



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Estudio de factibilidad técnica, económica  
y ambiental del aprovechamiento de  
escamas de pescado para su conversión en  
una película biodegradable y un  
dispositivo electroluminiscente**

**TESINA**

Que para obtener el título de

**Ingeniero Eléctrico Electrónico**

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

David Rico Altamirano

**DIRECTOR(A) DE TESINA**

Dra. Alejandra Castro González



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2022

## **JURADO ASIGNADO**

**PRESIDENTE:** M.I. Rigel Gámez Leal

**VOCAL:** Dra. Manuela Azucena Escobedo Izquierdo  
(En representación de la Dra. Alejandra  
Castro González por período sabático)

**SECRETARIO:** Dr. Javier Noé Ávila Cedillo

**1er. SUPLENTE:** M.I. Héctor Mora García

**2do. SUPLENTE:** Sergio Quezada García

### **SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:**

**Laboratorio de Producción y Utilización de Biocombustibles (LAEL),  
Departamento de Sistemas Energéticos, División de Ingeniería Eléctrica,  
Facultad de Ingeniería, UNAM, Ciudad Universitaria**

### **ASESORA DEL TEMA:**

**Dra. Alejandra Castro González** \_\_\_\_\_

### **SUSTENTANTE:**

**David Rico Altamirano** \_\_\_\_\_

# *ÍNDICE*

<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>i</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>ii</b>
<b>Resumen</b>	<b>iii</b>
<b>Introducción</b>	<b>iv</b>
<b>Objetivo</b>	<b>v</b>
<b>Objetivos específicos</b>	<b>v</b>
<b>CAPÍTULO 1. GENERALIDADES</b>	
1.1 Tipos de escamas	1
1.1.1 Placoides	1
1.1.2 Cosmoides	2
1.1.3 Ganoides	2
1.1.4 Cicloides y ctenoides	3
1.2 Caracterización fisicoquímica de las escamas	5
1.3 Procesos bioquímicos en los peces	5
1.4 Escamas de desecho	6
1.4.1 Disposición de las escamas en peces	7
1.5 Potencial de las escamas de pescado	7
<b>CAPÍTULO 2. FUNDAMENTOS</b>	
2.1 Biocombustibles	9
2.1.1 Clasificación de biocombustibles	9
2.2 Procesos físicos y bioquímicos para la producción de energía a partir de biomasa	10
2.2.1 Trituración	10
2.2.2 Compostaje	12
2.2.3 Digestión	13
2.3 Aplicaciones de las escamas de pescado	15
2.3.1 Escamas de pescado en la industria	15
2.3.2 Uso de la escama procesada como enmienda en suelos	16

2.3.3 La escama procesada como suplemento nutricional	19
2.4 Aplicaciones de las escamas de pescado para la producción de energía	20
2.4.1 Escamas de pescado como materia prima para sensores de radiación	20
2.4.2 Biogás a partir de residuos de pescado	20
2.4.3 Aprovechamiento energético de desechos de pescado	21
<b>CAPÍTULO 3. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	
3.1 Caso de estudio	22
3.1.1 Escenario problema	22
3.2 Metodología del proyecto	24
<b>CAPÍTULO 4. RESULTADOS</b>	
4.1 Caracterización de la biomasa	25
4.2 Propuesta para el proceso de conversión	26
4.2.1 Película biodegradable	26
4.2.2 Dispositivo electroluminiscente	28
4.2.3 Ubicación de la planta de conversión	31
4.3 Diseño de las operaciones unitarias para obtención de la película biodegradable	33
4.4 Diseño de las operaciones unitarias para obtención del dispositivo electroluminiscente	37
4.5 Factibilidad económica	39
4.5.1 Evaluación económica de la planta de conversión a película biodegradable	41
4.5.2 Evaluación económica de la planta de conversión a dispositivo electroluminiscente	43
4.6 Factibilidad ambiental	45
<b>CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES</b>	<b>47</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>49</b>

## *ÍNDICE DE FIGURAS*

		Página
Figura 1.1	Principales tipologías de escamas de pescado	4
Figura 1.2	Zonas de ubicación de las escamas de pescado	4
Figura 2.1	Fragmentación de los diferentes métodos de trituración	11
Figura 2.2	Entradas y salidas del sistema de una pila de compostaje	13
Figura 2.3	Producción mundial de la pesca de captura y la acuicultura	15
Figura 2.4	Respuesta del aluminio por la aplicación de escama procesada en comparación con carbonato de calcio	17
Figura 2.5	Respuesta de fósforo por la aplicación de escama procesada en comparación con carbonato de calcio	18
Figura 2.6	Respuesta de Calcio por la aplicación de escama procesada en comparación con carbonato de Calcio	18
Figura 2.7	Ganancia de peso por ave en gramos	19
Figura 3.1	Sucursales de toda la cadena Walmart en Ciudad de México	23
Figura 3.2	Sucursales de Walmart elegida para realizar entrevista	23
Figura 3.3	Diagrama general de la metodología de este proyecto	24
Figura 4.1	Balance de materia para el proceso de conversión de escamas de pescado a película biodegradable	28
Figura 4.2	Balance de materia para el proceso de conversión de escamas de pescado a dispositivo biodegradable	30
Figura 4.3	Diagrama esquemático que muestran las operaciones unitarias para (a) película biodegradable y (b) dispositivo electroluminiscente	31
Figura 4.4	Propuesta de ubicación de la planta para la conversión de escamas de pescado a material biodegradable	32

## *ÍNDICE DE TABLAS*

		Página
Tabla 1.1	Composición bromatológica de escamas de tilapia roja	5
Tabla 1.2	Especies más consumidas por miles de toneladas en México	6
Tabla 1.3	Peso total de escamas al año de diferentes especies de peces	8
Tabla 4.1	Caracterización de las escamas de pescado	25
Tabla 4.2	Operaciones unitarias para la conversión de escamas de pescado a película biodegradable	27
Tabla 4.3	Operaciones unitarias para la conversión de escamas de pescado a dispositivo electroluminiscente biodegradable	28
Tabla 4.4	Sucursales de la cadena de supermercados Walmart	32
Tabla 4.5	Dimensionamiento de la planta de conversión para la obtención de la película biodegradable	35
Tabla 4.6	Dimensionamiento de la planta de conversión para la obtención del dispositivo electroluminiscente	37
Tabla 4.7	Costo de equipos y materiales para la conversión de escamas de pescado a material biodegradable a escala industrial	38
Tabla 4.8	Parámetros económicos asociados a la operación de la planta de la película biodegradable	41
Tabla 4.9	Indicadores de rentabilidad económica de la planta de la película biodegradable	42
Tabla 4.10	Parámetros económicos asociados a la operación de la planta del dispositivo electroluminiscente	43
Tabla 4.11	Indicadores de rentabilidad económica de la planta del dispositivo electroluminiscente	44
Tabla 4.12	Resumen de los resultados de la factibilidad de las plantas	45

## *Resumen*

El presente trabajo expone los resultados del estudio técnico, económico y ambiental, así como el prototipo para la generación de un dispositivo electroluminiscente biodegradable a partir de escamas de pescado, utilizando como materia prima los desechos de pescado generados por una de las cadenas de supermercados más importantes y con mayor presencia en la República Mexicana. Se proyecta una planta de conversión que por la recolección de la materia prima en todas y cada una de las sucursales de la cadena de supermercados Walmart dentro de la Ciudad de México, entre 2.8 kg y 3.3 kg de materia prima por cada una, es decir, entre los 600 y 700 kg de escamas de pescado producidas por las 0.7 ton de materia prima al día de las 215 sucursales para 23,000 dispositivos electroluminiscentes biodegradables, aproximadamente de 144 cm<sup>2</sup> cada una.

El proceso de conversión de las escamas de pescado que se debe de llevar a cabo es primeramente dejarlas en reposo con NaOH y HCl, para eliminar impurezas y minerales que se encuentran en las mismas. Posteriormente, en una plancha de calentamiento se les realiza un secado a 80°C y después, de que se les dé un enfriamiento se obtiene una película transparente. Posterior a esto, se agrega una capa de nanocables de plata triturados y otra capa mas de solución electroluminiscente preparada con etanol, PVP y ZnS, para así, conseguir el dispositivo electroluminiscente. Por lo cual, la conversión de las escamas de pescado se convierten a una película biodegradable y después a un dispositivo electroluminiscente.

El costo de la planta de conversión es de 954,432 dls. Se calculó el valor presente neto cuyo resultado fue de 786,786.76 dólares, tasa interna de retorno (TIR) de 20% y la relación costo/beneficio (C/B) de 0.99, siendo el proyecto rentable para recuperar la inversión en 0.41 años.

La factibilidad ambiental del proyecto es por un total de 255.5 ton de CO<sub>2</sub> de emisiones evitadas, que es equivalente a lo que emiten durante toda su vida útil 10.64 automóviles, esto por la recolección de escamas de pescado de un día de toda la cadena de supermercados y procesadas en 20 días, aproximadamente.

## *Introducción*

En las últimas décadas, se han desarrollado y utilizado varios dispositivos electroluminiscentes de corriente alterna (ACEL), especialmente los flexibles, en pantallas planas, decoración a gran escala, iluminación de pantallas de logotipos, señalización óptica, entre otras. Los plásticos transparentes se utilizan generalmente como sustratos en dispositivos ACEL; sin embargo, pueden causar una grave contaminación ambiental. Se ha logrado desarrollar un dispositivo ACEL transitorio flexible basado en películas transparentes de gelatina de pescado.

Las películas se fabricaron a partir de escamas de pescado utilizando un método de fundición en solución. Las escamas de pescado se lavaron y pretrataron, generando una solución filmógena. La solución se vertió en una placa de Petri formando películas después del secado, éstas mostraron una atractiva transparencia y flexibilidad. Después de disolverse, la solución obtenida se pudo reutilizar para fabricar la película, y la película recuperada todavía era transparente. Además, los nanocables de plata (Ag NW) se podrían incrustar en la película, generando una película FG conductora que podría usarse como sustrato para fabricar los dispositivos ACEL flexibles. Los dispositivos ACEL basados en la película mostraron un comportamiento de emisión de luz blanca y podrían funcionar normalmente incluso doblarse.

Las películas se hicieron a partir de escamas de pescado, que son sostenibles, rentables y ecológicas. Estas películas podrían disolverse en agua en segundos a 60°C y degradarse completamente en 24 días en el suelo. La transmitancia de estas películas fue de hasta 91.1% en el espectro visible, comparable a la del polietileno tereftalato (PET) de 90.4%. Después de formar un compuesto con Ag NW, la película Ag NWs mostró una transmitancia de hasta 82.3%. El dispositivo ACEL basado en la película Ag NWs mostró una alta flexibilidad y luminancia. El dispositivo se puede disolver en agua en tres minutos. La investigación demostró que las películas sostenibles, flexibles y transparentes son una alternativa prometedora para sustratos ecológicos y degradables en el campo de la electrónica flexible, incluidas las pantallas plegables, los dispositivos portátiles y el control de la salud.

## *Objetivo*

Evaluar la factibilidad técnica, económica y ambiental del aprovechamiento de escamas de pescado para su conversión en una película biodegradable y un dispositivo electroluminiscente analizando un tratamiento de conversión de tipo químico.

## *Objetivos específicos*

- Dar a conocer los principios y potencial de los dispositivos electroluminiscentes biodegradables como sustitutos de los dispositivos convencionales.
- Determinar la factibilidad técnica de dispositivos electroluminiscentes biodegradables usando como materia prima escamas de pescado para su conversión.
- Determinar el costo de construcción de una planta de conversión, así como su rentabilidad en su operación y mantenimiento.
- Cuantificar las emisiones de CO<sub>2</sub>-equivalente dejadas de emitir a la atmosfera, al implementar una planta de conversión para el tratamiento de los desechos de pescado, generados por una de las cadenas de supermercados más importantes en México.

# ***CAPÍTULO 1. GENERALIDADES***

## ***1.1 Tipos de escamas***

Las escamas se definen como láminas duras, más o menos flexibles, que trazan un gran número de líneas concéntricas y de estrías radicadas superpuestas como las tejas de un tejado, las cuales forman el exoesqueleto de los peces. Las escamas de pescado químicamente están compuestas principalmente por fibras de colágeno y por hidroxiapatitas.  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$  que son sales de fosfato de calcio, que además, son el principal componente mineral de los huesos de los vertebrados y es la principal razón por la cual una de sus principales aplicaciones está en el campo de los biomateriales, como reparador de tejidos duros y en la fabricación de implantes. Las escamas se clasifican de acuerdo con su forma o su estructura. Por su forma, las escamas se subclasifican en cuatro grupos: placoides, cosmoides, ganoides y cicloides (Miranda, 2002).

### ***1.1.1 Placoides***

A estas escamas también se les denomina dentículos dérmicos, se encuentran en los peces cartilaginosos: tiburones y rayas, a excepción de las quimeras. Basándose en su estructura, son homólogas a los dientes de los vertebrados (dentículo se traduce como diente pequeño), los cuales tienen una pulpa dentaria central con vasos sanguíneos, rodeada por una capa cónica de dentina, la cual se encuentra en la parte superior de una placa basal rectangular que descansa en la dermis. La capa más externa está compuesta por vitrodernia, una fusión de la capa media con la sangre, una sustancia inorgánica en gran medida similar al del esmalte dental. Las escamas placoides no pueden crecer en tamaño, sino que se van añadiendo a medida que aumenta el tamaño del pez (Quintero y Zapata, 2017).

Los tiburones están totalmente cubiertos por escamas placoides. Estas escamas crean vórtices pequeños que reducen la resistencia para hacerles nadar de forma más eficiente y tranquila en comparación con los peces óseos. La cantidad de las escamas es mucho menor en rayas y quimeras. La textura rugosa, como papel de lija de la piel de los

tiburones y rayas, junto con su dureza, la ha llevado a ser valorada como cuero. Se le suele llamar zapa y una de sus muchas aplicaciones, por su resistencia a resbalar, se encontraba en la fabricación histórica de empuñaduras de espadas (Sharpe, 2001)

### **1.1.2 Cosmoides**

Estas escamas en los sarcopterigios: celacantos y peces pulmonados, probablemente se derivaron de la fusión de escamas placoides. Están compuestas de una capa de denso hueso laminar llamado isopedina, sobre la que se dispone una capa de hueso esponjoso con vasos sanguíneos. Las capas de hueso están cubiertas por una sustancia similar a la dentina llamada cosmina y un recubrimiento superficial exterior de vitrodentina. El celacanto tiene cuatro capas de escamas cosmoides. Las escamas del celacanto actual están modificadas por la pérdida de la capa de cosmina, mientras que las escamas de peces pulmonados actuales están modificadas por la pérdida de la capa de dentina. Las escamas cosmoides aumentan de tamaño según va creciendo la capa de hueso laminar (Sharpe, 2001).

