

**UCLV**  
Universidad Central  
"Marta Abreu" de Las Villas



**FQF**  
Facultad de  
Química y Farmacia

Departamento de Ingeniería Química

## **TRABAJO DE DIPLOMA**

**Título:** Determinación de la factibilidad de una planta para la reutilización de cáscaras de huevos como suplemento en la alimentación animal.

**Autor:** Yosviel Reyes Delgado

**Tutor:** Dra.C. Isabel Cabrera Estrada

Noviembre, 2022  
Santa Clara  
Copyright©UCLV

**UCLV**  
Universidad Central  
"Marta Abreu" de Las Villas



**FQF**  
Facultad de  
Química y Farmacia

Chemical Engineering Department

## **DIPLOMA THESIS**

Title: Determination of the feasibility of a plant for the reuse of egg shells as a supplement in animal feed.

Author: Yosviel Reyes Delgado

Thesis Director: Dra.C. Isabel Cabrera Estrada

November, 2022

Santa Clara

Copyright©UCLV

Este documento es Propiedad Patrimonial de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, y se encuentra depositado en los fondos de la Biblioteca Universitaria “Chiqui Gómez Lubian” subordinada a la Dirección de Información Científico Técnica de la mencionada casa de altos estudios.

Se autoriza su utilización bajo la licencia siguiente:

**Atribución- No Comercial- Compartir Igual**



Para cualquier información contacte con:

Dirección de Información Científico Técnica. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Carretera a Camajuaní. Km 5½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP. 54 830

Teléfonos.: +53 01 42281503-1419



ACTA DE CONFORMIDAD PAI A ESTUDIANTES DE PREGRADO  
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas

Por una parte: Yosiel Reyes Delgado estudiante de la carrera de: Ingeniería Química en la facultad de: Química y Farmacia en lo adelante **EL ESTUDIANTE**. Con número de identidad permanente: 99111511181 o pasaporte: \_\_\_\_\_.

Y por otra parte Dr. C Nestor Ley Chong Jefe del Departamento Docente de: Ingeniería Química en la ya mencionada facultad, en lo adelante **EL JEFE DE DEPARTAMENTO**, y Dra C. Isabel Cabrera Estrada profesor(es) encargado(s) de tuturar el Trabajo de Diploma **DEL ESTUDIANTE**. en lo adelante **EL TUTOR**. Reconocen que:

- I. A **EL ESTUDIANTE** se le ha aprobado como tema de investigación para su Trabajo de Diploma el titulado Determinación de la factibilidad de una planta para la reutilización de cáscaras de huevo como suplemento en la alimentación animal.
- II. **EL ESTUDIANTE** no divulgará información concerniente a la investigación, tanto durante el desarrollo como tras la culminación de esta sin la debida autorización **DEL TUTOR** o **EL JEFE DE DEPARTAMENTO**.
- III. Que el Trabajo de Diploma fruto de la labor investigativa de **EL ESTUDIANTE** y la asesoría de **EL TUTOR**, resulta de **TITULARIDAD EXCLUSIVA** de la Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas.
- IV. **EL ESTUDIANTE** una vez aprobada su tesis para la defensa, depositará una copia electrónica de la misma en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- V. A partir de la defensa y aprobación del Trabajo de Diploma, la publicación total, parcial o la elaboración de cualquier obra que se derive de esta investigación por parte de **EL ESTUDIANTE**, contará con la coautoría de **EL TUTOR** y viceversa, resultando de referencia obligada esta obra en cualquier otra que se elabore. El incumplimiento de esta cláusula, puede llevar consigo el inicio de procesos de plagio. Todo lo anterior de acuerdo a la normativa de Derecho de Autor vigente en Cuba.

Y para que así conste se firma la presente en la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, a los 29 días del mes de Noviembre del año 2022.

Yosiel Reyes Delgado  
EL ESTUDIANTE

Nestor Ley Chong  
JEFE DE DEPARTAMENTO

Isabel Cabrera Estrada  
TUTOR

\_\_\_\_\_  
TUTOR

## **PENSAMIENTO**

*Si no conozco una cosa, la investigaré.*

*Louis Pasteur*

## **DEDICATORIA**

*A Teresa y Orlando, por ser el motor impulsor de este sueño.*

## AGRADECIMIENTOS

Concebir esta tesis, no es solo su escritura, sino el desarrollo de una idea que llegó a mis manos y fue creciendo con la investigación, el trabajo y el esfuerzo. No es trabajo fácil enumerar a todas las personas que aportaron sus conocimientos, criterios y tiempo, sería una lista interminable; pero no puedo dejar de mencionar:

A mis padres, Isel y Yosvany por la confianza y dedicación que han puesto en mí, por el amor que me han dado, y por sus tantos años de esfuerzos y sacrificios.

A mi tutora, Dra. Isabel Cabrera porque un día me confió la idea que rige este proyecto, me dio herramientas, apoyo, comprensión y tiempo.

A la profe Mercedes Arbona, por su ayuda incondicional.

A mi abuelo José y a Isabelita, bálsamos que curan mis cicatrices.

A Leticia, mi tía del alma.

A toda mi familia que tanto apoyo han brindado en estos años.

A Arleydi, mi chica especial, amiga eterna.

A mis amigos, Andy, Danay, Manuel, Cristhian, Gabriel, Edson y Jefferson; que se han convertido en mi gran familia.

A Anay, Dayana e Ivana, por todo lo que hemos vivido juntos.

A Yelianys y Ariel, amigos desde aquellos tiempos de camisa azul y monograma naranja.

A mis compañeros de aula, gracias por estos cuatro años.

A Nancy López Bello, mi madrina que tanto admiro.

A Taymí y Marilyn, que tanto me han ayudado.

A mis profesores, muchas gracias por inculcar conocimiento y valores.

A todas aquellas personas que me ayudaron en estos cuatro años, muchas gracias por formar parte de este sueño.

A todos les agradezco eternamente.

## RESUMEN

La fábrica de mayonesa “La Purísima” tiene como misión producir mayonesa y aderezos para el consumo nacional y la exportación, pero debido al proceso productivo se generan cáscaras de huevo como residual sólido del proceso que requieren ser manejados adecuadamente para reducir su impacto ambiental. Este trabajo tiene como objetivo determinar la factibilidad de una planta de producción de un suplemento rico en carbonato de calcio a partir de cáscara de huevo como sustituyente del carbonato de calcio mineral en piensos para aves. Con ayuda de la matriz de importancia se determinó la etapa que mayor impacto ambiental tiene en el proceso de producción de mayonesa, resultando ser la etapa de cascado. Se determinó por vía experimental las características fundamentales del residual, el cual contiene un 93,33% de carbonato de calcio, una humedad de 1,6% y densidad de 1028 Kg/m<sup>3</sup>; también se realizó la curva de secado del proceso y la velocidad de secado. Con los resultados obtenidos experimentalmente y basado en la revisión bibliográfica se propuso una planta con capacidad para procesar 500 Kg/día de cáscara de huevo. Se seleccionaron los principales equipos de proceso y los auxiliares, además de calcular los parámetros de diseño y operación del secadero. El análisis de factibilidad de la planta se basó en los indicadores dinámicos donde se pudo obtener una VAN de \$446223,2686, la inversión inicial se recupera en 1,308 años y la TIR es de 35,59. Del análisis ambiental se obtiene que la planta cumple con los requerimientos ambientales necesarios determinado por la metodología de producciones más limpias.

