas y plumas de pollo para producir una lámina con volumen de $93.60 \text{ cm}^3$					
	Densidad ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	Porcentaje	Masa (g)	Exceso (g)	Masa total (g)
<b>Polipropileno (PP)</b>	0.902	80%	67.54	6.75	74.30
<b>Polietileno de alta densidad (HDPE)</b>	0.96	80%	71.88	7.19	79.07
<b>Copolímero etilvinilacetato (EVA)</b>	0.937	80%	70.16	7.02	77.18
<b>Plumas de pollo</b>	0.891	20%	16.68	1.67	18.35

#### **4.4. Factibilidad ambiental**

El uso de plásticos aislantes en la industria eléctrica y electrónica es muy amplio, desde el recubrimiento de cables hasta la construcción de piezas que integran equipos de cómputo. A raíz del gran crecimiento de ambas industrias, el avance de la tecnología y el consumo desmedido, se generan cerca de 50 millones de desechos electrónicos al año y la mayoría no pasan por un sistema de reciclaje óptimo, lo que puede llegar a afectar la salud humana. En los residuos electrónicos pueden encontrarse materiales peligrosos como metales pesados: mercurio, plomo, cadmio, plomo, cromo, arsénico o antimonio, los cuales son susceptibles de causar diversos daños para la salud y para el ambiente, mientras que en la industria eléctrica los procesos de reciclado de los diferentes tipos de plástico aislante todavía están en desarrollo, es por ello por lo que sólo un pequeño volumen del flujo total de plásticos es reciclado actualmente (MAVDT, 2010).

El aislamiento de equipos de cómputo y de conducto/res eléctricos se hace con materiales poliméricos. Los polímeros son moléculas largas con un peso molecular muy alto, se caracterizan por tener una unidad o molécula que se repite. Lo que distingue a los polímeros de los materiales constituidos por moléculas de tamaño normal son sus propiedades mecánicas, ya que tienen excelente resistencia mecánica debido a que las grandes cadenas poliméricas se atraen (Neri, 2013).

En sus inicios, los polímeros se obtenían del carbón y sus derivados, pero hoy en día se sintetizan principalmente a partir del petróleo. De hecho, representan unos de los productos más importantes de toda la industria petroquímica. En su mayoría no son reactivos químicamente; es decir, no se descomponen espontáneamente en el medio ambiente, y muy pocos microorganismos son capaces de degradarlos; el tiempo de degradación en la naturaleza es de 50 a 1000 años en promedio (González, 2018; Estrada, 2020).

China, Estados Unidos, India, Japón y Brasil son los cinco países con el mayor volumen de basura electrónica en el mundo, México se encuentra en el lugar 11 con una producción per cápita de 9.7 kg. En 2019 la humanidad generó 53.6 millones de toneladas métricas de residuos electrónicos, de los cuales solo el 17.4% quedó oficialmente documentado como recogido y reciclado de forma adecuada; sin embargo, según las previsiones a partir del 2028 los residuos podrían situarse por encima de los 70 millones de toneladas (CEO, 2021)

Utilizando el método propuesto en la presente tesina es posible producir un material mucho más amable con el ambiente que los polímeros, especialmente aquellos cuyas bases son de policarbonato y acrilonitrilo butadieno estireno (ABS). El material puede moldearse a voluntad en los pasos finales, de manera que pueden producirse un sin fin de artículos, yendo más allá de la industria eléctrica y electrónica (Inboplast, 2020).

Actualmente en el mundo existen 1,000 millones de computadoras (con una masa aproximada de 7 kg individualmente) y 1.6 millones de televisores (con una masa aproximada de 15 kg individualmente), cada aparato con 32% de plástico integrado en su estructura, lo que quiere decir que se ocuparon 2,240,000 ton de plástico y 7,680 ton para su producción, respectivamente. Si se ocupan mezclas de materiales, como el explicado en la presente tesina, es posible reducir el consumo de plástico en un 20%, así entonces, para producir 1,000 millones de computadoras se utilizarían 448,000 ton de plástico y para 1.6 millones de televisiones 1,536 ton, como lo muestra la Tabla 4.7. En la Figura 4.8 puede verse la diferencia entre usar las plumas como material de aislamiento en la producción de computadoras y en la Figura 4.9. en la producción de televisores.

<b>Tabla 4.7. Uso de plástico en la industria electrónica</b>				
<b>Dispositivo</b>	<b>Se usaron</b>	<b>Usando plástico y materiales biodegradables</b>		
		<b>% Material biodegradable</b>	<b>Se usarían</b>	<b>Se evitarían</b>
1,000 millones de computadoras	2,240,000 ton plástico	20 %	448,000 ton plástico	1,792,000 ton plástico
1.6 millones de televisiones	7,680 ton plástico	20%	1,536 ton plástico	6,144 ton plástico
<b>TOTAL</b>	<b>2,247.68 ton plástico</b>	<b>20 %</b>	<b>449,536 ton plástico</b>	<b>1,798,144 ton plástico</b>



Figura 4.8. Comparativo de utilizar las plumas de pollo como material aislante en la fabricación de 1,000 millones de computadoras

Para estimar las emisiones que se evitan es necesario saber que la refinación y fabricación de petróleo se encuentran entre las industrias más intensivas en gases de efecto invernadero. De manera general, para fabricar 1 kg de plástico se emiten 3.5 kg de CO<sub>2</sub> (CIEL, 2020). Al utilizar las plumas en combinación con una base polimérica para fabricar computadoras y televisiones es posible no utilizar 448,000 ton plástico de plástico, lo que equivale a no emitir 1,573,376.00 toneladas de CO<sub>2</sub>, que representan a su vez la fabricación y uso de 43,704.79 autos con motor de combustión interna o bien 60,514.42 autos eléctricos, en la Figura 4.10 y Figura 4.11 puede verse la proporción respectivamente.