### **1.1.3 Ganoides**

Las escamas ganoides se encuentran en los esturiones, peces espátula, pejes lagartos, amias calva y bichires. Se derivan de las escamas cosmoides, con una capa de dentina en lugar de cosmina y una capa de sal inorgánica del hueso llamada ganoina, en lugar de vitrodentina. La mayoría tienen forma de diamante y están unidas por articulaciones tipo clavija y zócalo. En las agujas de mar, las escamas ganoides romboidales están muy pegadas al cuerpo y se unen con fibras para formar una armadura tipo cola de malla, fuerte pero poco flexible. En los esturiones, las escamas se amplían en placas de armadura en los laterales y atrás, mientras que en la amia, las escamas se reducen considerablemente en espesor para perecerse a escamas cicloides (Mathews y col., 2002).

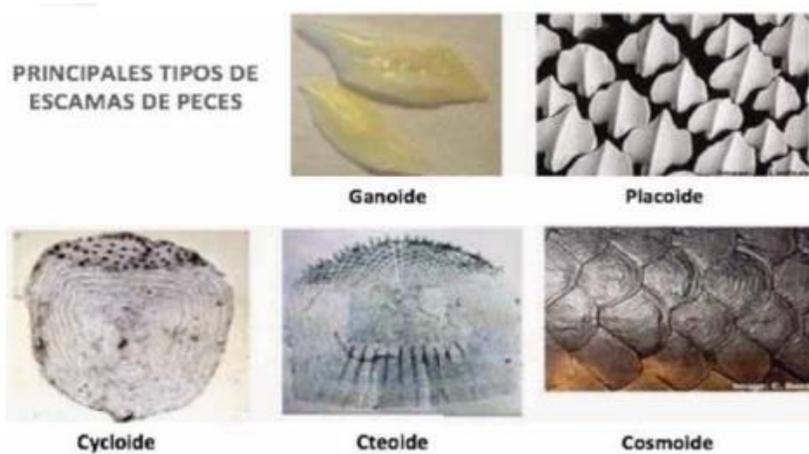
### **1.1.4 Cicloides y ctenoides**

Este tipo de escamas se encuentran en los teleósteos, derivado de los peces con espinas óseas en sus aletas. Las escamas cicloides tienen bordes lisos, mientras que las escamas ctenoides tienen dientes diminutos ctenii en el borde posterior, lo que les da una textura áspera, en forma de peine. Estas escamas casi no tienen hueso, estando compuestas de una capa superficial que contiene hidroxiapatita y carbonato de calcio y una capa más profunda, compuesta en su mayoría de colágeno. El esmalte de los otros tipos de escama se reduce a crestas superficiales y ctenii. La mayoría de los actinoptergios tienen escamas ctenoides. En los peces planos, algunas especies tienen escamas ctenoides en el lado de los ojos y escamas cicloides en el lado ciego, mientras que otras especies tienen escamas ctenoides en los machos y escamas cicloides en las hembras (Pérez y García, 2009).

A su vez, las escamas ctenoides pueden subdividirse en tres tipos:

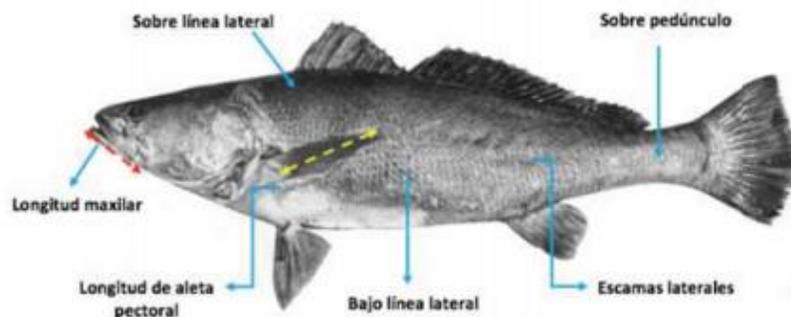
- *Escamas crenadas*, donde el margen de la escama tiene muescas y proyecciones.
- *Escamas espinoides*, donde la escama tiene espinas que se continúan con la misma escama.
- *Escama ctenoides verdaderas*, donde las espinas en la escama son estructuras diferentes.

Las escamas cicloides y ctenoides se superponen, haciéndolas más flexibles que las escamas cosmoides y ganoides. Crecen en tamaño a través de adicciones al margen creando bandas de crecimiento estacional desigual llamados annuli. Estas bandas se pueden utilizar para calcular la edad de los peces, al modo como de manera similar se hace con los troncos de los árboles. Así, varias bandas muy espaciadas, indicarán un crecimiento rápido (Pérez y García, 2009). La Figura 1.1 muestra las principales tipos de escamas de pescado que se encuentran en las diferentes especies mencionadas anteriormente.



**Figura 1.1 Principales tipologías de escamas de pescado (Pérez y García, 2009)**

El número de escamas en algunas áreas del cuerpo y su forma determinativas en el carácter sistemático, ya que se consideran escamas de la línea lateral, escamas en una línea longitudinal, escamas sobre la línea lateral o bajo ella. El número y tipo de radios, así como la posición o forma de las aletas, el número de branquias (tipo de escama típica de los elasmobranquios que presenta una espina que sobresale de la piel. Corresponden a verdaderos dentículos dérmicos cubiertos por una capa de vitrodentina) forma del cuerpo, presencia o ausencia de barbillas, así como el número y posición de éstas (García, 2017). La Figura 1.2 indica las zonas de ubicación de las escamas de pescado alrededor de todo el cuerpo de un pez.



**Figura 1.2 Zonas de ubicación de las escamas de pescado (García, 2017)**

## **1.2 Caracterización fisicoquímica de las escamas**

Diferentes autores definen a la escama de pescado, como un subproducto altamente proteico. La escama de pescado contiene sustancias inorgánicas como el fosfato de calcio (hidroxiapatita) y el carbonato de calcio de potencial uso en la alimentación animal. La escama en estado crudo y procesado de cachama y tilapia contiene 40% de calcio y 10% de fósforo (Gómez y Benítez, 2011).

Por otra parte, al realizar un análisis para determinar la composición química de las escamas de tilapia roja obtuvieron resultados que se muestran en la Tabla 1.1.

**Tabla 1.1 Composición bromatológica de escamas de tilapia roja** (Gómez y Benítez, 2011)

<b>Parámetro</b>	<b>Composición (%)</b>
Humedad	15.18
Materia seca	84.82
Cenizas	32.08
Proteína	67.96

## **1.3 Procesos bioquímicos en los peces**

La regulación del metabolismo en peces es compleja, y responde, como en mamíferos, a estímulos de origen hormonal y enzimático que se representan acorde con las condiciones ambientales, nutricionales y reproductivas. Además, el carácter poiquilotermo de los peces implica que la cinética de sus reacciones fisicoquímicas internas sea dependiente de las características térmicas del medio que rodea al animal (Cowey y Luquet, 1983; Seiliez y col., 2011).

El metabolismo intermediario comprende todas las reacciones que ocurren a nivel celular y del organismo, involucradas con el almacén y generación de energía metabólica con el fin de utilizar esa energía para la biosíntesis. Las rutas centrales del metabolismo intermediario son pocas y están altamente conservadas: a grandes rasgos, la maquinaria metabólica de peces es muy parecida a la de mamíferos. Sin embargo, las necesidades energéticas de los peces dependen de cada especie y, dado en el medio en el que viven,

van a presentar unas ciertas ventajas y desventajas frente a mamíferos. La principal ventaja es la posibilidad de excretar los desechos nitrogenados en forma de amonio a través de las branquias. Estas particularidades hacen que el metabolismo intermediario difiera del de mamíferos en cuanto a su regulación, sensibilidad a factores bióticos y abióticos y el papel exacto que juegan los órganos y tejidos (Dabrowski y Guderley, 2002).

Generalmente, en los sistemas multienzimáticos solo unas cuantas enzimas, llamadas enzimas reguladoras, son las que marcan el flujo de la vía. Los mecanismos de regulación de estas enzimas atienden básicamente a dos tipos de control: uno burdo, que se produce de forma lenta y con variación de la cantidad de enzima, y uno fino, regulación alostérica, que es mucho más rápido, variando la actividad por cambios del  $K_m$  del enzima. La actividad de estas enzimas se ve modificada por varios factores, además del sustrato, tales como pH, efecto iónico, concentración de nucleótidos y metabolitos que ejercen un control feed-back al igual que en vertebrados superiores (Hall y Cottam, 1978).

#### **1.4 Escamas de desecho**

De acuerdo con datos de SAGARPA, la producción anual de peces en el país es de 1,750,000 ton con un consumo per cápita de 8.9 kg, lo que hace que haya una demanda en el mercado nacional cada vez mayor, debido a que del 2012 al 2016 aumentó en 2.5 kg en el consumo (SAGARPA, 2014). Las especies más producidas en territorio nacional se muestran en la Tabla 1.2.

**Tabla 1.2 Especies más consumidas por miles de toneladas en México (SAGARPA, 2014).**

<b><i>Especies más consumidas</i></b>	<b><i>Miles de toneladas al año</i></b>
Tilapia	140,392
Carpa	28,393
Sierra	13,768
Guachinango	11,603
Trucha	10,483
Lisa	10,279
Bonito	9,298

#### **1.4.1 Disposición de las escamas en peces**

En México los establecimientos dedicados a la distribución de pescado consideran las escamas como un desecho orgánico, debido a que tiene un escaso interés comercial. Éste subproducto es arrojado como un residuo, por la falta de demanda en el mercado, por lo cual, se ha perdido el interés como producto de alto valor agregado. Por otro lado, las escamas de pescado sí tiene un impacto en la industria farmacéutica, alimentaria y cosmética, por lo tanto, se necesitan proyectos para llevar a cabo el reciclaje de este subproducto con nulo valor agregado, y paralelamente reducir la contaminación del medio ambiente (SAGARPA, 2014).

Por otro lado, Estados Unidos de América en 2018, fue el sexto país a nivel mundial con una producción anual de 4.74 millones de toneladas de pescado, con un consumo per cápita de 8 kg, y estando por detrás de países como China, Indonesia, Perú, India y Rusia, siendo el primero de éstos el de mayor producción con 14.65 millones de toneladas de pescado. A nivel mundial, la producción de pesca de captura alcanzó los 90.91 millones de toneladas mientras que, la producción de la acuicultura llegó a 80.03 millones de toneladas en el 2016 (FAO, 2018).

#### **1.5 Potencial de las escamas de pescado**

Con base en los datos de la SAGARPA (Tabla 1.3) sobre la producción de peces se puede hacer un estimado de la producción anual de escamas de pescado, tomando los datos de tres distintas especies con el objetivo de ejemplificar, en donde hay un total de 7,843 ton/año de escamas, a las que no se les asigna ningún aprovechamiento en particular (SAGARPA, 2014).

**Tabla 1.3 Peso total de escamas al año de diferentes especies de peces.**  
(SAGARPA, 2014)

<i>Tipo de pez</i>	<i>Producción [ton/año]</i>	<i>Peso por pez ton</i>	<i>Peso escamas ton</i>	<i>Total peces anuales</i>	<i>Total escamas ton/año</i>
Lisa	140,392	$2 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-4}$	70,196,000	7,020
Tilapia	10,279	$3 \times 10^{-3}$	$1.5 \times 10^{-4}$	3,426,333	514
Salmón	6,164	$2 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-4}$	3,082,000	309
<b>Peso total de escamas</b>					<b>7,843</b>

Sin embargo, una alternativa a la valorización de residuos, es el desarrollo de nuevos productos dando a los residuos un destino más noble y de mayor valor comercial. Este bien radica, en la recuperación de compuestos particulares, como lo es el colágeno, que se encuentra en extremidades de diversos animales (vaca, res, pollo, etc.) para darles nuevos usos. La gran mayoría de los colágenos comerciales son procedentes de mamíferos y son obtenidos principalmente de la piel del cerdo y del ganado. Nuevas investigaciones muestran otras alternativas de extracción de la proteína a partir de fuentes marinas, como lo son del esturión, del calamar gigante, salmón del atlántico, raya, entre otros peces (García, 2017; Gómez y col., 2011; Karim y col., 2009).

Con base en estudios realizados, en general los peces contienen entre un 25%-30% de la proteína, por lo cual se ha optado como fuente de adquisición para llevar a cabo el proceso de extracción. En la actualidad, el aprovechamiento de dicho compuesto tiene diversas aplicaciones debido a sus propiedades fisicoquímicas, para la generación de fármacos, alimentos y desarrollo de tejidos óseos (Bae y Osatomi, 2008; Liu y col., 2001).

## ***CAPÍTULO 2. FUNDAMENTOS***

### ***2.1 Biocombustibles***

Los biocombustibles son aquellos biocarburantes como alcoholes, éteres, ésteres y otros productos químicos que provienen de compuestos orgánicos de base celulósica (biomasa) extraída de tejidos de plantas y animales, los residuos de la agricultura y de la actividad forestal, y de algunos desechos industriales, por ejemplo los de la industria de la alimentación. El término biomasa, se refiere a cualquier tipo de materia orgánica que haya tenido su origen a partir de organismos vivos; el concepto de biomasa comprende productos tanto de origen vegetal como de origen animal (Salinas y Gasca, 2009; Espinosa de Aquino y col., 2009).

#### ***2.1.1 Clasificación de biocombustibles***

Los biocombustibles se clasifican de acuerdo con el insumo o materia prima y a la tecnología empleada para producirlos, en biocombustibles de primera, segunda, tercera y cuarta generación (Maciel, 2014):

Los de primera generación son de procedencia agrícola y están conformadas por las partes alimenticias de las plantas, las cuales tienen un alto contenido de almidón, azúcares y aceites. Ejemplos de estas materias son el jugo de la caña de azúcar, granos de maíz, jugo de betabel, aceites de semilla de girasol, de soya, de palma, de ricino, de algodón, de coco, de cacahuate, entre otros. También se emplean como insumos las grasas animales, grasas y aceites de desecho provenientes de la cocción y elaboración de alimentos, así como desperdicios sólidos orgánicos. La producción de estos biocombustibles se lleva a cabo utilizando tecnología convencional como la fermentación (para azúcares y carbohidratos) obteniendo metanol, etanol y n-butano; transesterificación (para aceites y grasas) que da como resultado biodiesel y la digestión anaerobia (para los desperdicios orgánicos) teniendo biogás (Rivera, 2018).

Los de segunda generación utilizan de insumo a los residuos agrícolas y forestales compuestos principalmente por celulosa. Algunos de estos insumos son el bagazo de la caña de azúcar, el rastrojo de maíz (tallo, hojas y mazorcas), paja de trigo, aserrín, hojas y ramas secas de árboles. Para estos, los procesos de producción tienen una complejidad más alta que los de primera generación y entre ellos destacan la sacarificación-fermentación y el proceso Fischer-Tropsch que permiten la fabricación de etanol, metanol, gas de síntesis, entre otros (Rivera, 2018).

Para los biocombustibles de tercera generación los insumos utilizados son vegetales no alimenticios de crecimiento rápido y con una alta densidad energética almacenada en sus componentes químicos, por lo que se les denomina cultivos energéticos. Entre estos vegetales están los pastos perennes, árboles y plantas de crecimiento rápido, algas verdes y cianobacterias. Los procesos de obtención de estos biocombustibles se encuentran en fase de desarrollo, sin embargo, se ha logrado producir biodiesel y etanol a nivel piloto (Rivera, 2018).