## ABSTRACT

The "La Purísima" mayonnaise factory's mission is to produce mayonnaise and dressings for national consumption and export, but due to the production process, egg shells are generated as a solid residual from the process that needs to be properly managed to reduce its environmental impact. The objective of this work is to determine the feasibility of a production plant for a supplement rich in calcium carbonate from eggshell as a substitute for mineral calcium carbonate in poultry feed. With the help of the importance matrix, the stage with the greatest environmental impact in the mayonnaise production process was determined, turning out to be the cracking stage. The fundamental characteristics of the residual were determined experimentally, which contains 93,33% calcium carbonate, a humidity of 1,6% and a density of 1028 Kg/m<sup>3</sup>; The drying curve of the process and the drying speed were also carried out. With the results obtained experimentally and based on the bibliographical review, a plant with the capacity to process 500 kg/day of egg shell was proposed. The main process equipment and auxiliaries were selected, in addition to calculating the design and operation parameters of the dryer. The feasibility analysis of the plant was based on the dynamic indicators where it was possible to obtain a NPV of \$446223,2686, the initial investment is recovered in 1,308 years and the IRR is 35,59. From the environmental analysis it is obtained that the plant complies with the necessary environmental requirements determined by the methodology of cleaner productions.

## TABLA DE CONTENIDOS

PENSAMIENTO .....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTOS .....	vii
RESUMEN .....	viii
ABSTRACT.....	ix
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
1.1. Residuos sólidos.....	4
1.1.1 Descripción de las etapas del proceso de producción de mayonesa. ....	6
1.1.2 Producción de mayonesa en la fábrica “La purísima” .....	7
1.1.3 Características fisicoquímicas de los cascarones.....	11
1.1.4 Situación mundial de la cáscara de huevo .....	14
1.1.5 Situación Nacional .....	15
1.2. Producciones más limpias .....	15
1.3. Alternativas del reuso de cascarones de huevo .....	16
1.4. Secado .....	20
1.5. Características de los piensos para aves.....	22
1.5.1 Formulaciones empleadas en Cuba.....	24
1.6. Conclusiones parciales .....	28
CAPÍTULO 2. ESTUDIO EXPERIMENTAL .....	30
2.1. Matriz de Importancia .....	30
2.2. Caracterización de las cáscaras de huevo. ....	30

2.2.1. Determinación de humedad .....	30
2.2.2 Determinación de carbonato de calcio.....	31
2.2.3. Determinación de la densidad.....	31
2.3. Prueba de secado .....	32
2.4. Análisis de resultados.....	32
2.4.1. Análisis de la matriz de importancia.....	32
2.4.2. Análisis de humedad.....	33
2.4.3 Análisis de la determinación de la densidad.....	34
2.4.4. Análisis de la determinación de carbonato de calcio.....	35
2.4.4. Prueba de secado.....	35
2.5 Conclusiones parciales.....	38
CAPÍTULO 3. EVALUACIÓN TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL DE LA PLANTA           40	
3.1. Descripción del proceso de obtención de suplemento cálcico para pienso animal. ..	40
3.2. Selección de equipamiento. ....	42
3.3. Diagrama de flujo de proceso .....	47
3.4. Diseño de equipos .....	48
3.5. Sistemas auxiliares .....	51
3.6. Estimación de costos .....	53
3.6.1 Costos de capital .....	54
3.6.2 Costo de producción .....	55
3.6.3 Ingreso estimado .....	57
3.6.4 Rentabilidad .....	57
3.7. Evaluación ambiental .....	60
Conclusiones .....	61

Recomendaciones .....	62
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	63
ANEXOS .....	66
Anexo I   Secadero de bandejas .....	66
Anexo II   Intercambiador de calor de superficie ampliada .....	67
Anexo III  Molino de martillos .....	67
Anexo IV   Criba de acero al carbono .....	68

## INTRODUCCIÓN

Es indudable que el aumento de la demanda poblacional de alimentos, ha fomentado un crecimiento del sector industrial, que ha llevado consigo la generación de diversos tipos de residuos. La generación de residuos se incrementa con el tiempo por una sociedad caracterizada por el derroche, con una perspectiva de producir, consumir y desechar, debido a la baja educación ambiental existente.

El mundo actual exige la minimización del impacto ambiental en la industria alimentaria que se considera una estrategia gerencial tendiente a reducir el volumen y la carga contaminante. La reducción económica del impacto ambiental juega un papel importante y se presenta como una alternativa interesante, porque al minimizarse el volumen del residuo generado por la industria, se disminuye la carga contaminante al ambiente y también se optimiza el proceso productivo, lo que se traduce en beneficios económicos, a lo que se le denomina Producción más Limpia (P+L)(Morillo, 2012).

En Cuba, la producción de mayonesas y aderezos a escala industrial va encaminada a convertir su proceso más amigable con el medio ambiente, transformando sus residuales en productos aprovechables en función de su valor agregado. El establecimiento “La Purísima, perteneciente a la Unidad Empresarial Básica de conservas y vegetales “Los Atrevidos”, de Villa Clara está dedicada fundamentalmente a la producción de salsas, mayonesas, mostazas y aderezos, con destino a el turismo, la gastronomía y la población. Esta instalación presenta una capacidad de producción de 2,6 toneladas diarias de mayonesa, y genera alrededor de 220 Kg/día de cáscara de huevo que son acumulados en el vertedero convirtiéndose en posibles focos de acumulación de vectores como el mosquito, sin contar el mal olor que desprende.

La cáscara de huevo de gallina representa entre el 10 y el 12% de su peso. Está conformada por un 95% de compuestos minerales y entre un 3,0% a 3,5% por componentes orgánicos, proteoglicanos y proteínas que intervienen en la morfología de los cristales de calcita, además en la protección microbiana y regulación de las mineralizaciones de la cáscara. En su parte interna posee una delgada capa de queratina y fibras de colágeno, conocida como membrana conformada hasta por 62 proteínas de fibras reticulares entrelazadas que ofrecen también protección y controlan la pérdida de agua y de gases del huevo.

Debido a sus características como materia prima ha permitido el desarrollo de nuevos procesos y el mejoramiento de algunos ya existentes, obteniéndose productos de alto valor agregado y bajo costo; ha pasado de ser un residual que impacta negativamente al medio ambiente a ser un ingrediente importante en productos de la industria cosmética, farmacéutica, alimentaria y en la elaboración de pinturas de alta calidad.

Las limitaciones presentes en la importación de piensos para alimentación animal, necesitan ser solventadas y una alternativa es la inclusión en las formulaciones de productos de origen nacional. Al mismo tiempo la minimización de residuos generados por un proceso productivo lo hacen más competitivo y mejoran la imagen de la entidad.

**Problema científico:**

En la entidad “La Purísima” se generan cascarones de huevo que impactan negativamente sobre el medio ambiente.

**Hipótesis:**

Si se determina la efectividad de una planta para la reutilización de cáscaras de huevos como suplemento en la alimentación animal, se podrá suplir importaciones y hacer de la producción de aderezos y mayonesas un proceso más limpio y amigable con el medio ambiente

**Objetivo general:**

Determinar la factibilidad de una planta para la reutilización de cáscaras de huevos como suplemento en la alimentación animal.