Figura 4.9. Comparativo al utilizar las plumas de pollo como material aislante en la fabricación de 1.6 millones de televisores



Figura 4.10. Emisiones evitadas al utilizar la mezcla de una base polimérica y plumas de pollo para la fabricación de televisiones y computadoras

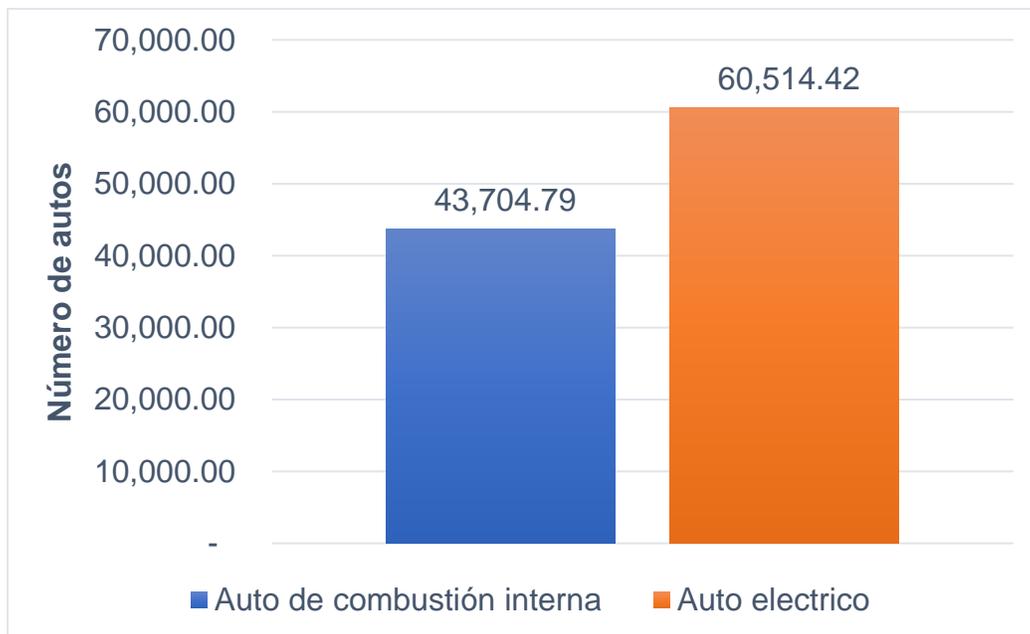


Figura 4.11. Emisiones evitadas equivalentes a la fabricación y uso de autos

**Tabla 4.8. Factibilidad ambiental en el CEIEPAv, México y el mundo contemplando la basura electrónica que ha sido registrada hasta el 2022 (a partir de NG, 2022)**

<b>Lugar</b>	<b>Emisiones evitadas (miles de ton CO<sub>2</sub>)</b>	<b>Auto de Combustión Interna equivalentes</b>	<b>Autos eléctricos equivalentes</b>
CEIEPAv	83.40	2	3
México	2,774.40	77	106
Mundo	76,899.60	2,136	2,957

La producción de plásticos tiene grandes emisiones de gases de efecto invernadero en toda su cadena productiva, por ejemplo, en la extracción y el transporte de combustibles. Sólo en Estados Unidos en 2015 fueron de al menos 9.5 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>, fuera de Estados Unidos, aproximadamente 108 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> por año son atribuibles a la producción de plástico (CIEL, 2020). Si se usaran materiales alternativos como los son las plumas de pollo, la factibilidad ambiental de su uso sería bastante buena para el ambiente, sin embargo, no sería muy representativa, como la Tabla 4.8 lo demuestra.

Si llegaran a generarse 70 millones de toneladas de residuos eléctricos electrónicos a partir del 2028, 22.4 millones de toneladas serán plásticos, pero si se ocupan mezclas de materiales podrían ser sólo 4.48 millones de toneladas, de esta manera, incluso si los materiales no son reciclados, su degradación en el ambiente no será tan problemática como lo es la de los plásticos (IPprofesional, 2008).

Finalmente, el plástico no reciclado provoca estragos al medio ambiente a medida que se degrada, tratar de medir eso impactos aún está en investigación, sin embargo, algunos estudios demostraron que el plástico en la superficie del océano libera metano y otros gases de efecto invernadero. Por otro lado, los micro plásticos pueden interferir con la capacidad del océano de absorber y secuestrar el CO<sub>2</sub> (CIEL, 2020).

#### 4.5 Factibilidad económica

El costo de los equipos necesarios para tratar (limpiar) las plumas, es de \$439,256.00, si el CEIEPAV se dedicara a producir láminas del material combinado (plumas y base polimérica) de un tamaño similar a la base de un teclado de computadora de escritorio, el costo se eleva hasta los \$968,765.00 (Tabla 4.9). Ahora bien, para realizar el proceso 1 vez a la semana el costo del tensoactivo sería de \$319,890.41 y el costo de las diferentes bases poliméricas de \$222.88, \$6,729.62 y \$3,518.29 como lo indica la Tabla 4.10.

**Tabla 4.9. Inversión fija**

Equipo	Cantidad	Capacidad	Costo	Total
Reactores	3	6000 L	\$ 25,250.00	\$ 75,750.00
Bombas	3	1 HP	\$ 2,200.00	\$ 6,600.00
Filtro para recipiente	3	5 m	\$ 200.00	\$ 600.00
Filtro para bomba	2	2 piezas	\$ 3,273.00	\$ 6,546.00
Manguera	3	5 m	\$ 1,620.00	\$ 4,860.00
Agitador	1	4 a 15 m <sup>3</sup>	\$ 280,000.00	\$ 280,000.00
Triturador	1	3 HP, 3440 rpm	\$ 64,900.00	\$ 64,900.00
<b>Subtotal</b>				<b>\$ 439,256.00</b>
Mezcladora	1	220V, 30 kg/min	\$ 214,000.00	
Horno	1	0 a 300 °C	\$ 7,000.00	
Prensa de placas calientes	1	100 kN, 4 HP	\$ 308,509.00	
<b>Subtotal</b>				<b>\$ 529,509.00</b>
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 968,765.00</b>

**Tabla 4.10. Inversión por base polimérica utilizada en el proceso de conversión de las plumas**

Material	Cantidad [kg]	Costo
Polipropileno (PP)	183.81	\$ 222.88
Polietileno de alta densidad (HDPE)	195.63	\$ 6,729.62
Copolímero etil vinil acetato (EVA)	190.94	\$ 3,518.29

Ya que se tienen tres diferentes bases se pueden analizar tres propuestas, para saber que opción es mejor que otra se estimara el valor presente neto, la tasa interna de retorno y la relación beneficio costo de cada una. Las ecuaciones utilizadas se muestran a continuación:

$$\text{Flujo de efectivo} = \text{Ingreso} - \text{Egreso} \quad \text{Ecuación 4.3}$$

$$\text{Valor presente} = \frac{\text{Flujo de efectivo}}{(1+\text{Interés})^{\text{Periodo}}} \quad \text{Ecuación 4.4}$$

$$\text{VPFA} = \sum_{\text{Periodo } 1}^{\text{Periodo } 12} \text{Flujo de efectivo} \quad \text{Ecuación 4.5}$$

VPFA: Valor presente de la suma de flujos actualizados

$$\text{Valor presente neto} = \text{VPFA} - \text{Inversión} \quad \text{Ecuación 4.6}$$

$$\frac{\text{Beneficio}}{\text{Costo}} = \frac{\text{Valor presente neto}}{\text{Inversión}} \quad \text{Ecuación 4.7}$$

La tasa interna de retorno se calcula con una formula proporcionada por excel: =TIR.(valores, estimar). De donde se utiliza solamente “valores”, que consta de una serie de número, en este caso el Flujo de efectivo desde el periodo 0 hasta el periodo 12. Finalmente, en la Tabla 4.11 se muestra concretamente la propuesta 1, en la Tabla 4.12 la propuesta 2 y el Tabla 4.13. la propuesta 3.