En los biocombustibles de cuarta generación la materia prima utilizada son microalgas o bacterias manipuladas genéticamente para mejorar la eficiencia del proceso así como mejorar la captación y almacenamiento de carbono (CAC) a medida que el cultivo crece (Sanz, 2016).

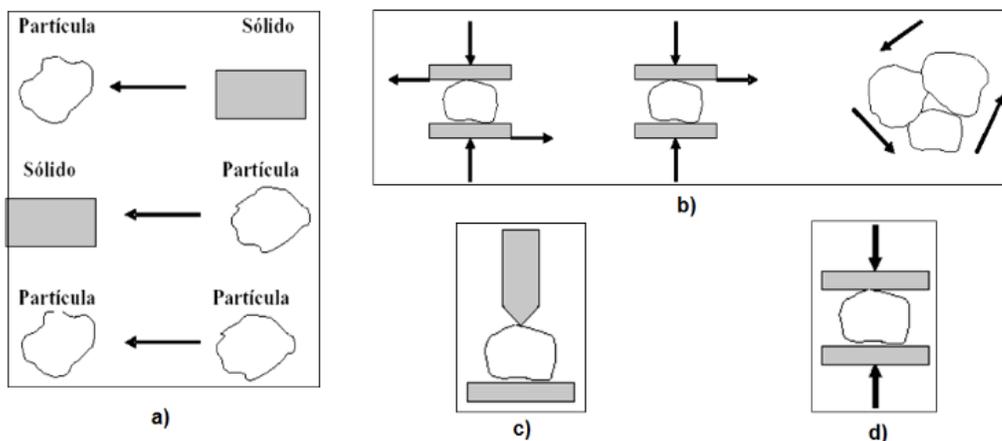
Una de las alternativas más utilizadas ha sido la de la producción de biocombustibles de tercera generación utilizando microalgas, ya que a diferencia de los biocombustibles de primera y segunda generación no compiten por los recursos propios de la agricultura como las tierras de cultivo y agua de buena calidad (Malgas, 2014).

## ***2.2 Procesos físicos y bioquímicos para la producción de energía a partir de biomasa***

### ***2.2.1 Trituración***

El objetivo de la trituración es producir pequeñas partículas a partir de otras más grandes. Las partículas más pequeñas son deseables por su gran superficie o bien por su

forma, tamaño y número. La reducción de tamaño de las partículas aumenta también la reactividad de los sólidos, permite la separación de los componentes no deseados por medios mecánicos y reduce el volumen de los materiales fibrosos que son así más fáciles de manejar. Los sólidos pueden fragmentarse de maneras diferentes, pero comúnmente en las máquinas de reducción de tamaño solo se emplean cuatro métodos (Figura 2.1). Estos son compresión, impacto, frotamiento de cizalla y corte. En general se usa el método de compresión para la reducción de sólidos duros, obteniéndose relativamente poca cantidad de finos. Con el método de impacto se obtienen productos gruesos, medios y finos. Mediante el método de frotamiento de cizalla se obtienen productos gruesos, medios y finos. Mediante el método de frotamiento de cizalla se obtienen productos finos a partir de materiales blandos y no abrasivos. El método de corte proporciona un tamaño de partícula definido y, a veces, forma definida, con poca o ninguna cantidad de finos (McCabe y col., 2007).



**Figura 2.1 Fragmentación por a) impacto, b) frotamiento de cizalla, c) corte y d) compresión (McCabe y col., 2007)**

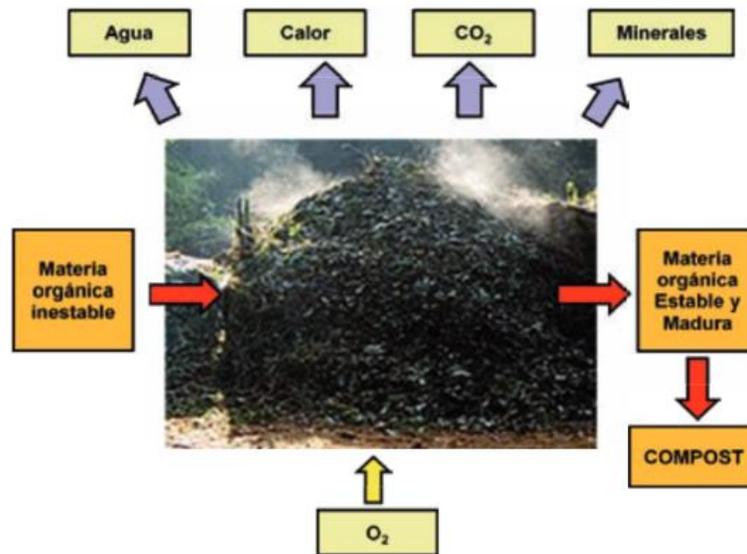
El tamaño de las partículas afecta la transformación biológica del sustrato. Las partículas relativamente grandes tienen un tiempo de descomposición mayor y entonces el tipo de sustrato determina el nivel de actividad bioquímica que ocurre en el reactor. La reducción del tamaño de partícula causa un consecuente aumento de la superficie disponible y mejora el proceso biológico. Para sustratos con un alto contenido en fibras y baja biodegradabilidad se originan mejores rendimientos en la producción de biogás, debido a

que se presenta una reducción en el tiempo necesario para la digestión (Fernández-Güelfo, 2008).

### **2.2.2 Compostaje**

El compostaje es una técnica que se utiliza con el objetivo de resolver, en parte, la contaminación ambiental, minimizar el desarrollo de enterramientos sanitarios, depósitos a cielo abierto, vertederos controlados y quema de residuos orgánicos. Es una técnica económicamente recomendable cuando se manejan grandes cantidades de residuos orgánicos, lo que implica menores costos operativos; es un sistema oxigenado, por lo tanto con menor producción de olor y un producto final estable. El compostaje es un proceso productivo como cualquier otro, que puede tener limitaciones extrínsecas o intrínsecas. Dentro de las primeras se encuentran las de tipo político, social, económico y tecnológico, y dentro de las segundas, las limitaciones del mismo proceso y de los materiales susceptibles de compostarse, características físicas, contenidos de agua, materia orgánica, nitrógeno y contaminantes (Campitelli, 2014).

El compostaje es una de las alternativas para tratar los residuos orgánicos de diversos orígenes (hortícolas, agrícolas, ganaderos, domésticos, etc.) con el objetivo de darles valor agregado, debido a que presentan aproximadamente el 40% en los residuos sólidos urbanos. La historia y la experiencia sobre el compostaje es amplia y los pilares sobre los que se fundamenta están muy bien definidos. Existen numerosas definiciones de compostaje, sin embargo es importante al momento de decidir cuál es la definición que mejor se ajusta tener el conocimiento de los procesos que ocurren cuando se está compostando material orgánico. Por lo que se puede definir el compostaje como una técnica de tratamiento y estabilización de residuos orgánicos de origen dinámico, biológico, aeróbico y en consecuencia termófilo y que para ello necesita: materia orgánica, población microbiana inicial y las condiciones controladas para que este proceso se desarrolle de manera eficiente, con el objetivo de obtener un producto de calidad denominado compost. El compost puede ser utilizado como enmienda o acondicionador para el suelo (Campitelli, 2014). En la Figura 2.2 se muestran las entradas y salidas de una pila de compostaje.



**Figura 2.2 Entradas y salidas del sistema de una pila de compostaje (Campitelli, 2014)**

Un proceso de compostaje bien controlado y aplicado a los materiales adecuados, reduce la humedad, el peso, el volumen de los residuos tratados y conduce a un producto final estabilizado, almacenable, transportable y utilizable en los suelos. En la pila de residuos orgánicos, comenzarán a trabajar los diferentes grupos de microorganismos, transformando los componentes orgánicos (moléculas) de mayor tamaño en compuestos más simples y de esta forma convertir los residuos en compost. Los residuos orgánicos, están colonizados por diversos microorganismos endógenos que al disponer de las condiciones adecuadas se reproducen y favorecen la aparición de una sucesiva diversidad microbiana (Campitelli, 2014).

### **2.2.3 Digestión**

La descomposición anaerobia (ausencia de oxígeno) de la materia orgánica produce un gas combustible que contiene una alta proporción en metano con una concentración superior al 60% en el gas, cuenta con un potencial calorífico de 5,500 kcal/m<sup>3</sup>, se le denomina biogás. Todos los procesos de digestión tienen una depuración de carga orgánica y la producción de dicho gas. Mediante el proceso de digestión puede

tratarse un gran número de residuos: Residuos agrícolas y ganaderos, lodos de depuradoras biológicas, residuos industriales orgánicos, aguas residuales municipales e industriales y fracción orgánica de residuos sólidos urbanos. En la naturaleza existen microorganismos cuyo alimento son los residuos como los mencionados anteriormente. Dichos organismos se desarrollan en ausencia del aire, al alimentarse con materia orgánica la transforman en gas y en un lodo rico de nutrientes que podría ser utilizado como abono e incluso como alimentos para animales (ITT, 1975).

Sin embargo, la transformación es un proceso difícil, debido a que las bacterias requieren de un ambiente para sobrevivir y multiplicarse adecuadamente. Dicho ambiente debe de cumplir: la ausencia de aire para cumplir con el requisito de condición anaeróbica que permita la sobrevivencia de los microorganismos, las características del medio donde crecen y se multiplican las bacterias. Este medio debe de cumplir, a su vez, que la temperatura determinada experimentalmente debe ser mayor a los 20°C que garantice una buena producción, el tipo de material que se está procesando (está demostrado que no todos los residuos orgánicos dan el mismo rendimiento), el grado de acidez, conocido como pH, si el ambiente es muy ácido o lo contrario, puede causar la muerte de los microorganismos (Reynoso, 2011).

Los beneficios de la digestión deben de verse desde una perspectiva de tres puntos: el gas, que puede utilizarse para la producción de energía; el fertilizante, que debido a sus características puede servir como abono orgánico de calidad, y control de la contaminación, que se origina por la descomposición espontanea e incontrolada de la materia orgánica. Además, la digestión se caracteriza por la existencia de tres fases en el proceso de la degradación del alimento de los microorganismos. Dichas etapas son: hidrólisis, etapa inicial en la que los compuestos son solubilizados debido a las secreciones enzimáticas de las bacterias, con el fin de transformar los polímeros celulares en monómeros de fácil aprovechamiento; acidogénesis, en esta etapa los monómeros resultados del proceso anterior son transformados en ácidos grasos volátiles, formando hidrógeno molecular y dióxido de carbono; metanogénesis, es la etapa metabólica final, donde la mayoría de las bacterias metanogénicas forman metano a partir del ácido acético (Reynoso, 2011).

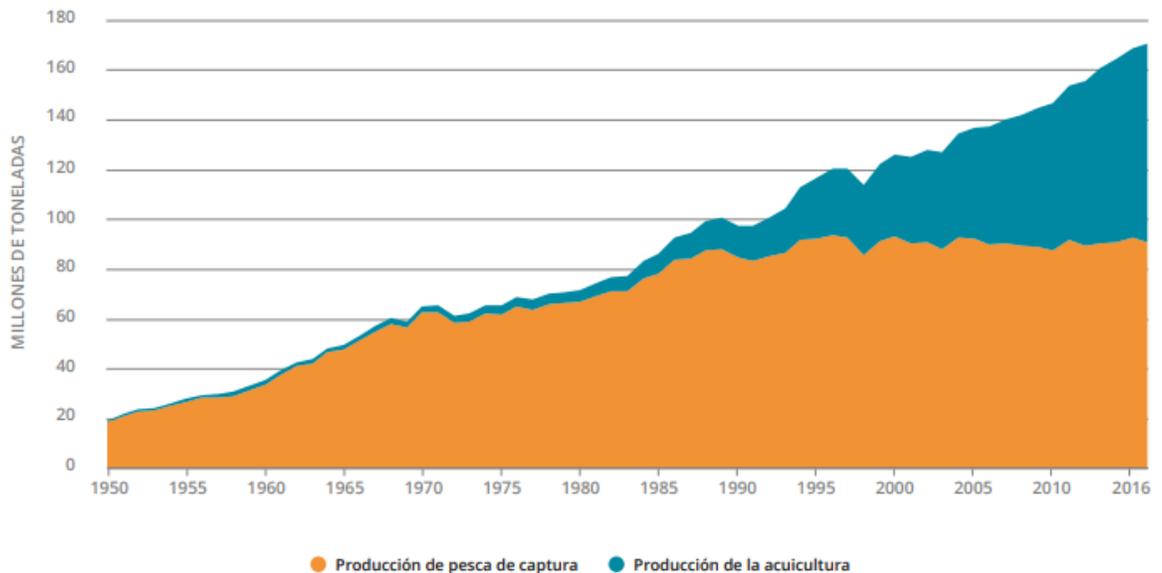
La digestión es considerada como una de las fuentes de energía mas económicas y de fácil adquisición para pequeña generación. El metano al ser un gas inflamable puede ser empleado como una fuente de energía térmica en calefactores o cocinas, e incluso

como un producto intermedio en la generación de energía eléctrica. Por su parte, el biogás con concentraciones arriba del 50% de metano puede ser empleado como combustible para vehículos de combustión interna (Vessilind y col., 2002).

## 2.3 Aplicaciones de las escamas de pescado

### 2.3.1 Escamas de pescado en la industria

El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018 se basa en las estadísticas oficiales de la FAO sobre pesca y acuicultura. Las cuales indican que la producción pesquera mundial llegó a un máximo de aproximadamente 171 millones de toneladas en 2016, donde la acuicultura representó un 47% del total y un 53% si se excluyen los usos no alimentarios (incluida la reducción para la preparación de harina y aceite de pescado). Ante la estabilidad de la producción de la pesca de captura desde finales de la década de 1980, la acuicultura ha sido la desencadenante del impresionante crecimiento continuo del suministro de pescado para el consumo humano (FAO, 2018). Esto se puede observar en la Figura 2.3.



**Figura 2.3 Producción mundial de la pesca de captura y la acuicultura (FAO, 2018)**

Las escamas de pescado no son explotadas a nivel industrial, destinándose sus usos a otros tipos de fines como la alimentación animal, por ejemplo, en el caso de productores de avícolas en donde incorporan escamas de pescado a la alimentación de las aves, quienes al buscar una mejora en los huevos que las mismas producen, adicionan un subproducto en polvo en busca de una mejora de las cáscaras de sus huevos. Por otra parte, las escamas de pescado son tan poco explotadas que se les usa como bisutería, creando desde cadenas hasta pulseras y aretes que son altamente comercializados (Pérez y García, 2009; Flores, 2017).