**Objetivos específicos:**

- 
1. Determinar las posibles vías de reutilización de cascarones de huevo, a partir de una revisión bibliográfica sobre el tema.
  2. Caracterizar los cascarones de huevo generados en la fábrica de mayonesa.
  3. Diseñar una planta para la obtención de piensos modificados con cascarones de huevo.
  4. Evaluar técnica, económica y ambientalmente la planta propuesta.

## CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 1.1. Residuos sólidos

En su paso por la tierra, el hombre, ha venido utilizando los distintos materiales que le ha brindado la naturaleza para satisfacer sus crecientes necesidades, y como resultado de los procesos productivos en los que se ha involucrado ha generado grandes volúmenes de desechos. El crecimiento poblacional, la creación de grandes ciudades han favorecido al aumento de la generación de desperdicios cuyo manejo representa un problema a solucionar.

Generalmente la composición de los residuos sólidos varía sustancialmente entre las diferentes regiones; factores nacionales y regionales contribuyen a determinar la composición de los RSU. La gráfica 1.1 (OPS 2002) y tabla 1.1 (OPS 2005) muestran la composición de RSU en algunas partes del mundo. En los EE.UU. el mayor porcentaje de los RSU fueron: 41% de papel/cartón; 29% orgánico, el 30% restante, más de la mitad compuesto por metal y plásticos, con un 17%, los sanitarios (u otros) el 7% y vidrio el 6%.

En Europa el mayor porcentaje de los RSU: fue 37% orgánicos; 28% papel/cartón; 17% vidrio y 9% plásticos. Esto es opuesto a lo que ocurre en EE.UU. y Argentina, donde existen más residuos plásticos que vidrio, y los sanitarios y metal, con 6% y 3% respectivamente (Izquierdo, Mendoza, Rodríguez, & Aguilar, 2019).

En Buenos Aires, capital de la Argentina los RSU se dividen en: 40% orgánicos; 24% papel/cartón; del 36% restante más de tres cuartas partes corresponden a la suma de plásticos y sanitarios, con 14% de cada uno, en el menor porcentaje están vidrio con 5% y metal 3%, lo cual explica el alto porcentaje de empleo del tiradero a cielo abierto.

En su tesis (Domínguez, 2009) hace una clasificación muy acertada de los residuos tratando de respetar la estructura química, el origen y destino final potencial de los residuos y de acuerdo a la bibliografía consultada los residuos sólidos se podrían clasificar en:

a). **Residuos sólidos orgánicos.** Son los residuos biodegradables y se ha determinado que más de la mitad de la basura es orgánica, esto es, desperdicios agrícolas y de comida, provenientes de hogares, parques y jardines o bien, de industrias alimentarias, así que una reducción en la producción de estos desechos tendrá una repercusión importante en el balance total.

b). **Residuos sólidos inorgánicos.** Residuos no biodegradables e incombustibles que provienen generalmente de la extracción, procesamiento o utilización de los recursos minerales: residuos de construcción y demolición de edificios, tierras, escombros, etc.

c). **Residuos sólidos peligrosos.** Residuos orgánicos o inertes que por sus características físicas, químicas o biológicas no pueden ser acoplados a procesos de recuperación o transformación, sino que deben tratarse para su incineración o confinamiento controlado.

Hay casos en que los desechos en sí constituyen un serio riesgo, como ciertos residuos industriales u hospitalarios, pero en general son peligrosos por servir de alimento a vectores que transmiten enfermedades: moscas, cucarachas, roedores, entre otros.

Algunos ejemplos muestran hasta qué punto puede ser grave la despreocupación por los residuos sólidos. La peste bubónica, transmitida por las pulgas de las ratas, asoló a Europa en siglo XIV, causando la muerte de más de 25 000 000 de personas en tres años. La huelga de los encargados del aseo en una ciudad europea, a comienzos de 1981, produjo un aumento en el número de enfermos afectados por diversas dolencias. Los casos de triquinosis son más frecuentes cuando los cerdos se alimentan con basura.

Los residuos sólidos de los procesos industriales se han incrementado con el desarrollo de la humanidad. La solución que brinda una entidad a sus residuos debe favorecer el reciclaje, recuperación o la reutilización de ellos, con esto se hace un proceso más competitivo desde el punto de vista ambiental.

Es una tendencia actual concebir el ciclo cerrado en el sentido que permita minimizar los residuos generados y aprovechar al máximo todos los materiales disponibles que puedan ser valorizados.

El proceso industrial de producción de mayonesa forma parte de los realizados dentro de la industria alimentaria. A continuación, se detallan aspectos del mismo.

Proceso de producción de mayonesa. Residuos sólidos del proceso.

### **1.1.1 Descripción de las etapas del proceso de producción de mayonesa.**

La mayonesa, al igual que otros aderezos, consiste en una fase de aceite, una fase acuosa y un emulsionante. Una vez mezcladas, las dos fases forman una emulsión de aceite en agua, ya ellas se les agrega un emulsionante que las estabiliza.

El tamaño de las gotas de aceite en la emulsión determina en gran medida la calidad del producto.

El proceso puede comprender cuatro etapas:

- Preparación de materias primas
- Dosificación
- Emulsificación
- Almacenamiento de producto terminado

El proceso de elaboración de mayonesa se realiza en forma continua. Las distintas fases son preparadas en tanques separados (para la fase acuosa y aceite además de vinagre y huevo). Por medio de un sistema de dosificación, estas fases son incorporadas al sistema de emulsificación.

Estos sistemas de emulsificación habitualmente comprenden dos etapas. En primer término, se realiza una pre-emulsión y luego ésta es procesada en un molino coloidal, dispositivo con motor de alta velocidad y mínimas holguras que facilita la emulsión de dos líquidos. Así se alcanza una fina y homogénea distribución de las gotas de aceite. A continuación, el producto final se almacena inmediatamente en tanques pulmón; antes del envasado.

En el caso de la elaboración de mayonesa con contenido de aceite reducido, puede resultar necesario someter la fase acuosa a un tratamiento térmico previo a la emulsificación, si esta fase contuviera almidón pregelatinizado.

En este tipo de equipos, la fase es calentada hasta la temperatura necesaria, luego se la mantiene a dicho nivel y posteriormente es enfriada hasta la temperatura de proceso requerida.(Franco, 2018)

### **1.1.2 Producción de mayonesa en la fábrica “La purísima”**

Las materias primas al ser recibidas en fábricas se inspeccionan por el departamento de Control de la Calidad y de estar aptas se liberan, cuantifican y clasifican por lotes, procediéndose a su almacenamiento. De forma manual los obreros eliminan todos los huevos que no se encuentren aptos para el proceso (rotos, cascados y demasiados sucios) y los depositan en cajas plásticas previamente higienizadas.

Una vez seleccionado los huevos dentro de las cajas plásticas son sumergidos en tanques que contienen agua a 4 ppm de cloro libre como mínimo donde se realiza un primer lavado, a continuación, se sacan y enjuagan con abundante agua potable utilizando mangueras a presión, se espera que los mismos se escurran para que no pase agua al proceso.