- Propuesta 1. Plumas y polipropileno, requiere una inversión de \$ 968,765.00 y si cada pieza se vende en \$150, se tiene un valor presente neto de \$2,505,318.72, una tasa interna de retorno del 18% y una relación beneficio/costo de 1.59.
- Propuesta 2. Plumas y polietileno alta densidad, requieren una inversión inicial de \$ 968,765.00, si cada pieza se vende en \$150, se tiene un valor presente neto de \$2,309,177.51, una tasa interna de retorno del 15% y una relación beneficio/costo de 1.38.
- Propuesta 3. Plumas y EVA, requieren una inversión inicial de \$ 968,765.00, si cada pieza se vende en \$150, se tiene un valor presente neto de \$2,405,980.85, una tasa interna de retorno del 17% y una relación beneficio/costo de 1.48.

Tabla 4.11. Propuesta 1. Plumas y polipropileno				
<b>Inversión</b>	\$ 968,765.00		<b>Costo placa</b>	\$ 150
<b>Tasa</b>	8%		<b># de placas</b>	9,895.64
<b>Periodo</b>	<b>Ingreso</b>	<b>Egreso</b>	<b>Flujo de efectivo neto</b>	<b>Valor presente</b>
<b>0</b>			-\$ 968,765.00	-\$ 968,765.00
<b>1</b>	\$ 1,484,346.18	\$ 1,280,453.16	\$ 203,893.02	\$ 188,789.83
<b>2</b>	\$ 1,484,346.18	\$ 1,280,453.16	\$ 203,893.02	\$ 174,805.40
<b>3</b>	\$ 1,484,346.18	\$ 1,280,453.16	\$ 203,893.02	\$ 161,856.85
<b>4</b>	\$ 1,484,346.18	\$ 1,280,453.16	\$ 203,893.02	\$ 149,867.46
<b>5</b>	\$ 1,484,346.18	\$ 1,280,453.16	\$ 203,893.02	\$ 138,766.16
<b>6</b>	\$ 1,484,346.18	\$ 1,280,453.16	\$ 203,893.02	\$ 128,487.19
<b>7</b>	\$ 1,484,346.18	\$ 1,280,453.16	\$ 203,893.02	\$ 118,969.62
<b>8</b>	\$ 1,484,346.18	\$ 1,280,453.16	\$ 203,893.02	\$ 110,157.06
<b>9</b>	\$ 1,484,346.18	\$ 1,280,453.16	\$ 203,893.02	\$ 101,997.27
<b>10</b>	\$ 1,484,346.18	\$ 1,280,453.16	\$ 203,893.02	\$ 94,441.92
<b>11</b>	\$ 1,484,346.18	\$ 1,280,453.16	\$ 203,893.02	\$ 87,446.22
<b>12</b>	\$ 1,484,346.18	\$ 1,280,453.16	\$ 203,893.02	\$ 80,968.72
<b>Valor presente de la suma de flujos actualizados</b>				<b>\$ 1,536,553.72</b>
<b>Valor presente neto</b>				<b>\$ 2,505,318.72</b>
<b>Tasa interna de retorno</b>				<b>18%</b>
<b>Beneficio/Costo</b>				<b>1.59</b>

Tabla 4.12. Propuesta 2. Plumas y polietileno de alta densidad				
<b>Inversión</b>	\$ 968,765.00		<b>Costo placa</b>	\$ 150
<b>Tasa</b>	8%		<b># de placas</b>	9,895.64
<b>Periodo</b>	<b>Ingreso</b>	<b>Egreso</b>	<b>Flujo de efectivo neto</b>	<b>Valor presente</b>
<b>0</b>			-\$ 968,765.00	-\$ 968,765.00
<b>1</b>	\$ 1,484,346.18	\$ 1,306,480.12	\$ 177,866.06	\$ 164,690.80
<b>2</b>	\$ 1,484,346.18	\$ 1,306,480.12	\$ 177,866.06	\$ 152,491.48
<b>3</b>	\$ 1,484,346.18	\$ 1,306,480.12	\$ 177,866.06	\$ 141,195.81
<b>4</b>	\$ 1,484,346.18	\$ 1,306,480.12	\$ 177,866.06	\$ 130,736.86
<b>5</b>	\$ 1,484,346.18	\$ 1,306,480.12	\$ 177,866.06	\$ 121,052.65
<b>6</b>	\$ 1,484,346.18	\$ 1,306,480.12	\$ 177,866.06	\$ 112,085.79
<b>7</b>	\$ 1,484,346.18	\$ 1,306,480.12	\$ 177,866.06	\$ 103,783.14
<b>8</b>	\$ 1,484,346.18	\$ 1,306,480.12	\$ 177,866.06	\$ 96,095.50
<b>9</b>	\$ 1,484,346.18	\$ 1,306,480.12	\$ 177,866.06	\$ 88,977.31
<b>10</b>	\$ 1,484,346.18	\$ 1,306,480.12	\$ 177,866.06	\$ 82,386.40
<b>11</b>	\$ 1,484,346.18	\$ 1,306,480.12	\$ 177,866.06	\$ 76,283.70
<b>12</b>	\$ 1,484,346.18	\$ 1,306,480.12	\$ 177,866.06	\$ 70,633.06
<b>Valor presente de la suma de flujos actualizados</b>				<b>\$ 1,340,412.51</b>
<b>Valor presente neto</b>				<b>\$ 2,309,177.51</b>
<b>Tasa interna de retorno</b>				<b>15%</b>
<b>Beneficio/Costo</b>				<b>1.38</b>