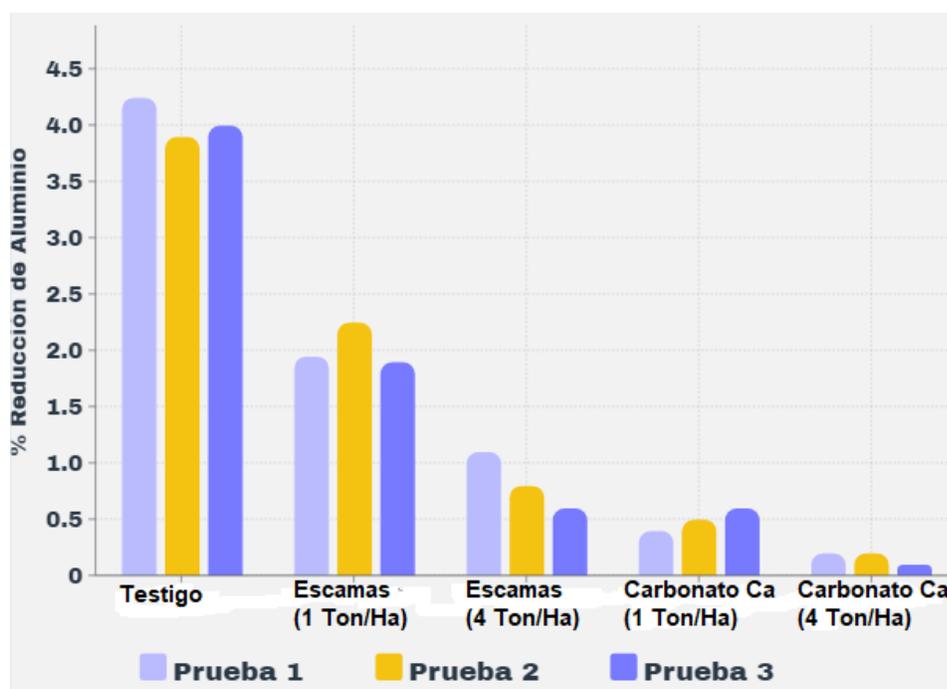
Por otro lado, algunas investigaciones internacionales se han realizado para el aprovechamiento de las escamas de pescado con el fin de obtener biopolímeros como la quitina y el quitosano, utilizados en diferentes industrias como la cosmética, farmacéutica, bioquímica, biomédica, y para el tratamiento de aguas residuales. Obtuvieron estos biopolímeros a partir de escamas de tilapia con el fin de tratar aguas residuales. Además, se obtuvo quitosano y carboxiquitosano a partir de escamas de *Labeo rohita*, lo que deja ver que es viable obtener este polímero a partir de las escamas de peces, debido a que la mayor síntesis industrial para la obtención de dichos polímeros se lleva a cabo a partir de los caparazones de crustáceos (Sierra, Orozco, Quintana, y Ospina, 2013).

Esta investigación se basa en la obtención de quitosano a partir de las escamas de tilapia roja y negra (*Oreochromis sp*), por métodos químicos con el fin darle un valor agregado a este subproducto, generado en la industria acuícola del departamento del Huila, Colombia. El quitosano fue extraído de las escamas de tilapia proveniente del departamento del Huila, en donde su preparación siguió los pasos de desmineralización, seguida de desproteinización y desacetilación. El quitosano obtenido mostró similitudes con el quitosano comercial, por lo cual es factible obtener quitosano de las escamas de la tilapia (*Oreochromis sp*); en cuanto al porcentaje de cristalinidad, presentó mejores resultados el quitosano obtenido a partir de escamas de tilapia, con 81 %, utilizando para el proceso de desacetilación (Quintero y Zapata, 2017).

### ***2.3.2 Uso de la escama procesada como enmienda en suelos***

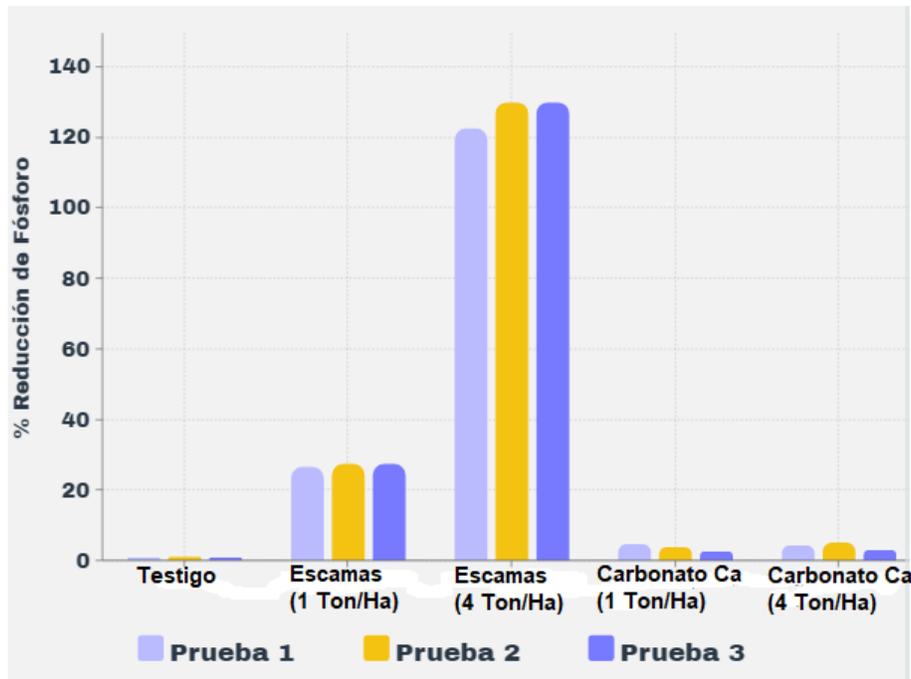
Los resultados de los ensayos del uso de la escama procesada como enmienda en suelos de alto contenido de aluminio y bajos en fósforo y calcio muestran elementos

importantes, si bien es cierto el aluminio no se reducen al mismo nivel que se logra con el uso de enmiendas de carbonato de calcio comercial, si se logra una reducción significativa con dosis de 4 ton/Ha, como se puede observar en la Figura 2.4 (Benitez y Gómez, 2011).

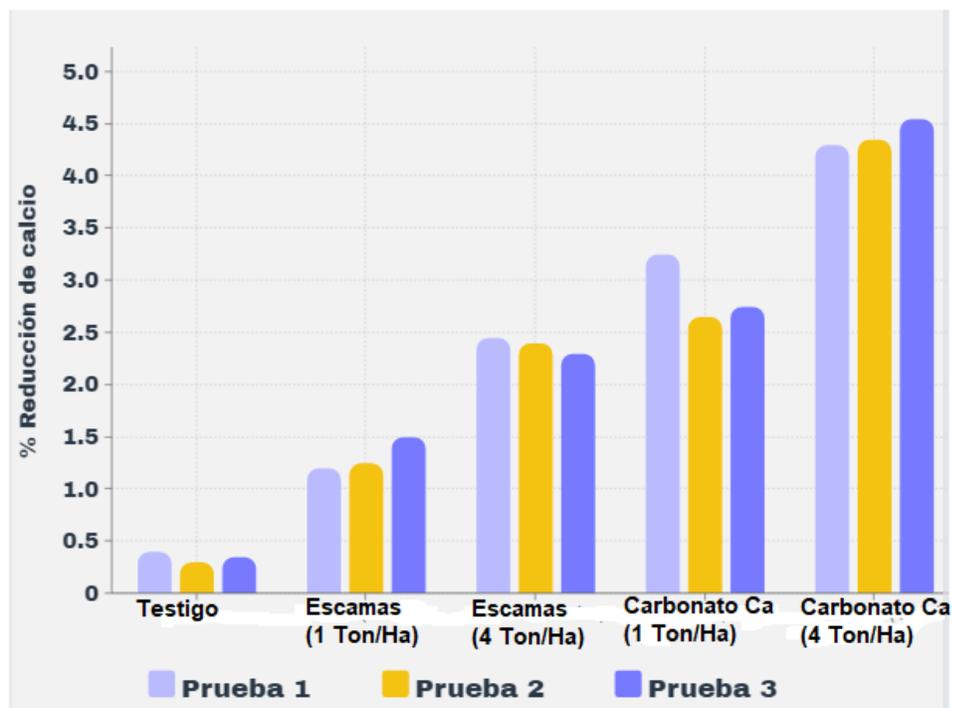


**Figura 2.4 Respuesta del aluminio por la aplicación de escama procesada en comparación con carbonato de calcio (Benitez y Gomez, 2011)**

De manera similar los niveles de calcio, al adicionar escama procesada al suelo, no alcanzan los valores que se logran con la adición del carbonato comercial, pero su aporte puede considerarse importante. Al mismo tiempo, los niveles de fósforo en los suelos tratados con escama procesada, se incrementaron a valores importantes con la adición de una dosis de 1 ton/ha y a valores altos con la dosis de 4 ton/ha, lo que permite prever grandes posibilidades de uso del producto. Esto es posible de ver en las Figuras 2.5 y 2.6 (Benitez y Gomez, 2011).



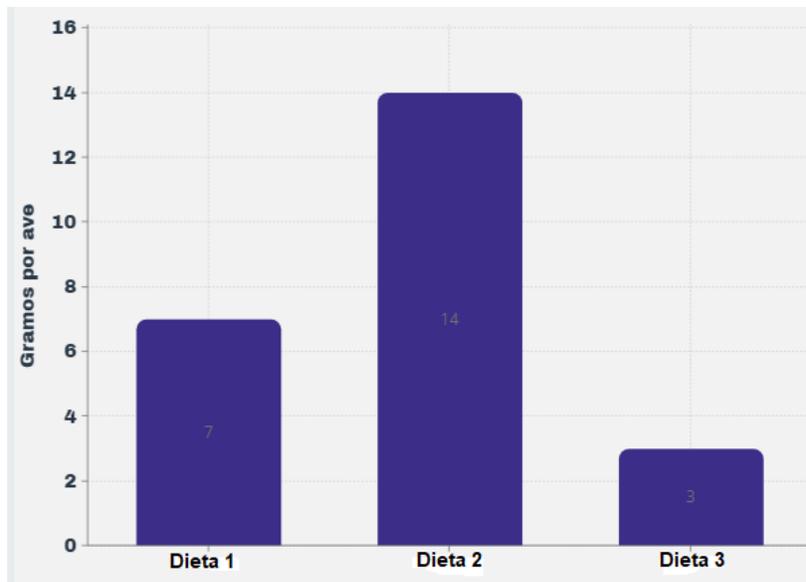
**Figura 2.5 Respuesta de fósforo por la aplicación de escama procesada en comparación con carbonato de calcio (Benitez y Gomez, 2011)**



**Figura 2.6 Respuesta de calcio por la aplicación de escama procesada en comparación con carbonato de calcio (Benitez y Gomez, 2011)**

### 2.3.3 La escama procesada como suplemento nutricional

El primer aspecto que se debe resaltar es que la introducción de escama procesada en la alimentación de las codornices no generó efectos adversos en el comportamiento y desarrollo de las aves. Se propusieron tres diferentes dietas para cada uno de los grupos de aves experimentales, donde en promedio se les daba 91 , 77 y 88 gramos por ave, respectivamente, de escama procesada, donde fue evidente que la inclusión del 50% de escama procesada en la dieta de las codornices machos ofrece la mayor ganancia de peso por ave, dieta 2 (Figura 2.7), a pesar que al utilizarla en un 100% (dieta 3) su efecto es inferior a las dietas tradicionales (dieta 1). En relación con la postura de las codornices hembras, es evidente un incremento notoriamente superior al incluir el 50% de escama procesada en la dieta de las aves (Benitez y Gomez, 2011).



**Figura 2.7 Ganancia de peso por ave en gramos (Benitez y Gomez, 2011)**

## **2.4 Aplicaciones de las escamas de pescado para la producción de energía**

### **2.4.1 Escamas de pescado como materia prima para el desarrollo de sensores de radiación**

Se trata de una metodología económica y relativamente rápida para obtener hidroxiapatita (Hap) a partir de escamas de pescado tratadas térmicamente a 500°C, 700°C y 900 °C. Al ser caracterizada por microscopia electrónica de barrido y difracción de rayos X, indica que la Hap está constituida por partículas micrométricas, con alto grado de cristalinidad. Asimismo, al ser irradiada con radiación gamma, la Hap proveniente de escamas de pescado presenta una respuesta termoluminiscente cuya intensidad se incrementa de manera lineal con la dosis de radiación recibida (Mendoza y col., 2019).

En un análisis complementario, se observa que la sensibilidad termoluminiscente de esta Hap puede ser incrementada si es tratada a 700°C y 900 °C. Esta característica puede ser utilizada con fines dosimétricos para cuantificar campos de radiación ionizante en diferentes áreas donde se utilizan las radiaciones con fines pacíficos, tales como los aplicados en el área médica, en la conservación de alimentos, esterilización de productos farmacéuticos y modificación de materiales (Mendoza y col., 2019).

### **2.4.2 Biogás a partir de residuos de pescado**

Debido a la gran cantidad de residuos generados a partir del pescado, algunas investigaciones han propuesto aprovecharlos para la producción de energía a partir del biogás. El biogás es una mezcla constituida principalmente por metano (CH<sub>4</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y trazas de otros gases, los cuales pueden comportarse como impurezas. Se ha comprobado que el pescado posee una excelente biodegradabilidad anaerobia debido a que contiene una cantidad considerable de proteínas. El biogás se produce mediante un proceso de digestión en ausencia de oxígeno que tiene como objetivo la recuperación de energía y nutrientes minerales contenidos en la fracción biodegradable de la materia orgánica (Flores, 2017).

El proceso es conducido por grupos especializados de microorganismos que en ausencia de oxígeno, transforman la materia orgánica en una mezcla de gases (biogás) y en un producto estabilizado que posee excelentes propiedades para ser utilizado como fertilizante. Con el fin de lograr una correcta descomposición anaerobia, es necesario emplear un contenedor herméticamente cerrado, el cual se denomina reactor o digestor.

Si bien el poder calorífico del biogás es menor al del gas natural su producción es totalmente sustentable con el medio ambiente, debido a que permite la recirculación de energía y nutrientes dentro del sistema, reduce emisiones de GEI, no produce olores, enfocándose principalmente en darle una solución a la problemática ambiental-social como la contaminación y disposición de los residuos. El biogás producido puede tener diferentes usos: en calderas para generar calor o electricidad, en motores o turbinas para generar electricidad, en motores de co-generación (calor y electricidad simultáneamente), en una red de gas natural, previa purificación e incorporación de aditivos necesarios, como combustible para automóvil (Flores, 2017).

#### ***2.4.3 Aprovechamiento energético de desechos de pescado***

Se ha ideado una forma de reciclar desechos de pescado que permitiría disponer de un sistema recolector de energía para electrónica autoabastecida de electricidad. En muchas zonas de la India, donde se ha realizado la investigación, se consumen diariamente grandes cantidades de pescado, lo cual genera una enorme cantidad de desechos biológicos. En un intento de hacer algo útil con estos biodesechos, un equipo de científicos de la Universidad de Jadavpur en Calcuta, India, exploró el reciclaje de los subproductos del pescado con el propósito de intentar crear un sistema que recoja energía y pueda servir para alimentar aparatos electrónicos (NG, 2016).