Los encargados de esta operación cascan los huevos manualmente de forma que no se incorpore ningún pedazo de cáscara al tanque que contiene los huevos cascados. Para ello utilizan una vasija de plástico o vidrio donde cascan tres huevos como máximo con el objetivo de poder inspeccionar los mismos los cuales de no estar sanos son retirados del proceso. La cáscara de huevo generadas es recopilada en tanques y se transportan al área de residuales, para luego ser llevadas al vertedero municipal.

Para la preparación de la salmuera se pesa el total de la sal, según fórmula y se vierte en el tanque que contiene el vinagre a utilizar a 4,5 % de acidez. Posteriormente se procede a la agitación de forma manual. En esta operación se fusionan de forma homogénea los ingredientes secos que contiene la fórmula con parte de la salmuera ya preparada, para evitar la aparición de grumos del espesante y una mejor repartición de los elementos saborizantes y conservantes en el producto terminado. Cada ingrediente ya pesado individualmente se va

adicionando al cilindro del Cutter agitándose el conjunto por espacio de cinco minutos, luego se extrae del mismo con ayuda de paletas plástica previamente higienizadas.

Con el objetivo de facilitar la emulsión del producto se enfría el aceite hasta 7 °C como máximo. Esta operación se realiza en un tanque con capacidad de 1500 L con serpentines colocados con doble pared procedentes de una unidad de refrigeración. El llenado del tanque se realiza de forma mecánica y pasa al tanque auxiliar lateral del homogeneizador mediante una bomba neumática de pistón.

En el tanque principal se vierten primeramente la salmuera acidulada ( 50 % del vinagre que contempla la fórmula), luego se vierten poco a poco las sustancias sólidas procedentes del Cutter, se arranca el agitador y al obtenerse la mezcla se comienza a añadir el huevo procedente del cascado, seguidamente se añade el aceite de forma lenta para que se produzca la emulsión y el 50 % del vinagre proceden de los tanques laterales regulando las llaves de los mismos para que los dos tanques terminen el vaciado al mismo tiempo. Terminada la adición de todos los ingredientes se mantiene la agitación por espacio de tres a cinco minutos y según la observación del operario el que además vela porque no se eleve la temperatura de la emulsión en cuyo caso se para el equipo.

Una vez terminada la emulsión se extrae el producto hacia un tanque receptor para el llenado de los envases. Los obreros realizan una selección rigurosa de los envases y los colocan en la estera para ser llenado por una máquina llenadora automática. Luego de llenos los envases continúan su recorrido hasta la máquina tapadora. Los envases plásticos son igualmente revisados y seleccionados por los obreros y colocados en el equipo para ser llenados por una máquina llenadora semiautomática mediante la acción de un pedal. Se utiliza una tapadora automática donde el obrero después de inspeccionar la higiene de las tapas las coloca en el plato giratorio de la máquina y esta se encarga de la distribución de las mismas hacia cada pomo que proviene de la estera del llenado.

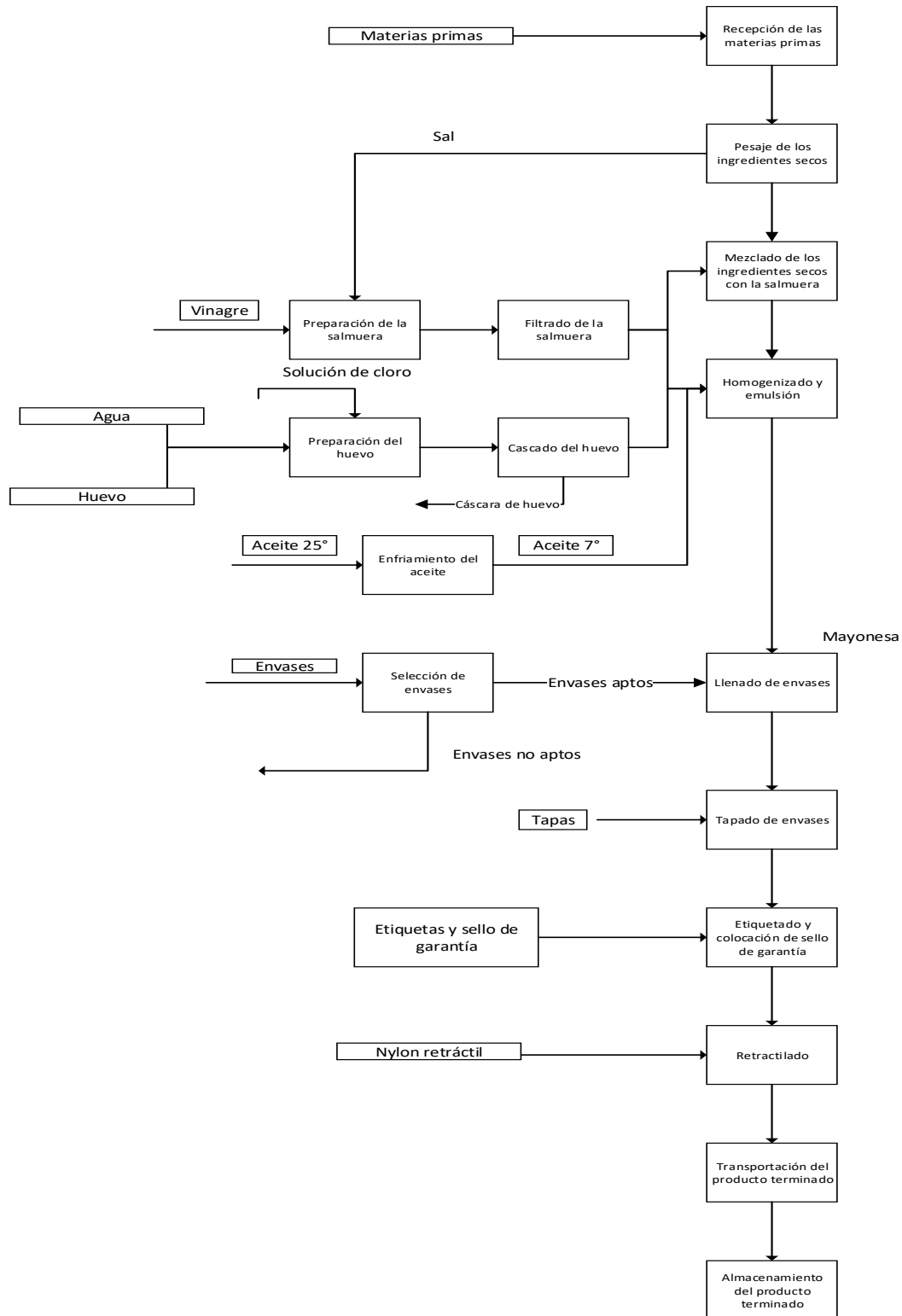
El etiquetado del envase de vidrio se realiza en la máquina etiquetadora y el obrero inspecciona con anterioridad el diseño y la integridad de las etiquetas al igual que para los envases plásticos que son etiquetados de forma manual. A continuación, se procede a colocar el sello de garantía de forma manual en cada envase. El obrero coloca sobre una

---

mesa una lámina de cartón o bandeja con dimensiones y resistencia adecuada ubicando sobre la misma la cantidad de unidades establecidas cuidando que las etiquetas queden hacia fuera para su legibilidad, luego las hace pasar por una estera que conduce a la máquina retractiladora que realiza la operación mediante calor al nylon retráctil.