Tabla 4.13. Propuesta 3. Plumas y EVA				
<b>Inversión</b>	\$ 968,765.00		<b>Costo placa</b>	\$ 150
<b>Tasa</b>	8%		<b># de placas</b>	9,895.64
<b>Periodo</b>	<b>Ingreso</b>	<b>Egreso</b>	<b>Flujo de efectivo neto</b>	<b>Valor presente</b>
<b>0</b>			-\$ 968,765.00	-\$ 968,765.00
<b>1</b>	\$ 1,484,346.18	\$ 1,293,634.80	\$ 190,711.38	\$ 176,584.61
<b>2</b>	\$ 1,484,346.18	\$ 1,293,634.80	\$ 190,711.38	\$ 163,504.27
<b>3</b>	\$ 1,484,346.18	\$ 1,293,634.80	\$ 190,711.38	\$ 151,392.84
<b>4</b>	\$ 1,484,346.18	\$ 1,293,634.80	\$ 190,711.38	\$ 140,178.56
<b>5</b>	\$ 1,484,346.18	\$ 1,293,634.80	\$ 190,711.38	\$ 129,794.96
<b>6</b>	\$ 1,484,346.18	\$ 1,293,634.80	\$ 190,711.38	\$ 120,180.52
<b>7</b>	\$ 1,484,346.18	\$ 1,293,634.80	\$ 190,711.38	\$ 111,278.26
<b>8</b>	\$ 1,484,346.18	\$ 1,293,634.80	\$ 190,711.38	\$ 103,035.43
<b>9</b>	\$ 1,484,346.18	\$ 1,293,634.80	\$ 190,711.38	\$ 95,403.17
<b>10</b>	\$ 1,484,346.18	\$ 1,293,634.80	\$ 190,711.38	\$ 88,336.27
<b>11</b>	\$ 1,484,346.18	\$ 1,293,634.80	\$ 190,711.38	\$ 81,792.84
<b>12</b>	\$ 1,484,346.18	\$ 1,293,634.80	\$ 190,711.38	\$ 75,734.11
<b>Valor presente de la suma de flujos actualizados</b>				<b>\$ 1,437,215.85</b>
<b>Valor presente neto</b>				<b>\$ 2,405,980.85</b>
<b>Tasa interna de retorno</b>				<b>17%</b>
<b>Beneficio/Costo</b>				<b>1.48</b>

En las últimas cifras no se toma en cuenta el gasto por electricidad, ya que el centro no paga electricidad. Sin embargo, si este proceso se llevara a cabo en una empresa tendrían que calcularse. De acuerdo con el número de equipos, su potencia y el número de horas de uso, es posible determinar que el proceso puede llevarse a cabo con una tarifa Gran Demandad Baja Tensión Horaria ya que la energía supera los 25 kWh al mes, como lo muestra la Tabla 4.14.

Tabla 4.14. Energía eléctrica consumida por semana con la propuesta del proceso de conversión				
Equipos	Número de equipos	Potencia (kW)	Tiempo de uso (h)	Energía usada (kWh)
<b>Bomba</b>	3	2.24	0.08	0.5376
<b>Agitador</b>	1	2200	0.5	1100
<b>Triturador</b>	1	2.24	0.83	1.8592
<b>Mezclador</b>	1	1.49	0.17	0.2533
<b>Prensa</b>	1	2.98	7920	23601.6
<b>Horno</b>	1	0.85	4	3.4
<b>Total</b>	<b>7</b>	<b>2,209.80</b>	<b>7,925.58</b>	<b>24,707.65</b>

El cálculo del gasto de energía eléctrica se hizo a partir de un levantamiento energético, considerando los equipos que aparecen en la Tabla 4.14. Para estimar

la cantidad que se debería pagar mes con mes, se eligió la tarifa GDBT y se utilizó la dirección del CEIEPAv para determinar el costo de la energía a través del portal oficial de CFE. Ya que la zona pertenece a la División Valle de México Sur el cargo fijo correspondiente es de 586.59 \$/mes, energía 2.022 \$/kWh, distribución 329.92 \$/kW y 272.36 \$/kW, en la Tabla 4.15 se resume la tarifa GDBT.

El gasto mensual por energía eléctrica sería de \$ \$1,381,463.80 y para que el proceso sea rentable las piezas finales deben venderse cada una como mínimo en \$290. Para calcular el valor presente neto y el índice Beneficio/costo se utilizan las ecuaciones 4.6 y 4.7. La Tabla 4.16. muestra la propuesta 1, la Tabla 4.17 la propuesta 2 y la Tabla 4.18 la propuesta 3.

Tabla 4.15. Tarifa GDBT en la División Valle de México Sur (elaborado a partir de Mendoza, 2022)			
<b>Fijo</b>	586.59	\$/mes	
<b>Energía</b>	2.022	\$/kWh	
<b>Distribución</b>	329.92	\$/kW	
<b>Capacidad</b>	272.36	\$/kW	

Tabla 4.16. Propuesta 1 considerando gasto por electricidad				
<b>Inversión</b>	\$ 968,765.00		<b>Costo placa</b>	\$ 290
<b>Tasa</b>	8%		<b># de placas</b>	9,895.64
<b>Periodo</b>	<b>Ingreso</b>	<b>Egreso</b>	<b>Flujo de efectivo neto</b>	<b>Valor presente</b>
<b>0</b>			-\$968,765.00	-\$968,765.00
<b>1</b>	\$2,869,735.95	\$2,661,916.96	\$207,818.99	\$192,424.99
<b>2</b>	\$2,869,735.95	\$2,661,916.96	\$207,818.99	\$178,171.29
<b>3</b>	\$2,869,735.95	\$2,661,916.96	\$207,818.99	\$164,973.41
<b>4</b>	\$2,869,735.95	\$2,661,916.96	\$207,818.99	\$152,753.16
<b>5</b>	\$2,869,735.95	\$2,661,916.96	\$207,818.99	\$141,438.11
<b>6</b>	\$2,869,735.95	\$2,661,916.96	\$207,818.99	\$130,961.21
<b>7</b>	\$2,869,735.95	\$2,661,916.96	\$207,818.99	\$121,260.38
<b>8</b>	\$2,869,735.95	\$2,661,916.96	\$207,818.99	\$112,278.13
<b>9</b>	\$2,869,735.95	\$2,661,916.96	\$207,818.99	\$103,961.23
<b>10</b>	\$2,869,735.95	\$2,661,916.96	\$207,818.99	\$96,260.40
<b>11</b>	\$2,869,735.95	\$2,661,916.96	\$207,818.99	\$89,130.00
<b>12</b>	\$2,869,735.95	\$2,661,916.96	\$207,818.99	\$82,527.78
<b>Valor presente de la suma de flujos actualizados</b>				<b>\$1,566,140.11</b>
<b>Valor presente neto</b>				<b>\$2,534,905.11</b>
<b>Tasa interna de retorno</b>				<b>19%</b>
<b>Beneficio/Costo</b>				<b>1.62</b>