La premisa básica del trabajo de estos investigadores es simple: las escamas de pescado contienen fibras de colágeno que poseen propiedades piezoeléctricas, lo que significa que se genera una carga eléctrica en respuesta a la aplicación de una tensión mecánica. El equipo de Dipankar Mandal ha conseguido aprovechar esta característica para fabricar un nanogenerador biopiezoeléctrico. Para hacer esto, los investigadores recogieron primero biodesechos en forma de escamas de pescado en bruto, procedentes de un comercio de procesamiento de pescado, y después usaron un proceso de desmineralización para conseguir que éstas sean traslucidas. El colágeno de las escamas de pescado procesadas sirve como elemento piezoeléctrico activo. El trabajo del grupo podría potencialmente ser de utilidad en la electrónica transparente, la electrónica biocompatible y biodegradable, la electrónica ingerible, los dispositivos médicos implantables autoenergizados, las operaciones quirúrgicas, la vigilancia electrónica de la salud, así como en la diagnosis in vitro e in vivo, aparte de su infinidad de usos para la electrónica portátil (NG, 2016).

## ***CAPÍTULO 3. MATERIALES Y MÉTODOS***

### ***3.1 Caso de estudio***

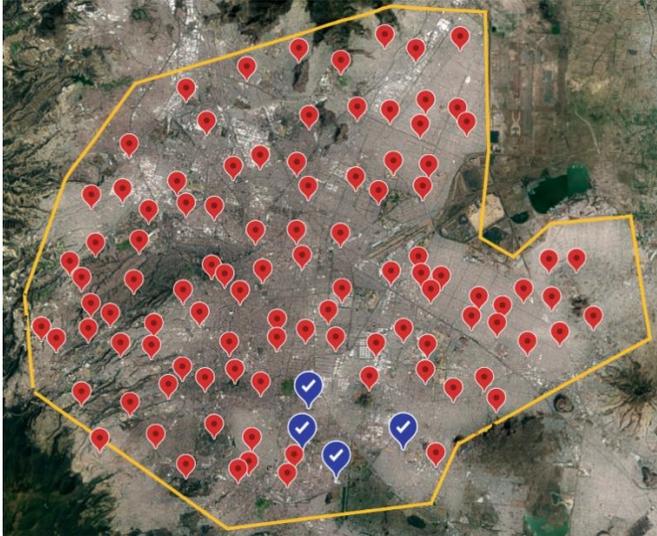
Se podrían utilizar escamas de pescado en lugar de plástico para hacer que los futuros dispositivos electrónicos sean más respetuosos con el medio ambiente. A diferencia del plástico para dispositivos, una película fabricada con escamas de pescado podría disolverse en segundos cuando se le deja caer encima agua caliente, siendo biodegradable. Las escamas de pescado podrían desempeñar un papel importante para hacer que los dispositivos portátiles sean más sostenibles, debido a que diferentes investigadores desarrollan un tipo de película comparable al plástico. Se encontró que una solución de gelatina derivada del colágeno en las escamas de pescado era lo suficientemente flexible y transparente como para ser útil en dispositivos portátiles (ACS Nano, 2020).

Se usó la película para crear un dispositivo electroluminiscente de corriente alterna que continuó brillando incluso después de ser doblado y relajado mil veces, por lo que se concluyó que dichas películas derivadas de escama de pescado eran una alternativa prometedora para una electrónica flexible más sustentable. Este tipo de películas algún día podrían convertirse en algo común en dispositivos electrónicos portátiles y en pantallas plegables después de que los teléfonos inteligentes plegables de diferentes marcas reconocidas internacionalmente fueran lanzados en los últimos años y sufrieran problemas con la flexibilidad de sus pantallas (ACS Nano, 2020).

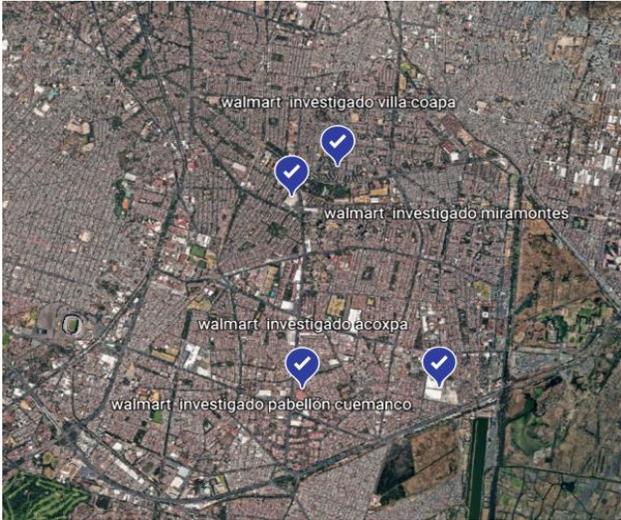
#### ***3.1.1 Escenario problema***

El escenario problema que se seleccionó para realizar el análisis correspondiente de la aplicación de la escama de pescado que se muestran en el presente trabajo, fue la cadena de supermercado Walmart. La cual cuenta con 215 sucursales en la Ciudad de México, donde en cada una de éstas se genera alrededor de 45 L de desecho de pescado al día, lo que significa que en toda la Ciudad de México la cadena Walmart produce 9,675 L de desecho de pescado al día. Sin embargo, los desechos contemplan esqueletos, cabezas, aletas y demás partes de los pescados que para los fines de la investigación no

interesan, por lo que la cantidad estimada de escamas de pescado al día que se generan en toda la Ciudad de México por Walmart, está entre los 600 kg y 700 kg, basándose en entrevistas realizadas en cuatro sucursales (puntos azules) de dicha cadena dentro de la Ciudad de México (delimitada por la línea amarilla), lo anterior se puede observar en la Figura 3.1. Las sucursales que se entrevistaron son: Acoxta, Miramontes, Villa Coapa y Pabellón Cuemanco. Esto se puede ver en la Figura 3.2.



**Figura 3.1 Sucursales de toda la cadena Walmart en Ciudad de México (Google Earth)**

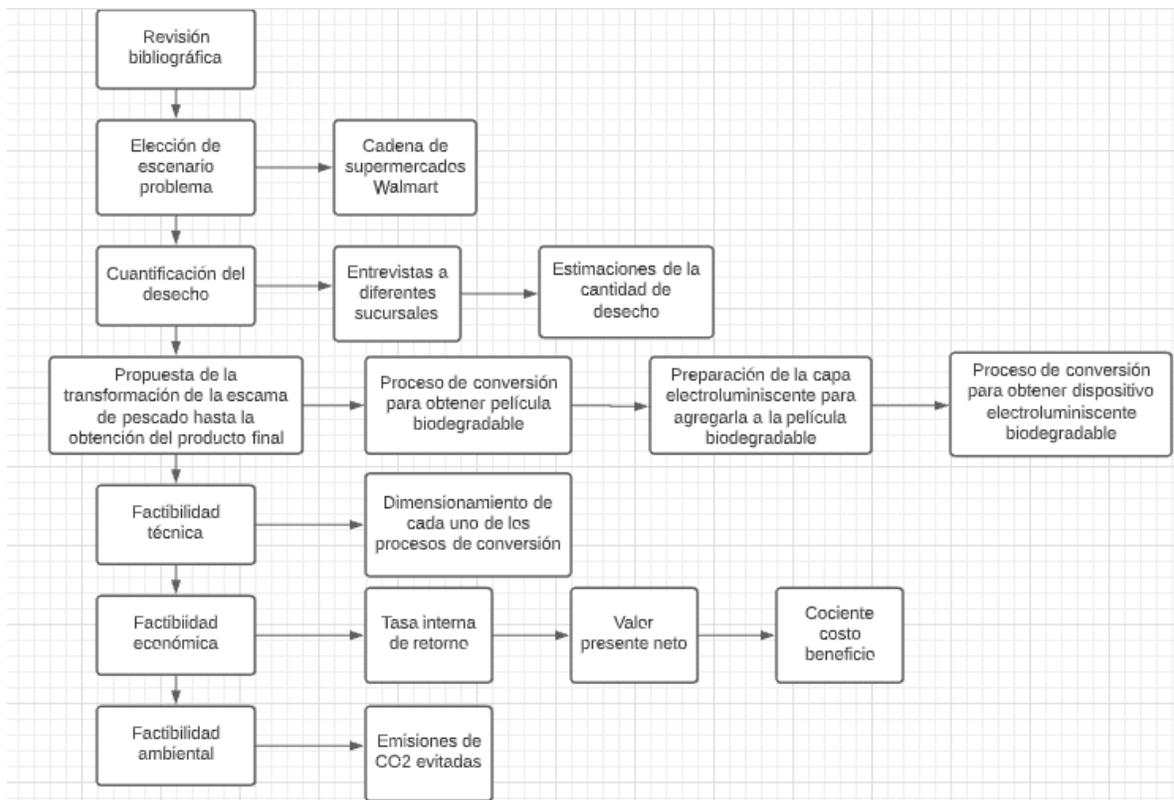


**Figura 3.2 Sucursales de Walmart elegida para realizar entrevista (Google Earth)**

Cabe mencionar que, la materia prima (escamas de pescado) en la cadena de supermercados como en otros establecimientos que son puntos de venta, consideran a todo desecho de pescado, basura, aún significando hasta una tercera parte del costo total por pescado, es decir, entre los 30 y 120 pesos mexicanos por cada uno.

### 3.2 Metodología del proyecto

La metodología general se muestra en la Figura 3.3, donde se observa cada uno de los pasos a seguir para llevar a cabo el proyecto, con el propósito de conseguir los objetivos planteados.



**Figura 3.3 Diagrama general de la metodología de este proyecto**

## ***CAPÍTULO 4. RESULTADOS***

### ***4.1 Caracterización de la biomasa***

La cuantificación del desecho se conoció a partir de la información conseguida en las entrevistas comentadas anteriormente, la cual fue por estimación, debido a que en las sucursales de la cadena de supermercados no se cuantifica, porque se considera basura y simplemente se deshacen de ella. La cantidad de desecho que se produce en la cadena de supermercados en la Ciudad de México (600 a 700 kg al día) se ve como una buena oportunidad, debido a que no se le da ningún uso o aplicación, es decir, no tiene valor alguno para el supermercado, aún, cuando éstas significan entre un 30% y 40% (entre los 30 y 120 pesos mexicanos) del costo por cada pescado, es decir, una pérdida al mes entre 15,000 y 18,000 pesos mexicanos.

La caracterización de las escamas de pescado se puede observar en la Tabla 4.1 que se muestra a continuación:

**Tabla 4.1 Caracterización de las escamas de pescado** (Gómez y Benítez, 2011)

<b><i>Parámetro</i></b>	<b><i>Valor</i></b>
Densidad kg/m <sup>3</sup>	0.65
Humedad	15.18 %
Sólidos totales o materia seca	84.82 %
Sólidos fijos o materia inorgánica en la materia seca	32.08 %
Sólidos volátiles o materia orgánica en la materia seca	67.96 %
Elementos inorgánicos mayoritarios (Al,Ca,Fe,Mg,P,K,Si,Na y Ti)	Valor promedio (mg/100g) Na 72      K 278      Ca 79 Mg 38      P 190
Poder calorífico	581 kJ/100g
Granulometría	15 mm

## **4.2 Propuesta para el proceso de conversión**

Para conseguir la conversión de escamas de pescado a una película biodegradable y a un dispositivo electroluminiscente se requiere realizar el siguiente proceso:

### **4.2.1 Película biodegradable**

Para la preparación de la película se utiliza un método de moldeo en solución. Las escamas de pescado se limpian con agua de grifo para eliminar las impurezas y se secan al sol. Posteriormente, la proteína impura se elimina tratando las escamas de pescado secas con NaOH 0.1 M durante una hora, seguido de un lavado con agua de grifo. Después, las escamas de pescado tratadas con NaOH se tratan adicionalmente con HCl al 10% durante una hora para eliminar los minerales, y luego se enjuagan con agua corriente nuevamente hasta que se vuelvan neutrales. Las escamas de pescado tratadas se secan en un liofilizador y luego se almacenan en el frigorífico para su uso posterior. Por último, se mezclan las escamas de pescado secas con agua desionizada en un recipiente hermético de acero inoxidable y se mantienen a 80°C durante ocho horas. Después de enfriar el sobrenadante obtenido después de una centrifugación, resulta ser la película biodegradable (ACS Nano, 2020).

Posteriormente, se debe hacer un elemento conductor a la película biodegradable mediante el uso de nanocables de plata (Ag NW), a través de un método de recubrimiento por pulverización. Los Ag NW dispersados en etanol se pulverizan en un recipiente ubicado en una placa a 50°C. La solución formada de película biodegradable se vierte sobre el recipiente que contiene los Ag NWs y se secan al aire durante 48 horas en un entorno ventilado y sin polvo. Después de secar, la película biodegradable con nanocables de plata (Ag NW-FG) formada se despegga del recipiente que la contiene y se almacena para su uso posterior (ACS Nano, 2020). Lo anterior se puede observar paso a paso en la Tabla 4.2

**Tabla 4.2 Operaciones unitarias para la conversión de escamas de pescado a película biodegradable** (ACS Nano, 2020)

<b>Operación unitaria</b>	<b>Justificación</b>	<b>Tipo elegido</b>
Recolección	Recolección en las sucursales de la cadena de supermercados	Recuperación de desechos
Secado	Se realiza para quitar la humedad de las escamas	Secadora de bandeja
Lavado	Es para eliminar las impurezas en las escamas de pescado	Reposo en tanque de almacenamiento
Remoción de minerales	Sirve para eliminar el mineral que se encuentra en las escamas	Reposo en tanque de almacenamiento
Secado	Se realiza para que las escamas y su derivado se puedan conservar y manejar a temperatura ambiente	Secadora de bandejas
Enfriamiento	Se realiza para que el derivado se pueda manipular con mayor facilidad	Plancha de calentamiento
Separación	Se hace para obtener el producto a partir del resultante del paso anterior	Embudo de decantación

En la Figura 4.1 se puede observar el balance de materia del primero de los procesos que es el de las escamas de pescado a la película biodegradable.



**Figura 4.1 Balance de materia para el proceso de conversión de escama de pescado a película biodegradable** (ACS Nano, 2020).

#### **4.2.2 Dispositivo electroluminiscente**

Para obtener el dispositivo electroluminiscente se debe realizar la preparación de la capa electroluminiscente, a partir de una solución mixta de etanol, polivilpirrolidona y ZnS, la cual se agita durante doce horas para una dispersión completa. Dicha solución mezclada se reviste por centrifugación sobre la Ag NW-FG a una velocidad de 3000 rpm durante 30 minutos a 50°C. Finalmente, la solución de Ag NWs y 10 mL de solución de PVP se rocían sobre la capa electroluminiscente en una placa caliente a 50°C. Lo anterior se puede observar paso a paso en la Tabla 4.2 y Figura 4.3, donde se muestra cada una de las operaciones unitarias que se deben realizar para conseguir el dispositivo electroluminiscente biodegradable (ACS Nano, 2020).