El producto se almacena en el almacén de productos terminados cumpliendo con lo establecido en la NC 492:06. Almacenamiento de alimentos. Requisitos sanitarios generales.

El diagrama de flujo se muestra en la figura 1.



**Figura 1:** Diagrama de flujo del proceso de producción de mayonesa

### **1.1.3 Características fisicoquímicas de los cascarones.**

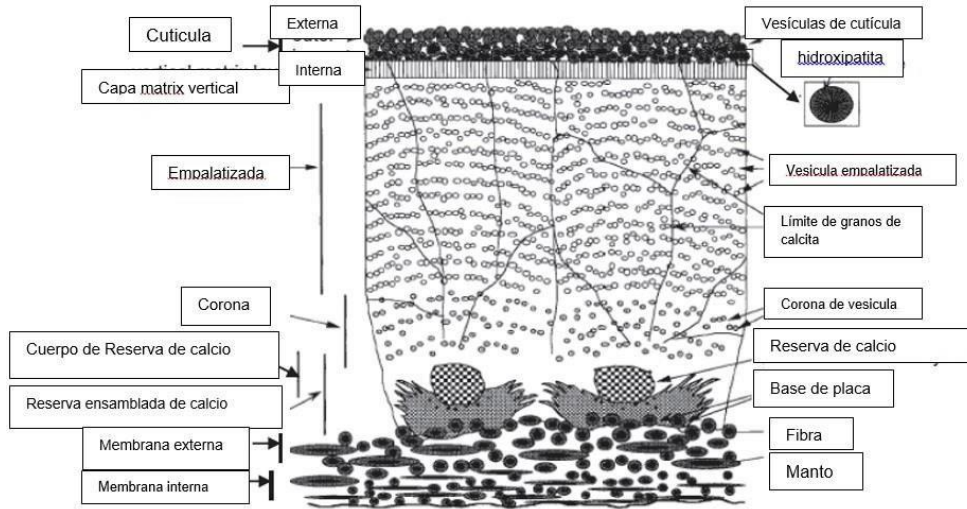
La cáscara constituye la cubierta protectora del huevo, la pared que le defiende de la acción de los agentes externos, y el medio a través del cual pueden realizarse intercambios gaseosos y líquidos con el ambiente que le rodea. La cáscara representa entre el 9 – 12 % del peso del huevo, lo que haría unos 5 – 7 gramos, según las razas de donde procede; y se compone por un 95% de compuestos minerales como carbonato de calcio, carbonato de magnesio y fosfato tricálcico y entre un 3,0% a 3,5% por componentes orgánicos, proteoglicanos y proteínas como ovocleidina 116, ovotransferrina, ovoalbúmina, ovocalixina 32, ovocleidina 17, osteopontina (OPN) y lisozima que intervienen en la morfología de los cristales de calcita, además en la protección microbiana y regulación de las mineralizaciones de la cáscara. En su parte interna posee una delgada capa de queratina y fibras de colágeno, conocida como membrana conformada hasta por 62 proteínas de fibras reticulares entrelazadas que ofrecen también protección y controlan la pérdida de agua y de gases del huevo.

El color de la cáscara del huevo depende de la raza de las aves. Entre las gallinas dominan los huevos blancos, amarillentos, rosados o de tono canela más o menos claro. El colorido de la cáscara de los huevos se debe a la presencia de pigmentos amarillos unas veces y verdosos. (Chicaiza, 2019)

En su ponencia (Valdés-Figueroa, 2009) expone que la cáscara es porosa (se pueden contar entre 7,000 – 17,000 poros), no es impermeable, y por lo tanto, esta película actúa como un verdadero revestimiento. La permeabilidad de la cáscara influye en la conservación del huevo y en las modificaciones que éste experimenta. En efecto, la cubierta protectora del huevo presenta numerosos poros que se dejan atravesar de fuera hacia dentro por los microbios, líquidos y gases del ambiente, los cuales pueden comunicar al huevo olor y/o sabores particulares. Este conocimiento de que la cáscara no constituye una pared impenetrable debe tenerse muy en cuenta en todas las actividades avícolas, procurando sustraer los huevos de la acción de todos aquellos agentes externos que, por constituir un foco de contaminación, o transmitir a los alimentos propiedades desagradables, pueden dañar su conservación o sus cualidades, o pueden quedar atrapadas en la porosidad de las cáscaras, por lo que se hace necesario un control biológico constante y procedimientos adecuados para su eliminación. Por otra parte, la cáscara se deja atravesar en sentido

contrario por los gases que contiene el huevo en su interior, y ello ocasiona una merma en su peso que ha de tenerse en cuenta.

En la figura 2 se muestra la estructura de la cáscara, en las tablas 1 y 2 se reflejan propiedades y composición de la cáscara de huevo y la tabla 3 muestra la composición del polvo de cáscara de huevo.



**Figura 2:** Estructura de la cáscara de huevo {BURGA, 2018}

**Tabla 1.** Evaluación físico-químicos de la cáscara de huevo como materia prima

PARÁMETROS	UNIDAD ES	CÁSCARA DE HUEVO	MÉTODO DE ENSAYO
Humedad	%	0,94	Método adoptado
Cenizas	%	10,96	Método adoptado
Proteína	mg/100g	2,63*	ISO 20483-2006
Calcio	mg/100g	37624,75*	AOAC 944,03
Fosforo	mg/100g	130,64*	* AOAC 944,02
Hierro	mg/100g	24,26*	AOAC 995,11

Fuente: (Acho, 2016)

**Tabla 2:** Contenido mineral y materia orgánica de la cáscara de huevo

Parámetros	Promedio	Desviación estándar
M. orgánica	16,1	4,6
M. inorgánica	83,9	5,0
Calcio	38,2	3,5
Carbonato	44,3	3,2
Sodio	0,51	0,09
Fosfato	0,44	0,06
Sulfato	0,32	0,07
Potasio	0,14	0,15
Estroncio	0,14	0,02
Flúor	$1,8 \times 10^{-6}$	$1,1 \times 10^{-6}$

Fuente:(BURGA, 2018)

**Tabla 3.** Características del polvo de cáscara de huevo

	Cáscara de huevo blanca	Cáscara de huevo roja
Humedad (%)	0,46	0,20
Proteína (%)	3,92	5,04
Ceniza (%)	94,61	94,28
Grasas (%)	0,35	0,08
Calcio (%)	34,12	33,13
Magnesio (%)	0,29	0,36
Fósforo (%)	0,04	0,07
Potasio (%)	0,03	0,04

Sodio (%)	0,05	0,04
Cobre (ppm)	<1ppm	<1ppm
Hierro (ppm)	22ppm	<1ppm
Manganeso (ppm)	<1ppm	<1ppm
Zinc (ppm)	<1ppm	<1ppm

Fuente: (Ray, Marman, Roy, & Singh, 2017)

#### **1.1.4 Situación mundial de la cáscara de huevo**

Según plantea (BURGA, 2018) la cáscara total constituye el 10% del peso del huevo, los residuos generados se pueden calcular alrededor de la gama 6,2-6,8 millones de toneladas por año a nivel mundial. También señala que cada año, solo la industria alimentaria de los Estados Unidos genera 150,000 toneladas de desechos de cáscara de huevo al año, donde los métodos de eliminación de residuos cáscaras de huevo son 26,6% como fertilizante, 21,1% como ingredientes de alimento para animales, 26,3% descartados en botaderos municipales y 15,8% usados en otras formas.