Tabla 4.17. Propuesta 2 considerando gasto por electricidad				
<b>Inversión</b>	\$ 968,765.00		<b>Costo placa</b>	\$ 290
<b>Tasa</b>	8%		<b># de placas</b>	9,895.64
<b>Periodo</b>	<b>Ingreso</b>	<b>Egreso</b>	<b>Flujo de efectivo neto</b>	<b>Valor presente</b>
<b>0</b>			-\$968,765.00	-\$968,765.00
<b>1</b>	\$2,869,735.95	\$2,687,943.92	\$181,792.03	\$168,325.95
<b>2</b>	\$2,869,735.95	\$2,687,943.92	\$181,792.03	\$155,857.36
<b>3</b>	\$2,869,735.95	\$2,687,943.92	\$181,792.03	\$144,312.37
<b>4</b>	\$2,869,735.95	\$2,687,943.92	\$181,792.03	\$133,622.57
<b>5</b>	\$2,869,735.95	\$2,687,943.92	\$181,792.03	\$123,724.60
<b>6</b>	\$2,869,735.95	\$2,687,943.92	\$181,792.03	\$114,559.81
<b>7</b>	\$2,869,735.95	\$2,687,943.92	\$181,792.03	\$106,073.90
<b>8</b>	\$2,869,735.95	\$2,687,943.92	\$181,792.03	\$98,216.58
<b>9</b>	\$2,869,735.95	\$2,687,943.92	\$181,792.03	\$90,941.27
<b>10</b>	\$2,869,735.95	\$2,687,943.92	\$181,792.03	\$84,204.88
<b>11</b>	\$2,869,735.95	\$2,687,943.92	\$181,792.03	\$77,967.48
<b>12</b>	\$2,869,735.95	\$2,687,943.92	\$181,792.03	\$72,192.12
<b>Valor presente de la suma de flujos actualizados</b>				<b>\$1,369,998.91</b>
<b>Valor presente neto</b>				<b>\$2,338,763.91</b>
<b>Tasa interna de retorno</b>				<b>15%</b>
<b>Beneficio/Costo</b>				<b>1.41</b>

Tabla 4.18. Propuesta 3 considerando gasto por electricidad				
<b>Inversión</b>	\$ 968,765.00		<b>Costo placa</b>	\$ 290.00
<b>Tasa</b>	8%		<b># de placas</b>	9,895.64
<b>Periodo</b>	<b>Ingreso</b>	<b>Egreso</b>	<b>Flujo de efectivo neto</b>	<b>Valor presente</b>
<b>0</b>			-\$968,765.00	-\$968,765.00
<b>1</b>	\$2,869,735.95	\$2,675,098.60	\$194,637.35	\$180,219.77
<b>2</b>	\$2,869,735.95	\$2,675,098.60	\$194,637.35	\$166,870.15
<b>3</b>	\$2,869,735.95	\$2,675,098.60	\$194,637.35	\$154,509.40
<b>4</b>	\$2,869,735.95	\$2,675,098.60	\$194,637.35	\$143,064.26
<b>5</b>	\$2,869,735.95	\$2,675,098.60	\$194,637.35	\$132,466.91
<b>6</b>	\$2,869,735.95	\$2,675,098.60	\$194,637.35	\$122,654.54
<b>7</b>	\$2,869,735.95	\$2,675,098.60	\$194,637.35	\$113,569.02
<b>8</b>	\$2,869,735.95	\$2,675,098.60	\$194,637.35	\$105,156.50
<b>9</b>	\$2,869,735.95	\$2,675,098.60	\$194,637.35	\$97,367.13
<b>10</b>	\$2,869,735.95	\$2,675,098.60	\$194,637.35	\$90,154.75
<b>11</b>	\$2,869,735.95	\$2,675,098.60	\$194,637.35	\$83,476.62
<b>12</b>	\$2,869,735.95	\$2,675,098.60	\$194,637.35	\$77,293.17
<b>Valor presente de la suma de flujos actualizados</b>				<b>\$1,466,802.24</b>
<b>Valor presente neto</b>				<b>\$2,435,567.24</b>
<b>Tasa interna de retorno</b>				<b>0.17</b>
<b>Beneficio/Costo</b>				<b>1.51</b>

- La propuesta 1 tiene un valor presente neto de \$2,534,905.11, una tasa interna de retorno del 19% y una relación beneficio/costo de 1.62
- La propuesta 2 tiene un valor presente neto de \$2,338,763.91, una tasa interna de retorno del 15% y una relación beneficio/costo de 1.41
- La propuesta 3 tiene un valor presente neto de \$2,435,567.24, una tasa interna de retorno del 17% y una relación beneficio/costo de 1.51

Así entonces, la mejor opción en cuanto a base polimérica resulta ser la propuesta 1 ya que, tiene el mayor valor presente neto, la más alta tasa interna de retorno y una relación costo beneficio superior al resto. Es claro que pagar energía eléctrica elevó en gran medida el costo final de venta de la placa, pasando de \$150 a \$290. Finalmente, en la Tabla 4.19. puede verse el resumen de la factibilidad económica, tanto del caso supuesto en el CEIEPAv y del caso supuesto como una pequeña empresa.

**Tabla. 4.19. Factibilidad económica de las diferentes combinaciones de plumas y bases poliméricas**

<b>Ubicación del proceso</b>	<b>Materiales de la mezcla</b>	<b>Inversión inicial (\$)</b>	<b>Precio de venta (\$)</b>	<b>Valor Presente Neto</b>	<b>Tasa Interna de retorno (%)</b>	<b>Beneficio/Costo</b>
<b>Propuestas DENTRO del CEIEPAv</b>	Plumas y polipropileno	968,765.00	150	\$2,505,318.72	18	1.59
	Plumas y polietileno de alta densidad	968,765.00	150	\$2,309,177.51	15	1.38
	Plumas y EVA	968,765.00	150	\$2,405,980.85	17	1.48
<b>Propuestas FUERA del CEIEPAv</b>	Plumas y polipropileno	968,765.00	290	\$2,534,905.11	19	1.62
	Plumas y polietileno de alta densidad	968,765.00	290	\$2,338,763.91	15	1.41
	Plumas y EVA	968,765.00	290	\$2,435,567.24	17	1.51

#### 4.6. Comparativo con otras tecnologías

Uno de los principales termoplásticos utilizados actualmente para fabricar el aislamiento mecánico en computadoras es el policarbonato, quien toma su nombre por los grupos carbonatos en su cadena principal. También es conocido como policarbonato de Bisfenol A porque se elabora a partir del Bisfenol A y fosgeno. Los policarbonatos pueden ser moldeado en caliente, son trabajados, moldeados y termo reformados fácilmente. Es un material termorrígido; es decir, no se funde y no puede moldearse nuevamente (USM, 1996).