**Tabla 4.3 Operaciones unitarias para la conversión de escamas de pescado a dispositivo electroluminiscente** (ACS Nano, 2020)

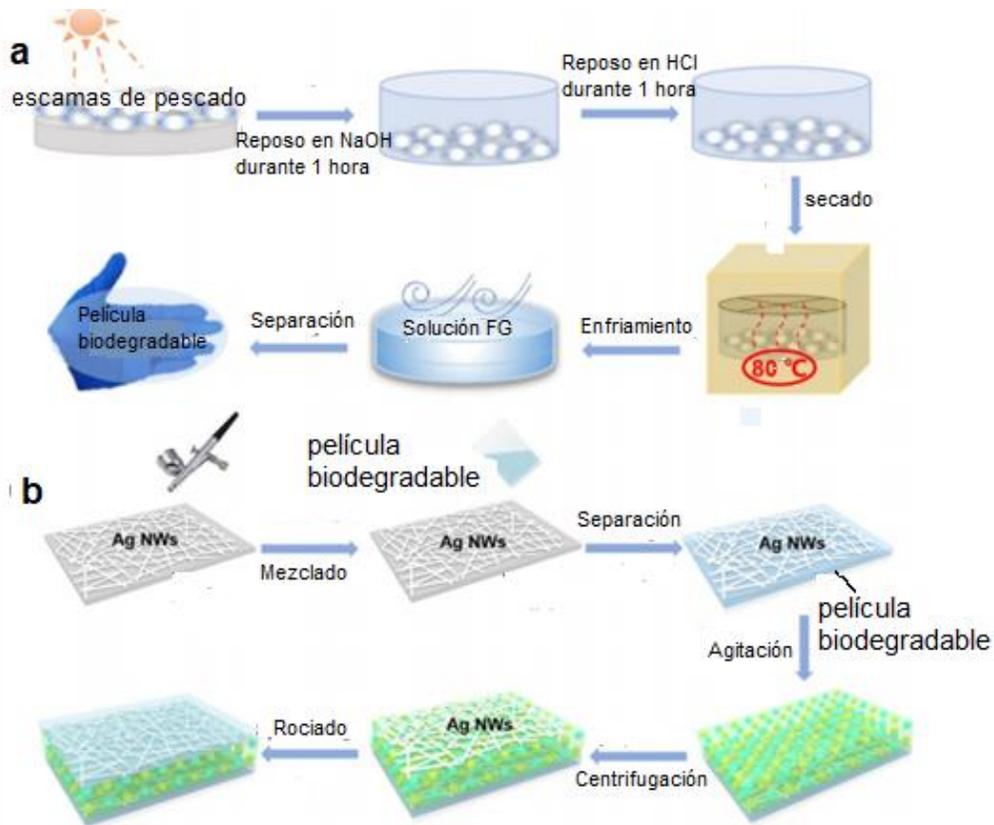
<b>Operación unitaria</b>	<b>Justificación</b>	<b>Tipo elegido</b>
Trituración	Se realiza para conseguir un recubrimiento, a partir de nanocables de plata	Molinos de mortero
Mezclado	Se hace para juntar la película biodegradable junto con los Ag NWs	Manual, usando material de laboratorio para mezclar (vasos de precipitado, tubos de ensayo, matraces, etc.)
Secado	Sirve para hacer que el producto se pueda manipular	Secadora de bandejas
Separación	Se realiza para conseguir la película biodegradable junto con la capa de nanocables de plata	Manual, usando material de laboratorio
Preparación de la capa electroluminiscente	Se realiza para poder agregarla a la película Ag NW-FG	Manual, usando material de laboratorio para mezclar (vasos de precipitado, tubos de ensayo, matraces, etc.)
Agitación	Se realiza para conseguir una dispersión completa de la solución	Agitador automático de palas
Centrifugación	Se realiza para que la solución se revista sobre la película de Ag NW-FG	Máquina centrífuga de rotor
Rociado	La solución se rocía sobre la capa electroluminiscente para obtener el dispositivo	Manual, usando material de laboratorio para mezclar (vasos de precipitado, tubos de ensayo, matraces, etc.)

En un estudio realizado y publicado en un artículo (ACS Nano, 2020), se registró que por cada 200 g de escamas de pescado secas, se pueden obtener hasta 6.66 películas biodegradables, y así con un proceso posterior conseguir el dispositivo electroluminiscente, debido a que una película de éstas requiere de 30 g de escamas tratadas, aproximadamente. Considerando los datos obtenidos de la cuantificación de la biomasa (700 kg/día), se podría producir alrededor de 23,333 películas biodegradables por la recolección de las escamas de pescado de un día. Siendo este escenario, el más optimista, esperando que la recolección de la biomasa sea similar a las estimaciones realizadas (ACS Nano, 2020). En la Figura 4.2 muestra el balance de materia que se tiene en el proceso de conversión de la película biodegradable al dispositivo electroluminiscente.



**Figura 4.2 Balance de materia para el proceso de conversión de escama de pescado a dispositivo electroluminiscente (ACS Nano, 2020).**

El proceso propuesto para la conversión de escamas de pescado a dispositivo electroluminiscente biodegradable se pueden observar en la Figura 4.3.

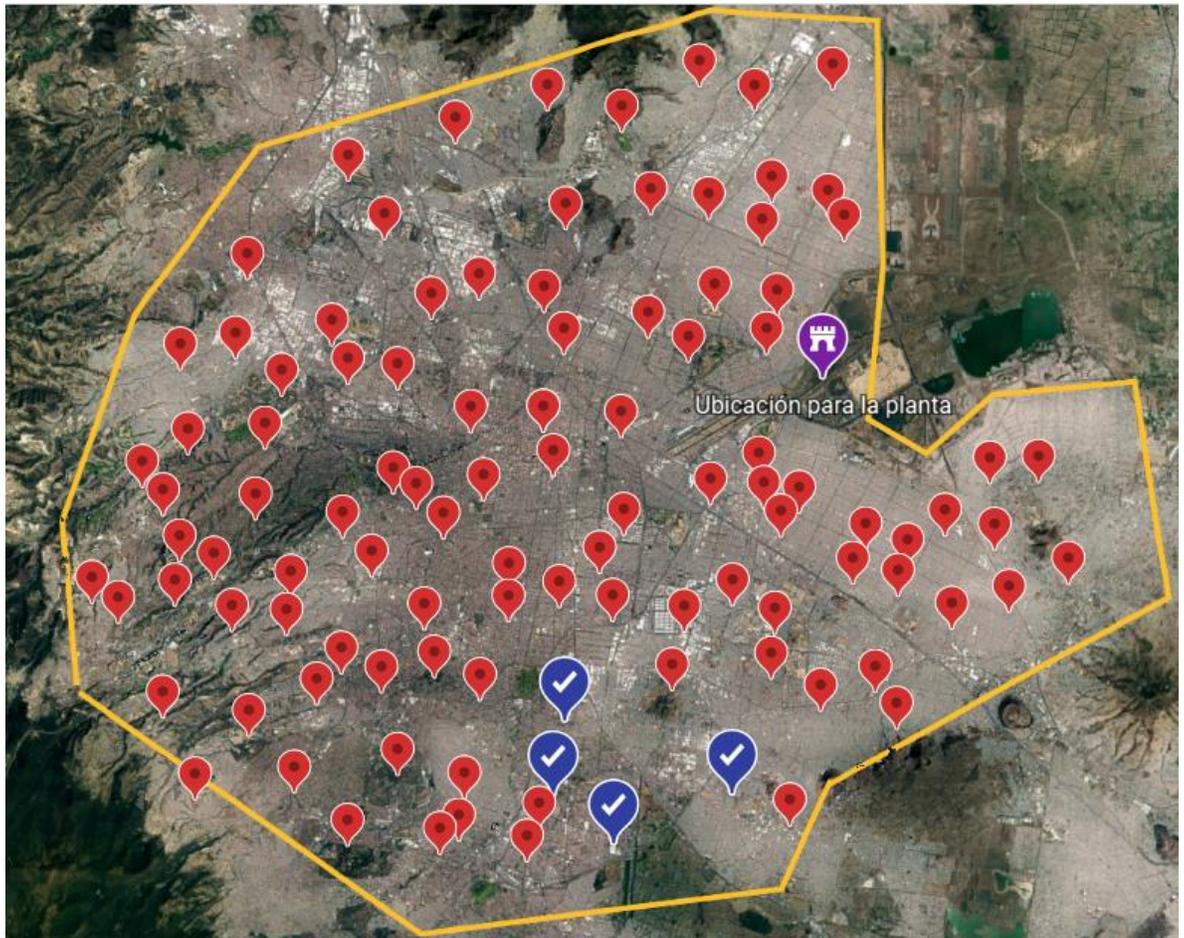


**Figura 4.3. Diagrama esquemático que muestran las operaciones unitarias para (a) película biodegradable y (b) dispositivo electroluminiscente (ACS Nano, 2020).**

#### 4.2.3 Ubicación de la planta de conversión

La propuesta para la ubicación de la planta para la conversión de escamas de pescado a material biodegradable se basa en considerar un lugar que se encuentre a los alrededores de la Ciudad de México, debido a que la recolección de las escamas de pescado se hará a lo largo y ancho de ésta. Además, se seleccionó pensando en necesidades como espacio necesario para la construcción, así como todo el impacto que conlleva el mantenimiento y operación de la planta. El lugar seleccionado con coordenadas 19°27' N 99°01' W se encuentra aproximadamente a 5 km del Aeropuerto

Internacional de la Ciudad de México y alrededor de 3 km de la Alameda Oriente, éste se puede observar con mayor detalle en la Figura 4.4.



**Figura 4.3. Propuesta de ubicación de la planta para la conversión de escamas de pescado a material biodegradable (Google Earth)**

En la Tabla 4.4 se muestra información sobre algunas de las 215 sucursales con las que cuenta la cadena de supermercados Walmart, incluyendo las que se seleccionaron para entrevistar y recabar información útil para el proyecto.

**Tabla 4.4 Sucursales de la cadena de supermercados Walmart**

<b>Nombre de la sucursal</b>	<b>Producción de escamas (kg)</b>	<b>Distancia a la planta propuesta (km)</b>
Patio Santa Fe	2.8	25.4
Taxqueña	2.6	19.7
Plateros	2.9	17.5
Las Águilas	3.0	23.5
San Jerónimo	3.3	22
Olivar del Conde	2.4	22.6
Colinas del Sur	2.2	22.3
Puente Colorado	2.6	23.5
El Rosario	3.1	19.1
Tezozomoc	2.5	13.2
Plaza la Raza	3.2	12.7
Emiliano Zapata	2.8	15.2
Cosmopolita	2.6	14.4
Azcapotzalco	2.4	15.3
Tlalpan	3.4	24.8
Félix Cuevas	3.3	14.8
Universidad	3.2	16.8
Parroquia	3.3	19.2
Portales	2.7	12.8
Gran Sur	3.1	18.7
Copilco	2.8	19.1
Miramontes	3.0	16.3
Periférico Sur	2.7	25
Pabellón Cuemanco	3.2	20.4
Villa Coapa	3.3	17.8
Acoxta	3.1	17.4
Total de escamas de pescado	72.7	

### **4.3 Diseño de las operaciones unitarias del proceso para obtención de la película biodegradable**

Primero, se requiere una secadora que dará el primer proceso a las escamas de pescado recolectadas, para la obtención de la película biodegradable, donde la capacidad de volumen mínimo que debe cumplir es:

$$\text{volumen de la secadora} = \left[ \text{desecho} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{año}} \right) \right] * \frac{\text{tiempo de retención (días)}}{365}$$

Se tiene que:

$$\text{volumen de la secadora} = \left[ \frac{700 \left( \frac{\text{kg}}{\text{día}} \right)}{0.65 \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)} * \left( 365 \left( \frac{\text{días}}{\text{año}} \right) \right) \right] * \left[ \frac{1 \text{ (día)}}{365} \right]$$

$$\text{volumen de la secadora} = 1,077 \text{ m}^3$$

El siguiente proceso, es el reposo de las escamas de pescado junto con el hidróxido de sodio (NaOH) en un tanque de almacenamiento 1.

En este proceso los 700 kg de escamas de pescado que equivalen a un volumen de 1077 m<sup>3</sup> serán los mismos que en el proceso anterior, por lo que el volumen del tanque de almacenamiento será la suma de éste último más el ocupado por el NaOH, entonces:

Sabiendo que, por cada 200 g de escamas de pescado se utilizan 15 mL de NaOH:

$$\text{volumen de NaOH} = \left( \frac{75 \text{ mL}}{1 \text{ kg de escama}} \right) (700 \text{ kg de escama})$$

$$\text{volumen de NaOH} = 52,500 \text{ mL} = 52.5 \text{ L} = 0.0525 \text{ m}^3$$

Conociendo la densidad:

$$\text{masa de NaOH} = (0.0525 \text{ m}^3) \left( 2130 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = 111.825 \text{ kg}$$

$$\text{volumen del tanque de almacenamiento 1} = 1,077 \text{ m}^3 + 0.0525 \text{ m}^3$$

$$\text{volumen del tanque de almacenamiento 1} = 1,077.0525 \text{ m}^3$$

El proceso que sigue es el reposo de las escamas de pescado junto con el ácido clorhídrico (HCl) en un tanque de almacenamiento 2, el cual, debido a que son las mismas condiciones que el proceso anterior, el volumen necesario del tanque es el mismo, es decir:

$$\text{volumen de HCl} = \left( \frac{75 \text{ mL}}{1 \text{ kg de escama}} \right) (700 \text{ kg de escama})$$

$$\text{volumen de HCl} = 52,500 \text{ mL} = 52.5 \text{ L} = 0.0525 \text{ m}^3$$

$$\text{volumen del tanque de almacenamiento 2} = 1077.0525 \text{ m}^3$$

El siguiente paso requiere una secadora que dará un segundo proceso de este tipo a las escamas de pescado recolectadas, donde la capacidad de volumen mínimo que debe cumplir es el mismo al que se mostró en el primer proceso e incluso, se puede hacer uso de la misma secadora.

El siguiente proceso, es el enfriamiento por temperatura ambiente de las escamas de pescado después de pasar por el secado a 80°C. Por lo que, se puede utilizar uno de los tanques de almacenamiento que se calcularon para los dos reposos de las escamas descritos anteriormente, debido a que el volumen de las escamas es el mismo. El último de los procesos para la obtención de la película biodegradable es la separación de la parte no gelatinosa del derivado de las escamas de pescado, a partir de un embudo de decantación del mismo volumen que los tanques de almacenamiento.

Después, se requiere la trituración de nanocables de plata (Ag NWs), a partir de molinos de mortero, debido a que la materia prima que sufre el proceso es un material

seco y sin tanta dureza. El producto de este proceso se colocará en una plancha de calentamiento a 50°C. En la Tabla 4.5 se muestran cada una de las operaciones unitarias que requiere el primer proceso con el cual se obtiene la película biodegradable.