Además (Windhorst, 2014) plantea que basado en el análisis del desarrollo de la producción de huevos en las el año 2030 últimas décadas, se espera que la producción global de huevos pasará de 64,2 millones de toneladas en el 2010 a 86,8 millones de toneladas para 2030.

(Francis & Rahman, 2016) plantean que en el Proyecto Shellbrane declara que la cantidad de cáscaras de huevo desechadas sólo en la UE fue de 999 000 toneladas en 2015, mientras que, en Egipto, cerca de 310 000 toneladas se produjeron de cáscara de huevo anualmente para el período 2001 al 2005.

La FAO destaca que durante las últimas tres décadas la producción de huevos se ha triplicado pasando de 29,3 millones de toneladas en 1983, a 73,8 millones de toneladas en 2013, lo que representa un crecimiento del 152%.

En Colombia el consumo de huevo creció 48% en 10 años y cerrara el año en 303 unidades por colombiano, lo que constituye el segundo consumo más alto de la región, sólo por debajo de México. El huevo es uno de esos alimentos infaltables en la dieta de los

colombianos. Su peso dentro de la ponderación de alimentos en el Índice de Precios al Consumidor (IPC) es de 2,5% y su producción y consumo han tenido un crecimiento continuo.(Posso, 2020)

### **1.1.5 Situación Nacional**

Cuba es un país que tiene alta demanda de huevo de gallina en la actualidad se producen mil 900 millones de huevos de forma intensiva, y 200 millones de forma no convencional, con soporte en la genética desarrollada en estos años, representada en la gallina ponedora que se explota industrialmente, y la semirústica y el pollo campero, utilizados para la avicultura alternativa. Se alcanzan 9 mil 500 toneladas de carne de aves de desecho. La avicultura cuenta con más de 400 unidades empresariales de Base; de ellas, 289 son granjas de producción. Existen en el país 13 fábricas de pienso, y 5 grandes almacenes para acumular los granos proteicos.(Reinaldo & Matos, 2019)

## **1.2. Producciones más limpias**

La propuesta de Producciones más Limpias reconoce que la mayor parte de los problemas ambientales (calentamiento global, contaminación tóxica, pérdida de biodiversidad) son causados por la manera y el ritmo con que se produce y consumen los recursos. El objetivo de las Producciones más Limpias es satisfacer las necesidades de la sociedad a través del uso eficiente de la energía y la utilización de materiales renovables y libres de peligros, que no afecten la biodiversidad.

La producción más limpia es la aplicación de una estrategia ambiental preventiva e integrada aplicada a los procesos productivos, productos y servicios. Incluye un uso más eficiente de los recursos naturales y por ende minimiza los desechos y la contaminación, así como el riesgo a la salud humana y a la seguridad (PNUMA, 1999). Ataca los problemas en la fuente en lugar de hacerlo al final del proceso productivo; en otras palabras, evita la aproximación de “final de tubo” (Martínez, 2004). La introducción de P+L requiere de cambios en las actitudes que aseguren una gestión ambiental responsable, creen políticas nacionales conductoras y evalúen las opciones tecnológicas. Con esto se reconcilia el desarrollo económico con el cuidado del medio ambiente, se mejora la competitividad empresarial, la que puede evaluarse a través de diferentes métodos e instrumentos, tales

como los indicadores ambientales. Su implementación involucra las siguientes prácticas: administración de procedimientos de producción, sustitución de materiales, cambios en las tecnologías, aprovechamiento de residuos

Las herramientas de Producción Más Limpia como análisis de entradas/salidas, análisis de flujo de materiales y flujos de energía construyen las bases de un sistema de información que permite determinar la eficiencia de los flujos de materiales y energía y la efectividad de las mediciones. Esto los hace una herramienta valiosa en la mejora del desempeño ambiental y técnico.

Es evidente que la Producción Más Limpia y la norma ISO 14001 forman un conjunto acoplado y se apoyan mutuamente para que la organización disminuya su efecto al medio ambiente. (Díaz-Molina, 2013)

Debido a su composición los cascarones son residuos que pueden ser aprovechados, como parte de una estrategia de Producción Más Limpia.

### **1.3. Alternativas del reuso de cascarones de huevo**

Debido a su alto contenido de Carbonato de Calcio (95% aproximadamente), la cáscara de huevo es considerada una fuente cálcica importante. Muchos autores han estudiado formas de reutilizar este residual en distintas áreas de investigación.

(Valdés-Figueroa, 2009) en su artículo detalla que durante casi 20 años de trabajo sostenido con las cáscaras de diferentes tipos de huevos, y el desarrollo de tecnologías propias para el procesamiento, extracción, reconcentración y estabilización de las sustancias, bioactivos y bioelementos naturales en ellas contenidos, se han obtenido formulaciones que han sido aplicadas a los piensos para diferentes tipos de animales (incluidas las aves); formulaciones para la producción de alimentos funcionales con destino al consumo humano; tecnologías propias para los procesos de desarrollo y producción; procesos de reciclaje múltiple, que permiten elaborar calcio iónico, cosméticos y productos industriales; producciones limpias, desde su recolección hasta el último residuo; reducción sustancial de los costos de elaboración, y obtención de un amplio espectro de productos con valores agregados significativos; y el mejoramiento de la calidad de vida, la salud humana, y la protección del medio ambiente, a través de la intervención con estos alimentos funcionales.

(BURGA, 2018) desarrolló un proyecto de tesis para aprovechar los residuos de cascarones de huevo como insumo para la elaboración de pintura de látex, donde se comparó un patrón A (de pintura látex marca TAMSA) con un tratamiento B que contiene 32,60% de carbonato de calcio de cáscara de huevo y dióxido de titanio al 4,89% y con un tratamiento C formulado con 34,28% de carbonato de calcio de cáscara de huevo. Los resultados estadísticos arrojaron que el tratamiento B no presenta diferencias con el tratamiento patrón.

En su tesis (Posso, 2020) realiza un estudio sobre los métodos de reutilización de la cáscara de huevo en el que expone la experimentación con distintos compuestos para verificar su compatibilidad y crear nuevos materiales y con posterioridad darle un uso adecuado. Luego de la evaluación concluye que una mezcla de cáscara de huevo con almidón de yuca arroja resultados óptimos para el recubrimiento de superficies, ya que presenta una dureza a los productos empleados para dar acabado a las fachadas arquitectónicas.

Desde otra perspectiva (RODRÍGUEZ, 2017) estudió el uso de un catalizador heterogéneo derivado de la cáscara de huevo para la transesterificación de aceite demostrando que los catalizadores sintetizados son activos, tanto los que son principalmente óxido de calcio, como los que son principalmente hidróxido, aunque hubo dificultades en la separación de las fases después de realizada la transesterificación para los tipos de catalizadores. Se pudo delimitar con cotas superiores e inferiores el rendimiento de la transesterificación, siendo éstas 65,6% y 89,3% para las muestras cuyas fases lograron separarse.

(VEGA, 2017) en su tesis realiza un estudio de la aplicación de cáscaras de huevo en la remoción de fluoruros en aguas claras obteniendo una remoción de un 77% de los fluoruros contenidos en las aguas de abastecimiento a la parroquia de Picaihua.