Con el paso de tiempo el mundo se ha dado cuenta que el uso excesivo de plástico, en especial los termorrígidos (como el policarbonato) y los micro plásticos pueden afectar a la humanidad a largo plazo y de manera grave, así que se han buscado materiales y métodos que puedan sustituir al plástico. Se pueden ocupar almidones, cereales, fibras de caña de azúcar, salvado de trigo, maguey, cáñamo y raíces; sin embargo, estos materiales están dirigidos al reemplazo de bolsas de plásticos, botellas, envases y embalaje en general. Los materiales que pueden sustituir a plásticos más rígidos aún se encuentran en proceso de investigación (Juárez, 2019).

Por ejemplo, la investigación realizada por Olivares y col. (2017) obtiene fibras de queratina a partir del proceso de curtido del cuero, específicamente de pelo de res para obtener un material aislante. Los resultados de combinar la queratina con una base de almidón fueron beneficiosos, ya que se obtienen materiales rígidos, pero con mejor deformación. Los resultados de la investigación indican que la biofibra de queratina presenta cierta compatibilidad con la matriz polimérica (almidón), debido posiblemente al carácter hidrófobo de la biofibra.

Por otro lado, Calderón y col. (2019) realizaron una investigación sobre la fabricación de un material biodegradable a base de polímeros termoplásticos combinados con fibras cortas de lino. La fabricación del material final tuvo varios procesos: extrusión (combina la matriz polimérica con las fibras de lino), peletizado (fragmentación del filamento en una máquina trituradora) y elaboración de placas (se inyectan los fragmentos cortados y se elevada la temperatura hasta que se fusionen). Los resultados de la investigación arrojaron que es necesario reducir aún más el tamaño de las fibras de lino para que se integren mejor a las bases poliméricas y se debe mantener constante la temperatura de fusión al unir la matriz y las fibras.

El material final que involucra a las plumas de pollo es similar al que se obtiene con el pelo de res (lo que resulta evidente dado que ambos tienen queratina en la mayoría de su composición). En general, la adición de plumas, pelo o fibras de lino a una base polimérica da como resultado un material rígido y proporciona un

comportamiento más frágil, lo que es bueno dado que su degradación en el ambiente requiere de menos tiempo. Los procesos de tratamiento y obtención son similares y los escenarios planteados por los diferentes autores son optimistas, pero en ninguno de los casos se escribe acerca de producción a gran escala, lo que hace difícil saber la factibilidad de cada uno.

Es bien sabido que los plásticos constituyen un problema hoy en día, por tal motivo hay que disminuir su uso y ya que eso no es fácil, una opción es combinar polímeros con materiales orgánicos que trabajen bien juntos y no causen muchos problemas al ser desechados, uno de esos materiales son las plumas de pollo.

Considerando las investigaciones sobre materiales orgánicos como las plumas de pollo, el pelo de res y las fibras de lino, se elabora la Tabla 4.17. en la que se muestra la cantidad de materia prima, la tecnología empleada en cada proceso y la factibilidad de los proyectos. Sin embargo, ya que los temas aún se encuentran en proceso de investigación es muy complicado saber cuál es su verdadera factibilidad.

**Tabla 4.20. Comparativo entre tecnología (elaboración a partir de UNA, 2021; Mejía, 2008; INECC, 2008; y Olivares y col. 2017)**

<b>Proyecto/ Investigación</b>	<b>Cantidad y tipo de residuos</b>	<b>Tecnologías empleadas</b>	<b>Factibilidad</b>
Presente trabajo - CEIEPAv	7.57 kg plumas/ día	Reactor de 6 m <sup>3</sup> . El proceso de limpieza inicial requiere de una agitadora idónea para mover de 4 a 15 m <sup>3</sup> , los materiales se combinan con una mezcladora capaz de revolver 30 kg/min, se utiliza una trituradora de 3 HP, un honro de industrial y una prensa hidráulica de 100 kN. Además de la base polimérica, tensoactivo, bombas y agua.	Se pueden generar diariamente 353.42 placas aislantes. Con una inversión de \$968,765.00 y ahorro 41.42 miles de ton CO <sub>2</sub> /año.
Olivares y col, 2017 - México	4500 kg pelos de res/ día	Se utiliza un extrusor de doble husillo, funcionando a una velocidad de 120 rpm, el biopolímero se seca por medio de un secador de vacío a una presión de 0.5516 MPa a 105 <sup>o</sup> C. El biopolímero, la biofibra y los aditivos retardantes a la flama se agregan en el extrusor.	Se pueden generar diariamente 42,285 placas aislantes. Con una inversión aproximada de \$4,644,441.33 y ahorro 67.50 miles de ton CO <sub>2</sub> /año.
Calderón y col, 2019 - China	106,027.40 kg lino/ día	Se utiliza una extrusora de doble tornillo para termoplásticos, una trituradora y un mecanismo de inyección NISSEI Además de ácido poli láctico (PLA), termoplástico a base de almidón.	Se pueden generar diariamente 1,746,968.78 placas aislantes. Con una inversión de \$742,153,994.08 y ahorro 1,590.41 miles de ton CO <sub>2</sub> /año.

## Capítulo 5. Conclusiones

Se ha demostrado que el uso de plumas de pollo para crear un material aislante es posible y beneficioso. Gracias a un estudio microscópico de las plumas ha sido posible determinar su potencial uso como aislante, ya que se encontraron huecos llenos de aire, con una estructura similar a la de un panal, pero no tan bien organizada. El proceso de tratamiento es sencillo, las plumas son lavadas, secadas, trituradas, precalentadas, mezcladas con una base polimérica y finalmente moldeadas, lo que hace peculiar al proceso es el tamaño de los recipientes, ya que se necesitan de grandes dimensiones para lavar adecuadamente y filtrar.