**Tabla 4.5 Dimensionamiento de la planta de conversión para la obtención de la película biodegradable**

<b>Operación unitaria</b>	<b>Características del equipo</b>	<b>Tipo usado</b>
Secado	1,077 m <sup>3</sup> , 3.15 kW	Secadora de bandeja
Lavado	1,078 m <sup>3</sup>	Reposo en tanque de almacenamiento
Remoción de minerales	1,078 m <sup>3</sup>	Reposo en tanque de almacenamiento
Secado	1,077 m <sup>3</sup> , 3.15 kW	Secadora de bandeja
Enfriamiento	1,078 m <sup>3</sup> , rango de temperatura de 50°C a 150°C	Plancha de calentamiento
Separación	1,078 m <sup>3</sup>	Embudo de decantación
Área total requerida aproximada	13,000 m <sup>2</sup>	
Materia prima	700 kg de escamas de pescado	
Producto generado	23,333 películas biodegradables	

#### **4.4 Diseño de las operaciones unitarias del proceso para obtención del dispositivo electroluminiscente**

Posteriormente, se debe de agregar al producto del último proceso la película biodegradable sobre una plancha a temperatura ambiente durante 48 horas en un lugar donde haya ventilación constante y libre de polvo. El paso siguiente se trata de obtener la película AgNW-FG formada después del reposo a temperatura ambiente, separándola de la plancha donde se hizo el último proceso.

Para el siguiente paso, se debe de preparar la capa electroluminiscente a partir de una solución descrita anteriormente (para obtener la capa electroluminiscente). Para 2 mL de solución por cada 30 g de escamas de pescado tratadas, por lo que, para los 700 kg que se recolectan se necesitan:

$$\text{volumen de solución} = \left( \frac{2\text{mL}}{0.03 \text{ Kg de escama}} \right) (700 \text{ kg de escama})$$

$$\text{volumen de solución} = 46,666.6 \text{ mL} = 46.6 \text{ L}$$

Para la preparación de esos 46.6 L, se requieren:

- 9.3 kg de Polivinilpirrolidona (PVP)
- 18.6 kg de Sulfuro de Zinc (ZnS)

En el siguiente proceso, se requiere realizar una agitación durante 12 horas a partir de un agitador o mezclador automático. Después, se realiza una centrifugación a 50°C durante 30 minutos con una máquina centrífuga. Por último, se debe de rociar la solución de Ag NWs y 10 mg de PVP sobre la capa electroluminiscente sobre la plancha de calentamiento a 50 °C. Se utilizan 10 mg de PVP por cada 30g de escamas de pescado tratadas, por lo que, para los 700 kg que se recolectan se necesitan:

$$\text{PVP} = \left( \frac{10\text{mgPVP}}{0.03 \text{ Kg de escama}} \right) (700 \text{ kg de escama})$$

$$\text{PVP} = 233,333.3 \text{ mg} = 0.233 \text{ kg}$$

En la Tabla 4.6 se muestran cada una de las operaciones unitarias que requiere el segundo proceso con el cual se obtiene el dispositivo electroluminiscente.

**Tabla 4.6 Dimensionamiento de la planta de conversión para la obtención de la película biodegradable**

<b>Operación unitaria</b>	<b>Características del equipo</b>	<b>Tipo usado</b>
Trituración	20-150 mm tamaño de salida, 120 HP	Molinos de mortero
Mezclado hidráulico	variado	Manual, usando material de laboratorio para mezclar (vasos de precipitado, tubos de ensayo, Matraces, etc.)
Secado	1,077 m <sup>3</sup> , 3.15 kW	Secadora de bandejas
Separación	Variado	Manual, usando material de laboratorio
Preparación de la capa electroluminiscente	52.5 L de Hidróxido de sodio (NaOH) 0.1 M y 52.5 L de Ácido clorhídrico (HCl) al 10%	Manual, usando material de laboratorio para mezclar (vasos de precipitado, tubos de ensayo, Matraces, etc.)
Agitación	12 horas de período mínimo de trabajo, 3.7 kW	Agitador automático de palas
Centrifugación	30 minutos de período mínimo de trabajo, temperatura mínima de 50°C, 1077 m <sup>3</sup> , 7.5 kW	Máquina centrífuga de rotor
Rociado	variado	Manual, usando material de laboratorio para mezclar
Área total requerida aproximada	25,000 m <sup>2</sup>	
Materia prima	23,333 películas biodegradables	
Producto generado	23,333 dispositivos electroluminiscentes	

#### 4.5 Factibilidad económica

Con los datos mostrados anteriormente, se cálculo el costo aproximado de cada uno de los equipos y materiales que se requieren para la conversión de escamas de pescado a dispositivo electroluminiscente biodegradable, se muestra en la Tabla 4.7

**Tabla 4.7 Costo de equipos y materiales para la conversión de escamas de pescado a material biodegradable a escala industrial**

<b>Equipo o material</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Menor costo(USD)</b>	<b>Mayor costo (USD)</b>
Secadora	1,077	m <sup>3</sup>	200,000	400,000
Tanque de almacenamiento 1	1,078	m <sup>3</sup>	160,000	200,000
Tanque de almacenamiento 2	1,078	m <sup>3</sup>	160,000	200,000
Embudo de decantación	1,078	m <sup>3</sup>	15,000	18,500
Molinos de mortero	Granulometría inicial: 15	mm	15,000	40,000
Plancha de calentamiento	Rango mínimo de temperatura: 50	°C	1,900	5,600
Material de laboratorio para mezcla	Variado	mL	80	120
Agitador automático	Período mínimo de trabajo: 12	horas	19,000	25,000
Máquina centrífuga	Período mínimo de trabajo: 30 Temperatura mínima: 50	min °C	25,000	35,000
Hidróxido de sodio (NaOH) 0.1 M	52.5	L	845	1,701
Ácido clorhídrico (HCl) al 10%	52.5	L	930	1,312
Solución capa electroluminiscente	46.6	L	812	2,030
Polivinilpirrolidona (PVP)	0.233	kg	7	21
Otros equipos y materiales	-	-	20,000	25,000
<b>Total (\$USD)</b>			<b>618,699</b>	<b>954,432</b>

Para conocer si es conveniente invertir en las plantas para la conversión de escamas de pescado a película biodegradable y de éste último a un dispositivo electroluminiscente es necesario conocer algunos parámetros que resultan de un análisis financiero, los cuales se enuncian a continuación.

#### *Valor Presente Neto (VPN)*

El VPN indica el valor “al día de hoy” del flujo del efectivo generado por el proyecto en el horizonte de evaluación y puede definirse como el valor monetario que resulta de restar la suma de los flujos de efectivo descontados a la inversión inicial. Suma los flujos descontados en el presente y restar la inversión inicial equivale a comparar todas las ganancias esperadas contra todos los desembolsos necesarios para producir dichas ganancias, en términos de su valor equivalentes en este momento o tiempo cero (Reyes, 2010).

Para calcular el VPN se utiliza una tasa de descuento  $r$ , el cual se refleja al costo de oportunidad de los recursos. La expresión matemática para calcular el VPN es:

$$VPN = \sum_{t=0}^{t=n} \frac{FE_t}{(1+r)^t}$$

Donde:

$FE_t$ : representa el flujo de efectivo en cada periodo de tiempo “ $t$ ”

La tasa de descuento o costo de oportunidad del dinero está representada por “ $r$ ”

$n$ : es la vida útil de la inversión

$\Sigma$ : es la suma del valor presente neto de los flujos de efectivo descontados

Este indicador quiere decir que si el VPN es positivo, entonces el proyecto es rentable, y que invertir generará ganancias al ejecutarlo, por otro lado, si el VPN es negativo indica que se tendrán pérdidas en caso de llevarlo a cabo y por lo tanto, la realización del proyecto no es conveniente.

#### *Tasa Interna de Retorno (TIR)*

Este parámetro indica la rentabilidad de realizar un proyecto y a su vez es la tasa de descuento que hace que el VPN sea igual a cero. La regla de decisión para este indicador es aceptar los proyectos cuya TIR sea igual o mayor a la tasa de descuento. La TIR solo es útil, cuando los proyectos se comportan normalmente, es decir, cuando los primeros flujos de efectivo son negativos y los siguientes son positivos, pero si cambia el signo más de una vez de los flujos netos del proyecto, se pueden obtener diferentes valores de TIR. Su expresión matemática es la siguiente:

$$VPN = \sum_{t=0}^{t=n} \frac{FE_t}{(1 + TIR)^t} = 0$$

#### *Coeficiente Costo / Beneficio (CB)*

Este indicador es la ganancia que se obtiene de un proceso económico. Se basa en el valor presente, y resultado de dividir el valor presente de los ingresos menos gastos entre el valor presente de la inversión. Su expresión matemática es la siguiente:

$$Relación\ CB = \frac{VPNB}{VPNI}$$

Donde:

VPNB: valor presente neto de los beneficios

VPNI: valor presente neto de la inversión

#### **4.5.1 Evaluación económica de la planta de conversión a película biodegradable**

Para las dos plantas propuestas se considera, el costo más elevado de la planta para la conversión de escamas a material biodegradable expuesto en la Tabla 4.8, es decir, 954,432 dls, o el equivalente actual de aproximadamente 19,088,640 pesos, la recuperación de la inversión involucra varios factores.

Conociendo algunos datos como el costo promedio de una pantalla para dispositivo portátil convencional, donde en el mercado se encuentre en los 7.30 dólares

por unidad, así como, que en la planta propuesta se producen alrededor de 23,000 dispositivos electroluminiscentes cada veinte días, aproximadamente, y suponiendo un 20% anual del valor total de la planta por costos de recolección de materia prima, renta de la localidad y de operación y mantenimiento de la planta, es decir, 190,886.40 dlls, con un 10% de incremento en la tasa anual. Sin embargo, cabe mencionar que el producto del primer proceso, la película biodegradable, no es el producto de mayor interés, sino el producto del segundo proceso, por lo que los resultados de la evaluación económica de la planta de conversión a la película biodegradable no serán favorables. En la Tabla 4.8 se muestran los flujos de efectivo de la operación de la planta de conversión del primer proceso.

**Tabla 4.8 Parámetros económicos asociados a la operación de la planta de la película biodegradable**

<i>t mes</i>	<b>Gastos</b>			<b>Ingresos</b>	<b>Flujo neto</b>	<b>Acumulado</b>
	<i>Inversión inicial</i>	<i>Costos fijos</i>	<i>Incremento mensual 1%</i>	<i>Ventas del dispositivo</i>	<i>Flujo de efectivo neto</i>	
cantidades en dólares						
0	-954,432	0		0	-954,432	-954,432
1		-15,907.20	-16,066.27	0.00	-16,066.27	-970,498.27
2		-15,907.20	-16,225.34	0.00	-16,225.34	-986,723.62
3		-15,907.20	-16,384.42	0.00	-16,384.42	-1,003,108.03
4		-15,907.20	-16,543.49	0.00	-16,543.49	-1,019,651.52
5		-15,907.20	-16,702.56	0.00	-16,702.56	-1,036,354.08
6		-15,907.20	-16,861.63	0.00	-16,861.63	-1,053,215.71
7		-15,907.20	-17,020.70	0.00	17,020.70	-1,036,195.01

Con los datos que se obtuvieron en la Tabla 4.8, se pueden calcular los indicadores económicos que se muestran a continuación.

*Valor Presente Neto (VPN)*

$$VPN = \left| \frac{-16,066.27}{(1 + 0.21)^1} \right| + \left| \frac{-16,225.34}{(1 + 0.22)^2} \right| + \left| \frac{-16,384.42}{(1 + 0.23)^3} \right| + \left| \frac{-16,543.49}{(1 + 0.24)^4} \right| + \left| \frac{-16,702.56}{(1 + 0.25)^5} \right| + \left| \frac{-16,861.63}{(1 + 0.26)^6} \right| + \left| \frac{-17,020.70}{(1 + 0.27)^7} \right|$$

$$VPN = -52,862.32 \text{ dólares}$$

*Tasa Interna de Retorno (TIR)*

$$VPN = \sum_{t=0}^{t=n} \frac{FE_t}{(1 + TIR)^t} = \textit{negativa}$$

*Coeficiente Costo / Beneficio (CB)*

$$\textit{Relación CB} = \frac{VPNB}{VPNI} = -0.06$$

En la Tabla 4.9, se pueden observar los parámetros que arroja el análisis financiero de la propuesta de la planta de conversión de escamas de pescado a película biodegradable, los cuales indican que en tanto a las proyecciones del proyecto, sí es rentable

**Tabla 4.9 Indicadores de rentabilidad económica de la planta de la película biodegradable**

<b>Indicador económico</b>	<b>Valor</b>
Valor presente neto	\$-52,862.32 dólares
Tasa Interna de Retorno	negativa
Cociente B/C	-0.06

#### **4.5.2 Evaluación económica de la planta de conversión a dispositivo electroluminiscente**

Para el análisis de la planta de conversión a dispositivo electroluminiscente se consideraran las mismas condiciones que se tomaron en cuenta para el primero de los procesos. Además, se estima que, vendiendo en su totalidad a los clientes potencialmente interesados en el dispositivo electroluminiscente biodegradable, se puede generar 83,950 dólares por la cantidad estimada de un día de escamas de pescado y producidas en veinte días por cuestión de la recolección de la materia prima, el proceso en general y todo lo relacionado con la logística de la entrega del producto a los compradores. En la Tabla 4.10 se muestran los flujos de efectivo de la operación de la planta de conversión a dispositivo electroluminiscente.

**Tabla 4.10 Parámetros económicos asociados a la operación de la planta del dispositivo electroluminiscente**

<i>t</i> mes	Gastos			Ingresos	Flujo neto	Acumulado
	<i>Inversión inicial</i>	<i>Costos fijos</i>	<i>Incremento mensual 1%</i>	<i>Ventas del dispositivo</i>	<i>Flujo de efectivo neto</i>	
cantidades en dólares						
0	-954,432	0		0	-954,432	-954,432
1		-15,907.20	-16,066.27	83,950.00	67,883.73	-886,548.27
2		-15,907.20	-16,225.34	167,900.00	151,674.66	-734,873.62
3		-15,907.20	-16,384.42	251,850.00	235,465.58	-499,408.03
4		-15,907.20	-16,543.49	335,800.00	319,256.51	-180,151.52
5		-15,907.20	-16,702.56	419,750.00	403,047.44	222,895.92
6		-15,907.20	-16,861.63	503,700.00	486,838.37	709,734.29
7		-15,907.20	-17,020.70	587,650.00	604,670.70	1,314,404.99

Con los datos que se obtuvieron en la Tabla 4.10, se pueden calcular los indicadores económicos que se muestran a continuación.