Por otra parte (Bedoya & González, 2020) en su artículo explican los usos potenciales de la cáscara de huevo de gallina en diversa industrias.

**Industria Farmacéutica.** En esta industria, el carbonato de calcio proveniente de la cáscara de huevo, es empleado como excipiente farmacéutico, principalmente diluyente en formas de dosificación sólidas, también como remplazo de bicarbonato de sodio en tabletas efervescentes, presentando mejor capacidad de flujo en el granulado, disminuyendo el ángulo de reposo y mejorando el índice de compresibilidad respecto a la formulación

estándar, además es considerado la base para preparaciones medicinales, dentales y como ayudante para el taponamiento en soluciones acuosas; empleado a su vez en la biosíntesis de fosfato de calcio y por tanto, es una fuente eficiente de este mineral, siendo aprovechado en procesos de bioingeniería.

**Industria cosmética.** En esta industria se aprovecha principalmente, la membrana interna, que hace parte de la estructura de la cáscara, siendo el colágeno su componente mayoritario. El colágeno es una proteína fibrilar y por su insolubilidad se clasifica como una escleroproteína. Los aminoácidos mayoritarios en su composición son la prolina y la hidroxiprolina, la forma estructural es una triple hélice que le aporta resistencia, por lo tanto, conforma estructuras de soporte en el cuerpo como piel, huesos, tendones, músculos, cartílagos y órganos internos; aportando también integralidad a la estructura de la piel.

**Industria química.** Con respecto a esta industria un ejemplo de aprovechamiento es el reemplazo del polipropileno, derivado de la petroquímica, que es utilizado como material abrasivo presentando alta toxicidad para los cuerpos acuáticos, por cáscara triturada de huevo de gallina, como alternativa a esta materia prima. También el polvo de cáscara se puede utilizar en la industria del papel como revestimiento de pigmentos para papel de impresión de inyección de tinta. En la aplicación de productos de desechos naturales para resolver este problema ambiental es una estrategia especialmente prometedora, donde varios estudios han demostrado que las membranas de la cáscara del huevo se unen a iones metálicos y otras moléculas cargadas positivamente (quizás debido al contenido de ovotransferrina inmovilizada). Por tanto, el desecho de cáscara de huevo molido se puede utilizar como un adsorbente de bajo costo para la eliminación de tintes aniónicos o metales pesados de la solución acuosa.

**Industria alimentaria.** En cuanto a esta industria la cáscara de huevo es empleada como aditivo, suplementación de calcio en forma de sales, aumentando su absorción y digestibilidad, contribuyendo al desarrollo de alimentos funcionales. La presentación más común es en polvo, cuyas siglas en inglés es CESP- Chicken Eggshell Powder, y dependiendo del color de la cáscara varía su composición.

El polvo es utilizado como suplemento dietario de calcio para el ser humano. Algunos estudios demuestran que la cáscara de huevo completa contiene  $2,07 \pm 0,18$  gramos de

calcio, por tanto, la mitad supliría el requerimiento diario de este mineral en la dieta de un adulto. Siendo considerado de excelente calidad, fácil obtención y con un bajo costo; estos atributos han llevado al desarrollo de nuevos productos, incorporándolas en sus formulaciones como fuente de calcio, por ejemplo, galletas de chocolate con adición de CESP al 3%, 6% y 9%. En dicho estudio los mejores resultados de las formulaciones fue la correspondiente a la del 6%, que presentó mejores características fisicoquímicas, sensoriales y de textura.

(Corgniali, Fushimi, & Giménez, 2019) propone valorar el aporte de calcio y la aceptabilidad de una solución rica en calcio, aplicando la misma a la elaboración de galletas con harinas libres de gluten, potencialmente aptas para personas con condición de celiaquía y/o intolerancia a la lactosa. El propósito es producir un alimento de agradable sabor, enriquecido con calcio, que pueda incluirse en la alimentación de toda persona. Los autores concluyen que es viable el enriquecimiento de galletas mediante el agregado de una disolución de carbonato de calcio obtenida de la cáscara de huevo que aporta 348 mg del mineral por cada 100 mL de disolución.

Sobre el tema de sustitución parcial con harina de cáscara de huevo en alimentos (MAMANI & GUTIERREZ, 2019) proponen la sustitución parcial de harina de trigo por harina de cáscara de huevo en la elaboración de pan para aumentar el contenido de calcio en el organismo donde se estudió el efecto de la sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de huevo, mediante un análisis reológico el cual indica que a medida que la sustitución es mayor, los parámetros de masa obtenidos del Alveógrafo de Chopin disminuyen gradualmente. En cuanto al peso, volumen, volumen específico y altura no presentaron diferencia significativa. Respecto a la harina de cáscara de huevo obtenida, se evaluó su composición proximal (humedad, cenizas, grasa, proteínas, fibra, carbohidratos), microbiológica (*Escherichia coli*, mohos, y *salmonella spp.*), contenido de calcio y caracterización granulométrica.

La evaluación sensorial se desarrolló con 25 panelistas semientrenados utilizando una ficha con una escala hedónica de 5 puntos, el cual señala que la formulación F1 (90 % harina de trigo y 10 % harina de cáscara de huevo), es aceptado por el consumidor con el puntaje: color 3.4 puntos, olor 3.4 puntos,

textura 3,28 puntos, sabor 3,44 puntos, aspecto externo 3,72 puntos, aspecto interno 3,52 puntos y aspecto general 3,8 puntos; destacando como la formulación con características similares a la formulación F0 (100 % harina de trigo).

Sobre la línea del reuso de cascarones de huevo (Chicaiza, 2019) plantea la sustitución del carbonato de calcio por harina de cáscara de huevo en un balanceado para cuyes en la etapa de recría y demuestra que la harina de cáscaras de huevo en su informe fisicoquímico presentó un 3,76% de proteína, 1,91% de fibra cruda y un 6,42% de calcio, demostrando que, al realizar el secado a 80°C por una hora, se obtiene el 1,12% de humedad con excelentes propiedades fisicoquímicas, establecimiento que a mayor temperatura mayor humedad que a referencia de (Acho, 2016) que deduce que a 70°C por una hora tiene un 0,94% humedad, con 2,63% de proteína y 3,76% de calcio, pero perdiendo las propiedades fisicoquímicas en la harina.

En todas las alternativas de reuso de la cáscara de huevo, se hace necesario secar el sólido para favorecer los procesos de disolución, tamizado y mezclado con las demás sustancias.

#### **1.4. Secado**

En general, el secado de sólidos consiste en separar pequeñas cantidades de agua u otro líquido de un material sólido con el fin de reducir el contenido de líquido residual hasta un valor aceptablemente bajo. El secado es por lo común la etapa final de una serie de operaciones y, con frecuencia, el producto que se extrae de un secador está listo para ser empaquetado.