El CEIEPAv, caso de estudio analizado, posee un potencial variable; sin embargo, se realizó un promedio con el cual se determinó la producción del material final. Evaluando alrededor de 6.45 ton anuales de plumas pueden producirse 184,274.54 placas de material con un volumen de  $93.6 \text{ cm}^3$ , claro que con un volumen diferente el número de piezas cambia. Llevar a cabo el proceso dentro del CEIEPAv es posible con una inversión \$ 968,765.00, con dicha inversión se tendría una tasa interna de retorno del 18%, un valor presente neto de \$2,505,318.72 y un índice de beneficio/costo de 1.59, todos valores económicos favorables.

Si el proceso se llevara a cabo en un lugar fuera del CEIEPAv, por ejemplo, en una pequeña empresa, se necesitaría una inversión inicial de \$ 968,765.00 y, si cada placa se vendiera en \$310 se tendría una tasa interna de retorno promedio del 19%, un valor presente neto de \$2,534,905.11 y un índice beneficio/costo de 1.62, donde se puede observar de nueva cuenta que los valores son económicamente positivos, pero el costo de la placa se eleva bastante. De esta manera resulta evidente que incluso si el proceso se llevara a cabo fuera del CEIEPAv (donde la electricidad esta subsidiada), sería rentable.

Sin embargo, al año 2021 el mundo generó 50 millones de toneladas de basura electrónica, si se quisieran ocupar todas las plumas que actualmente son un residuo para generar materiales aislantes y sustituir al plástico de esa basura electrónica, el CEIEPAv solo podría cubrir 0.00017% del plástico ocupado, México el 0.0058% y el mundo 0.16%, lo que equivale a no emitir 83.4, 2,774.4 y 76,899.6 ton  $\text{CO}_2$  respectivamente. El impacto del uso de plumas a pequeña escala no es significativo, solo comienza a tener sentido cuando se habla de grandes volúmenes.

## Referencias bibliográficas

1. Al-Asheh S. y Banat F. y Al-Rousan D. 2003. Beneficial of chicken feathers in removal of heavy metals from wastewater. ***Journal of Cleaner Production***. 11(3):321-326.
2. Bachoco, 2016. Presentación corporativa. Publicada por Bachoco. Ciudad de México, México.
3. Barrera, G. y Manobanda, M. Estudio del potencial energético de residuos procedentes de la industria avícola a partir de digestión anaerobia. Facultad de ingeniería civil y ambiental, Escuela Politécnica Nacional de Quito. Quito, Ecuador.
4. Blanco, S. y Rodriguez, T. Producción de biohidrógeno a partir de residuos mediante fermentación oscura: una revisión crítica. ***Ingeniare. Rev. chil. ing.*** 20(3): 398-411.
5. Calderon, E., Ortega, A. y Torres, L. 2017. Fabricación de material biodegradable a base de polímeros termoplásticos combinados con fibras cortas de lino. ***FIGEMPA: Investigación y Desarrollo***. 1(1)
6. Casas, S. y Guerra, L.2020. La gallinaza, efecto en el medio ambiente y posibilidades de reutilización. ***Revista de Producción Animal***. 32(3): 87-102.
7. Cassia, A., Morales, P. y Andrade, R. 2006. El crecimiento de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos fuera de uso: el impacto ambiental que representan. ***AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica***. 1(1).
8. Castañeda, P. 2021. Entrevista virtual con la directora del Centro CEIEPAV. Facultad de medicina Veterinaria y Zootecnia, UNAM. Zapotitla, Tláhuac, Ciudad de México, México.
9. CEDRSSA, 2019. La importancia de la industria avícola en México. Reporte. Publicación del Centro de Estudios para el desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria. México, Ciudad de México. México.
10. CEO, 2021. México, el undécimo país en el mundo y es segundo en América Latina en generar más basura electrónica. Publicado por CEO. Ciudad de México, México.
11. CIEL, 2020. El plástico y la salud. Los costos ocultos de un planeta plástico. Publicado por Center of International Environmental Law. DC, Estados Unidos.
12. Escobedo, 2021. Introducción al ahorro y a la gestión energética. Notas de curso. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, Ciudad de México. México.
13. Estrada, E. 2020. ¿Por qué el plástico tarda tanto tiempo en degradarse? Publicado por Periódico El Financiero. (23 enero 2020). Ciudad de México, México.
14. FAO, 2022. Producción y productos avícolas. Publication de Food and Agriculture Organization. Roma, Italia.

15. FIRA, 2019. Panorama Agroalimentario. Publicado por Fidecomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. Ciudad de México, México.
16. Florida, N. 2019. Plumas: Implicancia ambiental y uso en la industria agropecuaria. **Altoandin**. 21(3):225-237.
17. FMVZ, 2016a. Descripción general. Publicación de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión de Producción Avícola, Universidad Nacional Autónoma de México. Zapotitla, Tláhuac, Ciudad de México, México.
18. FMVZ, 2016b. Producción de pollo de engorda. Publicación de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión de Producción Avícola, Universidad Nacional Autónoma de México. Zapotitla, Tláhuac, Ciudad de México, México.
19. Forbes. 2020. Basura electrónica, un enorme desafío que no cesa: ONU. Publicado por Forbes. México, Ciudad de Mexico.
20. FormLabs, 2021. Guía de procesos de fabricación para plásticos. Publicado por FormLabs. Ciudad de México, México.
21. Fundación UNAM, 2019. La UNAM y su centro de los huevos de oro. Publicación de Fundación Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México.
22. GC, 2008. Ley ganadera, apícola y avícola del Estado de Campeche. Publicación del Gobierno de Campeche. Campeche, México.
23. González, A. 2018. Polímeros sintéticos. Publicado por Lifeder. Ciudad de México, México.
24. Gutiérrez, C. 2001. Calidad, obtención y procesado de la carne de pollo. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Agrónoma Zootecnista. División de Ciencia Animal, Universidad Autónoma Agraria "Antonio Navarro". Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
25. INECC, 2007. La tradición artesanal en la elaboración de productos de piel. Publicado por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Ciudad de México, México.
26. Inboplast, 2020. El plástico es materia prima en las computadoras. Publicado por Inboplast. Ciudad de México, México.
27. IPprofesional, 2008. En el mundo hay más de 1000 millones de computadoras. Publicado por IPprofesional. Ciudad de México, México.
28. Juárez, C. 2019. Materiales biodegradables pueden sustituir al plástico. Publicado por The food teach. Ciudad de México, México.
29. Lara, G. 2007. Sociedad de consumo y cultura consumista. **Argumentos (Méx.)** 20(55): 211-216.
30. Miguel, J. 2022. Entrevista virtual con el director del Centro CEIEPAv. Facultad de medicina Veterinaria y Zootecnia, UNAM. Zapotitla, Tláhuac, Ciudad de México, México.