*Valor Presente Neto (VPN)*

$$VPN = \left| \frac{67,883.73}{(1 + 0.21)^1} \right| + \left| \frac{151,674.66}{(1 + 0.22)^2} \right| + \left| \frac{235,465.58}{(1 + 0.23)^3} \right| + \left| \frac{319,256.51}{(1 + 0.24)^4} \right| + \left| \frac{403,047.44}{(1 + 0.25)^5} \right| + \left| \frac{486,838.37}{(1 + 0.26)^6} \right| + \left| \frac{604,670.70}{(1 + 0.27)^7} \right|$$

$$VPN = 786,786.76 \text{ dólares}$$

*Tasa Interna de Retorno (TIR)*

$$VPN = \sum_{t=0}^{t=n} \frac{FE_t}{(1 + TIR)^t} = 20\%$$

*Coefficiente Costo / Beneficio (CB)*

$$\text{Relación CB} = \frac{VPNB}{VPNI} = 0.99$$

En la Tabla 4.11, se pueden observar los parámetros que arroja el análisis financiero de la propuesta de la planta de conversión de escamas de pescado a

dispositivo electroluminiscente, los cuales indican que en tanto a las proyecciones del proyecto, sí es rentable

**Tabla 4.11 Indicadores de rentabilidad económica de la planta del dispositivo electroluminiscente**

<b>Indicador económico</b>	<b>Valor</b>
Valor presente neto	\$786,786.76 dólares
Tasa Interna de Retorno	20%
Cociente B/C	0.99
Tiempo de recuperación	5 meses

#### **4.6 Factibilidad ambiental**

Debido a que no hay datos específicos sobre la emisión de los gases de efecto invernadero (GEI) por los desechos de pescado, pero sí de residuos sólidos urbanos (RSU), los cuales consideran a éstos dentro de su composición, se utilizarán esos datos para hacer los cálculos correspondientes.

Un estudio realizado en el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático para la evaluación de los factores de emisiones de desechos tipo RSU en las ciudades de Nuevo Laredo, Puebla y Mérida, arrojó que en promedio existe un factor de 0.1 Gg CH<sub>4</sub>/Gg RSU, es decir, que por cada mil toneladas de RSU, se produce un aproximado de 100 toneladas de metano (INECC, 2015).

Por otra parte, un estudio de la Universidad de Dinamarca toma como referencia el factor de 1,000 kg de CO<sub>2</sub> equivalente por cada tonelada de RSU de un basurero abierto, por lo que se tomará este valor para el cálculo de reducción de emisiones (Manfredi y col., 2009).

Considerando que se planean aprovechar 700 kg de escama de pescado al día en toda la cadena de supermercado Walmart, se tiene que:

$$\text{Escamas de pescado al año} = (700 \text{ kg día})(365 \text{ días})$$

$$\text{Escamas de pescado al año} = 255.5 \left[ \frac{\text{toneladas de escamas}}{\text{año}} \right]$$

Así, las emisiones evitadas por el aprovechamiento de las escamas de pescado son:

$$Emisiones\ evitadas = 255.5 \left[ \frac{\text{toneladas de } CO_2}{\text{año}} \right]$$

Las emisiones evitadas calculadas, según un estudio publicado (INECC, 2015) equivale a la cantidad de CO<sub>2</sub> que emiten durante toda su vida útil 10.64 automóviles, o bien, lo que 232,272 personas vierten a la atmósfera con su respiración en un día, aproximadamente.

En la Tabla 4.12 se muestran los datos que arrojaron el estudio de la factibilidad de la planta que se mostraron a lo largo del documento, así como los cálculos y análisis que conlleva para conocer cada uno de éstos.

**Tabla 4.12 Resumen de los resultados de la factibilidad de las plantas**

<b>Parámetro</b>	<b>Valor con unidades</b>
<i>Volumen retirado de los tiraderos</i>	<i>1,077 m<sup>3</sup>/año</i>
<i>Emisiones evitadas</i>	<i>Emisiones de 10.61 automóviles durante toda su vida útil</i>
<i>Inversión inicial aproximada</i>	<i>954, 432 dólares</i>
<i>Planta de conversión a película biodegradable</i>	
<i>Área de construcción aproximada</i>	<i>13,000 m<sup>2</sup></i>
<i>Valor presente neto</i>	<i>\$-52,862.32 dólares</i>
<i>Tasa interna de retorno</i>	<i>negativa</i>
<i>Cociente B/C</i>	<i>-0.06</i>
<i>Planta de conversión a dispositivo electroluminiscente</i>	
<i>Área de construcción aproximada</i>	<i>25,000 m<sup>2</sup></i>
<i>Valor presente neto</i>	<i>\$786,786.76 dólares</i>
<i>Tasa interna de retorno</i>	<i>20%</i>
<i>Cociente B/C</i>	<i>0.99</i>

## *CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES*

Algunas de las ventajas que tienen los dispositivos electroluminiscentes de corriente alterna son el bajo consumo de energía, luminiscencia uniforme, fácil fabricación y una alta eficiencia de conversión de energía, lo que genera mucho menos calor en comparación con los dispositivos de luminiscencia impulsados por corriente continua.

Uno de los requisitos fundamentales para los dispositivos electrónicos portátiles es la flexibilidad, que permite que los dispositivos se adapten a los cambios mecánicos, como doblarse, plegarse o torcerse. Para esto, es necesario desarrollar sustratos transparentes y flexibles e integrarlos con materiales luminosos. Hasta ahora, el tereftalato de polietileno (PET), el naftalato de polietileno (PEN) y el policarbonato (PC), son los que se han utilizado más ampliamente. Sin embargo; estos plásticos suelen estar hechos de petróleo crudo, que contaminan gravemente las aguas subterráneas y el aire, teniendo impactos irreversibles en el medio ambiente. Por lo que, resulta urgente encontrar un material ecológico para la realización de dispositivos electroluminiscentes de corriente alterna.

Los dispositivos electroluminiscentes biodegradables ofrecen características de flexibilidad y transparencia similares a los que se obtienen de materiales indegradables como el PET, PEN y PC. Además, tienen un gran valor agregado, debido a que utilizan como materia prima escamas de pescado, que son sostenibles, rentables y ecológicas, lo que permite que estos dispositivos podrían disolverse en agua a 60°C en pocos minutos y degradarse completamente en 24 días en el suelo, según datos expuestos en el artículo publicado por ACS Nano.

Es por esto que los dispositivos electroluminiscentes sostenibles, flexibles y transparentes son una alternativa prometedora para sustratos ecológicos y degradables en el campo de la electrónica flexible, incluidas las pantallas plegables, los dispositivos portátiles e inclusive el control de la salud.

El estudio de la factibilidad mostrado a lo largo de este documento del proceso de conversión de escamas de pescado a material biodegradable propuesto, se realizó siempre tomando en cuenta el objetivo general, el cual resalta la importancia de generar la producción de un dispositivo electroluminiscente biodegradable a partir de escamas de

pescado. Además, deja observar que son muchos los factores que se necesitan controlar para tener un correcto funcionamiento del proceso de conversión, con la única finalidad de que sea rentable y cumpla con la demanda con la cual fue diseñada.

Considerando el tiempo en que se recuperaría la inversión, las facilidades de diseño y construcción, así como las emisiones evitadas por el aprovechamiento de la biomasa, deja ver una propuesta que permitiría producir un material biodegradable y competitivo contra los materiales convencionales, que por sus características puede ser una alternativa prometedora para su uso en la industria de la electrónica.

## *Referencias bibliográficas*

ACS Nano, 2020. Películas de gelatina de pescado sostenibles y transparentes para dispositivos electroluminiscentes flexibles. ***American Chemical Society Nano***. 14(4), 3876–3884.

Bae, I., Osatomi, K., Yoshida, A., Osako, K., Yamaguchi, A., y Hara, K. 2008. Propiedades bioquímicas de colágenos solubles en ácido extraídos de la piel de peces subutilizados. ***Food Chemistry***. 108(1), 49–54.

Benítez, M. y Gómez, J. 2011. Evaluar el posible uso de la escama de cachama (*Piaractus Brachypomus*) y tilapia (*Oreochromis sp.*) como desecho de la producción piscícola en procesos de nutrición animal y como enmienda en suelos de la región. Tesis de grado. Ingeniero Agrónomo. Villavicencio, Universidad de los Llanos, Colombia.

Campitelli, P., Ceppi, S., Velasco, M., y Rubenacker, A. 2014. Compostaje: obtención de abonos de calidad para las plantas. Editorial Brujas. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Buenos Aires, Argentina.

Carbajal, A., 2013. Manual de nutrición y dietética. Departamento de Nutrición. Facultad de Farmacia. Publicación de la Universidad complutense de Madrid. Madrid, España.

Cowey, C.B. y Luquet, P., 1983. Bases fisiológicas del requerimiento proteico de los peces. Análisis Crítico de Provisiones En: Actas IV Symposium Protein Metabolism and Nutrition. Clermont-Ferrand, Francia.

Dabrowski, K. y Guderley, H., 2002a. Metabolismo intermedio. ***Fish Nutrition***. 3(1): 309-367.

Espinosa de Aquino, W., Goddard M., Gutiérrez, C., y Bonfil, C., 2009. Los biocombustibles. ***¿Cómoves?***. 1(1):10-14.

FAO, 2018. El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Publicación de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma, Italia.

FAO, 1998. El pescado fresco: su calidad y cambios de su calidad. Publicación de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Laboratorio tecnológico, Universidad Técnica, Copenhague, Dinamarca.

Fernández-Güelfo, L.A. 2008. Caracterización cinética de la degradación anaerobia termofílica seca de la FORSU. Efecto de diferentes pretratamientos sobre la biodegradabilidad del residuo. Departamento de Ingeniería Química, Tecnología de Alimentos y Tecnologías del Medio Ambiente, Universidad de Cádiz, España, España.

Flores, C. 2017. Extracción de colágeno de las escamas de pescado utilizando diferentes niveles de rennina. Tesis de grado. Ingeniero en Industrias Pecuarias. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador.

García, E., 2017. Aprovechamiento de escamas de pescado provenientes de residuos sólidos urbanos (RSU) para la obtención de colágeno y su uso en la preparación de composites con hidroxiapatita. Tesis de Maestría de Ciencias e Ingeniería Ambiental, Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco, Ciudad de México, México.

Gómez-Guillén, M., Giménez, B., López-Caballero, M., y Montero, M. 2011. Propiedades funcionales y bioactivas del colágeno y la gelatina de fuentes alternativas. ***Food Hydrocolloids***. 25(8), 1813–1827.

Hall, E. R., y Larry Cottam, G. 1978. Isoenzimas de la piruvato quinasa en vertebrados: sus propiedades físicas, químicas, cinéticas e inmunológicas. ***International Journal of Biochemistry***, 9(11). 785–794.

INECC, 2015. Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990-2015. Publicación del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Ciudad de México, México.

IIT, 1975. Plantas de biogás, diseño, construcción y operación. Publicación del Instituto de Investigaciones Tecnológicas. Bogotá, Colombia.

Karim, A. A.; Bhat, R. Fish, 2009. Gelatina: propiedades, desafíos y perspectivas como alternativa a las gelatinas de mamíferos. **Food hydrocolloids**. 23(1):563-576.

Liu, D. C., Y. K. Lin y M. T. Chen, 2001. Estado óptimo de extracción de colágeno de patas de pollo y sus características. **Asian Australasian Journal of Animal Science**. 14(1):1638-1644.

Maciel, C., 2014. Biocombustibles: desarrollo histórico-tecnológico, mercados actuales y comercio exterior. Facultad de Economía. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México.

MALGAS, 2014. Guía: Oportunidades de negocio alrededor de las microalgas. Parque Científico y Tecnológico de Gijón. Editorial AST Ingeniería S. L., España.

Manfredi, S., Tonini, D., Christensen, T. H., y Scharff, H. 2009. Vertedero de residuos: contabilización de los gases de efecto invernadero y contribuciones al calentamiento global. Waste Management y Research: **The Journal for a Sustainable Circular Economy**. 27(8): 825–836.

Mathews, C. 2002. Bioquímica. 3ra. ed. Pearson Educación S.A. pp. 192-195. Madrid, España.

Mc Cabe W., Smith J., Harriott, P., 2007. Operaciones unitarias de ingeniería química. En: Propiedades y tratamiento de partículas sólidas. Pág. 1011-1017. Mc Graw-Hill. Serie:Ingeniería química. Ciudad de México, México

Mendoza, D., Montes de Oca, P., Gutiérrez, C., González, P., Sántibañez- Sánchez, F., y Villa-Sánchez, G. 2019. Las escamas de pescado como materia prima para el

desarrollo de sensores de radiación. ***Padi boletín científico de ciencias básicas e ingenierías del ICBI***. 7(2):104-108.

Miranda, R., 2002. Caracterización de escamas de pescado. España: Publ. Biol. Universidad de Navarra. Pamplona, España.

NG, 2016. Desechos de pescado como fuente de energía. Publicación de National Geographic España, España.

Pérez, Z. y García, M., 2009. Modelos adaptativos en zoología. Esqueletos: hidrostatos, exoesqueletos y endoesqueletos. ***Reduca Biología***. 2 (2):54-69.

Quintero, J., y Zapata, J. E., 2017. Optimización de la extracción del colágeno soluble en ácido de subproductos de tilapia roja mediante un diseño de superficie de respuesta. ***Información tecnológica***. 28(1):109-120.

Reyes, J. 2010. Generación de energía eléctrica a partir de residuos con biodigestores. Tesis de Licenciatura de Ingeniería Eléctrica Electrónica. Facultad de Ingeniería Ciudad Universitaria, UNAM. Ciudad de México, México.

Reynoso, J. 2011. Prototipo para la generación de biogás a partir de desechos orgánicos en una casa urbana. Tesis de Licenciatura de Ingeniería. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México.

Rivera, E., 2018. Evaluación de la efectividad del método de sedimentación para la cosecha de microalgas con potencial para la producción de biocombustibles. Tesis de Licenciatura de Biología. Facultad de Estudios Superiores "Zaragoza", Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México.

SAGARPA, 2014. Anuario Estadístico de Pesca 2014. Publicación de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Ciudad de México, México.

Salinas, E. y Gasca, V. 2009. Los biocombustibles. **El cotidiano**. 157(10):75-82.

Sanz, E. 2016. Evaluación del potencial de producción de biocombustibles a partir de microalgas. Tesis de Licenciatura de Ingeniería Química. Universidad de Valladolid, España.

Seilez, I., Panserat, S., Lansard, M., Polakof, S. y Surget, A., 2011. La proporción de carbohidratos a proteínas en la dieta afecta la señalización de TOR y la expresión génica relacionada con el metabolismo en el hígado y el músculo de la trucha arcoíris después de una sola comida. **British Journal of Nutrition**. 300(1):733-743.

Sharpe, P. T., 2001. Desarrollo de la piel en peces óseos con especial énfasis en la deposición de colágeno en la dermis del pez cebra. *El Diario Internacional de Biología del Desarrollo*, pp: 217 – 231. Sevilla, España.

Sierra, D., Orozco, C., Quintana, M., y Ospina, W. 2013. Optimización de un protocolo de extracción de quitina y quitosano desde caparazones de crustáceos. **Scientia et Technica**. 18 (1): 260-266.

Vessilind, P., Willia, W y Reinhart, D. 2002. *Solid Wastes Engineering*. Ed. Brooks/cole Thomson Learning. California, EE.UU.

Warren, M. 2007. *Operaciones Unitarias En Ingeniería Química (7.a ed.)*. McGraw Hill Education. Ciudad de México, México.