31. Mendoza, J. 2022. Notificación del Acuerdo A/002/2022 de la Comisión Reguladora de Energía. Publicado por la Comisión Reguladora de Energía. Ciudad de México, México.
32. Mejía, R. 2008. proposición con punto de acuerdo que suscribe el senador Raúl Mejía González para explorar la posibilidad de introducir el cultivo del lino como insumo para la industria textil y otros usos. Publicado por la Gaceta del Senado de la Republica. Ciudad de México, México.
33. Navarro, A. y Benítez, H. 1995. El dominio del aire. Editado por el Fondo de Cultura Económica. México, D.F. México.
34. Neri, L. 2013. Estudio del efecto de fibras de politereftalato de etileno (PET) reciclado como agentes de refuerzo en una matriz de polietileno de alta densidad (HDPE). Tesis de Licenciatura de Ingeniería Química. Facultad de Estudios Superiores "Zaragoza" de la Universidad Nacional Autónoma de México. Iztapalapa, Ciudad de México, México.
35. NG, 2022. Los peligros de la basura electrónica. Publicado por National Geographic. España.
36. MNAVDT, 2010. Lineamientos técnicos para el manejo de residuos de aparatos eléctricos electrónicos. Publicado por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Bogotá, Colombia.
37. Olivares, G., Torres, L., Solís, A., Morales, R., González, V. y Manero, O. 2017. Efecto de la biofibra de queratina en las propiedades de un biopolímero termoplástico: Estudio preliminar. **Ingeniería, investigación y tecnología.** 18(4):369-378.
38. Ortiz, L. 2019. 10 cifras de la ONU para mostrar el daño que los plásticos le hacen al planeta. Publicado por Expansión. Ciudad de México, México.
39. Palomino, L., Vega, R., Lara, C., Gomero, L. y García, S. 2019. Evaluación de 5 residuos avícolas como fuentes de nitrógeno mineral disponible. **IDESIA.** 37(3):121-129.
40. Pastor F., Alzamora A., Mendoza G., Monteza D. y Rosales R. 2018. Diseño del proceso productivo de harina a base de plumas de pollo en la empresa distribuidora avícola El Galpon E.I.R.L. Publicación de la Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Piura, Perú.
41. PT, 2016. Origen del plástico. Publicado por Polimer Tecnic. Girona, España.
42. Rahhali, A. 2015. Valorización de residuos queratínicos para la obtención de materiales biocompuestos. Tesis de Doctorado de Ingeniería Química. Departamento de Ingeniería química de la Universidad Politécnica de Catalunya. Terrassa, España.
43. RTE, 2014. Materiales aislantes para conductores eléctricos. Publicado por RTE. Nuevo León, México.
44. SAGARPA. 1994a. Proceso sanitario de la carne. (NOM-009-ZOO-1994). Publicación de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Ciudad de México, México.

45. SAGARPA. 1994b. Especificaciones zoosanitarias para la construcción y equipamiento de establecimientos para el sacrificio de animales y los dedicados a la industrialización de productos cárnicos. (NOM-008-ZOO-1994). Publicación de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Ciudad de México, México.
46. Saldaña, E. 2012. Muda forzada en Gallinas Productoras de Huevo para Plato (Pelecha). Publicación de Ergonomix dentro de artículos técnicos de avicultura. Ciudad de México, México.
47. Santillán, L. 2018. Una vida de plástico. Publicado por Ciencia UNAM. Ciudad de México, México.
48. SCFI. 2004. Alimentos para animales. Harina de subproductos avícolas. Especificaciones de calidad. (NMX-Y-022-SCFI-2004). Publicación de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Ciudad de México, México.
49. SCFI. 2016a. Productos avícolas. Huevo fresco de gallina. Especificaciones y métodos de prueba. (NMX-FF-127-SCFI-2016). Publicación de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Ciudad de México, México.
50. SCFI. 2016b. Productos avícolas. Carne de pollo de engorda en canal y en piezas. Clasificación. (NMX-FF-128-SCFI-2016). Publicación de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Ciudad de México, México.
51. SCFI, 2018. Aparatos electrónicos. Requisitos de seguridad y métodos de prueba. (NOM-001-SCFI-2018). Publicación de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Ciudad de México, México.
52. SEDE, 2018. Instalaciones eléctricas (utilización). (NOM-001-SEDE-2018). Publicación de la Secretaría de Energía. Ciudad de México, México.
53. SENASICA, 2020. Listado de rastros y/o centros de matanza en los que se realiza vigilancia o seguimiento operativo por parte de las entidades federativas año 2020. Publicación del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. Ciudad de México, México.
54. SOLLA S.A. 2015. Plan de muda forzada o replume en gallinas de postura. Huevo comercial. Publicación del grupo SOLLA. Santa Cruz, Bolivia.
55. Tesfaye, T., Sithole, B., Ramjugernath, D. y Mokthothu, T. 2017a. Valorisation of chicken feathers: a review on recycling and recovery route current status and future prospects. **Clean Technologies and Environmental Policy**. 19(10):2363-2378.
56. Tesfaye, T., Sithole, B., Ramjugernath, D. y Chunilall, V. 2017b. Valorisation of chicken feathers: Application in paper production. **Journal of Cleaner Production**. 164:1324-1331.
57. Tesfaye, T., Sithole, B., Ramjugernath, D. y Mokthothu, T. 2018. Valorisation of chicken feathers: Characterisation of thermal, mechanical and electrical properties. **Sustainable Chemistry and Pharmacy**. 9:27-34
58. UNA, 2021. Situación de la Agricultura Mexicana. Publicado por la Unión Nacional de Avicultores. Ciudad de México, México.

59. UNISALIA, 2012. ¿Qué es un aislante en electrónica? Para qué se usa. Publicado por UNISALIA. Ciudad de México, México.
60. USM, 1996. Policarbonatos. Publicado por la Universidad del Sur de Misisipi, EE. UU.
61. Valdés A., López E. y Alonso, A. 2019. Gestión de residuos industriales y sostenibilidad. Necesidad de un enfoque de economía ecológica. ***Universidad y sociedad***. 11(4):424-435.