El contenido de líquido de una sustancia seca varía de un producto a otro. En ocasiones, el producto no contiene líquido, por lo que recibe el nombre de totalmente seco; pero lo más frecuente es que el producto contenga algo de líquido. La sal de mesa seca, por ejemplo, contiene 0.5% de agua, el carbón seco 4% y la caseína seca 8%. El secado es un término relativo y sólo significa que hay una reducción del contenido de líquido desde un valor inicial hasta algún valor final aceptable.(McCabe, Smith, & Harriott, 2007)

Las operaciones de secado pueden clasificarse ampliamente según que sean por lotes o continuas. Estos términos pueden aplicarse específicamente desde el punto de vista de la

sustancia que está secando. Así, la operación denominada secado por lotes, generalmente es un proceso en semilotes, en donde una cierta cantidad de sustancia que se va a secar se expone a una corriente de aire que fluye continuamente, en la cual se evapora la humedad. En las operaciones continuas, tanto la sustancia que se va a secar, como el gas pasan continuamente a través del equipo. Generalmente, no se utilizan métodos normales por etapas; en todas las operaciones ocurre el contacto continuo entre el gas y la sustancia que se seca.(Treybal, 1990)

Los principales equipos utilizados son:

- Secadero de bandejas
- Secadero de platos perforados
- Secadero de tamices transportadores
- Secadero rotatorio
- Secaderos de tornillo transportador
- Secaderos de lecho fluidizado
- Secadores Flash

### **Pruebas de secado**

Con respecto a la muestra de una sustancia, la rapidez de secado puede determinarse suspendiendo la muestra en un gabinete o tubería, en una corriente de aire, para un balance. Entonces, el peso de la muestra secada puede medirse como una función del tiempo. Deben observarse ciertas precauciones para que los datos sean de máxima utilidad. La muestra no debe ser muy pequeña. Más aún, las siguientes condiciones deben parecerse lo más posible a las condiciones que, según se prevé, predominarán en la operación a gran escala: (1) la muestra debe soportarse en forma similar sobre un plato o estructura; (2) debe tener la misma relación de superficie que se seca a la que no se seca; (3) debe sujetarse a condiciones similares de transferencia de calor por radiación; (4) el aire debe tener la misma temperatura, humedad y velocidad (con la misma velocidad y dirección con respecto a la muestra). Si es posible, se deben realizar varias pruebas sobre muestras de diferente espesor. También deben obtenerse el peso seco de la muestra. La exposición de la muestra a aire de temperatura, humedad y velocidad constantes constituye el secado en condiciones constantes de secado.(Treybal, 1990)

Una vez procesada la cáscara de huevo, convenientemente seca y reducida por medio de un molino, se puede incorporar como aditivo en el pienso para aves.

### **1.5. Características de los piensos para aves.**

La producción mundial de huevos y carne de aves de corral ha experimentado un constante aumento en los últimos años, tendencia que continuará en el futuro. Se prevé que, durante las dos próximas décadas, el mayor incremento de la producción de aves de corral tenga lugar en los países en desarrollo, donde el rápido crecimiento económico, la urbanización y el aumento de los ingresos de los hogares impulsarán la demanda de proteínas animales. Este crecimiento en la producción avícola tiene un profundo efecto en la demanda de piensos y materias primas. (Zurita, 2013)

Las necesidades nutricionales de pollitos y pavitos recién nacidos no se conocen de forma exacta. Al nacimiento, los mecanismos de absorción están desarrollados, pero no son maduros y la capacidad digestiva no es completamente funcional (Mahagna et al., 1995; Sell, 1996; Vieira y Moran, 1999). A edades tempranas las aves priorizan sus necesidades y el coeficiente alométrico es mayor para los órganos que aportan que para los que demandan nutrientes (Lilburn, 1998). Es decir, los órganos digestivos y los órganos responsables de la respuesta inmunitaria tienen prioridad para recibir nutrientes sobre los tejidos musculares. Gracia et al. (2003a) encontraron que el peso máximo (g órgano/g PV) del proventrículo, molleja, hígado, páncreas e intestino delgado se alcanzaba a los 4,6, 3,5, 7,8, 5,5 y 7,8 d de edad, respectivamente, datos que confirman los publicados por Sell (1996). La digestión y absorción de nutrientes depende en gran medida de la actividad enzimática del páncreas (Nitsan et al., 1991a y b), órgano que es funcionalmente inmaduro en los primeros estadios de vida. Por tanto, la digestibilidad de la proteína, lípidos y almidón es incompleta durante los primeros días de vida. Para favorecer el desarrollo temprano del páncreas y del tubo gástrico intestinal en general, se requiere el acceso rápido del pollito a agua y alimento y unas fuentes adecuadas de energía y proteína en el pienso de iniciación. En condiciones comerciales, los pollitos se sacan de la incubadora cuando la mayoría de ellos han eclosionado. Por ello, aquellos que nacieron pronto permanecen en ayunas más de 36 horas ya que la llegada a granja se ve retrasada entre otras causas por las operaciones de manejo

en incubadora y el transporte. Bajo estas circunstancias, la capacidad del pollito para digerir el pienso y hacer frente al estrés del manejo y al estrés ambiental es limitada.(Gracia, 2002) (Gracia, 2002) referencia que Batal y Parsons (2002b) estudiaron el valor energético para pollitos de dietas de maíz que contenían harina de soja o de colza como principal fuente proteica y observaron que, en ambos casos, la energía metabolizable (EMn) era muy baja a 2 y a 4 d de edad pero que aumentaba posteriormente. Al utilizar una dieta dextrosa-caseína, la EMn fue alta desde el principio y no se observaron grandes mejoras con la edad. De hecho, a los 2 d de edad, la energía metabolizable, como porcentaje de la energía bruta, era del 66% para la dieta maíz-harina de soja y del 88% para la dieta dextrosa-caseína, indicando que ésta última combina dos ingredientes de elección en pollitos muy jóvenes. Sulistiyanto et al. (1999) también observaron una mejor utilización de la caseína que de las harinas de pescado o de soja en pollitos de menos de 10 d de edad. Estos mismos autores indican que el pollito joven utiliza mejor la energía del maíz que la energía del trigo o la del sorgo, pero no mejor que la energía de diversas fuentes de grasa.

Los alimentos constituyen el costo más alto de la producción de aves de corral llegando a representar hasta un 70 por ciento del total. De los costos totales de la alimentación, alrededor del 95 por ciento se destina a satisfacer las necesidades de energía y proteínas, del 3 al 4 por ciento aproximadamente a las necesidades de los principales minerales, oligoelementos y vitaminas, y del 1 al 2 por ciento a los distintos aditivos para alimentos animales. Las dietas para las aves de corral se formulan a partir de una mezcla de ingredientes, entre ellos granos de cereales, subproductos de cereales, grasas, fuentes de proteínas vegetales, subproductos de origen animal, suplementos vitamínicos y de minerales, aminoácidos cristalinos y aditivos para alimentos. Estos se unen al menor costo posible teniendo en cuenta su contenido de nutrientes, así como su precio unitario.(Gracia, 2002)

#### Fuente de energía

El cereal forrajero más utilizado en los alimentos para las aves de corral en todo el mundo es el maíz. Ello se debe principalmente a que su fuente de energía es el almidón, el cual resulta altamente digestible para las aves de corral. Además, tiene una elevada palatabilidad, es una fuente de alta densidad de energía fácilmente disponible y está libre de

factores antinutricionales. El valor de energía metabolizable del maíz suele considerarse el metro de comparación para otras fuentes de energía.

La otra fuente de energía que satisface casi los mismos criterios que el maíz es el sorgo con bajo contenido de taninos. El sorgo puede cultivarse en zonas con escasas precipitaciones y es un cultivo popular en las regiones calurosas y propensas a la sequía. El alto contenido de tanino de muchas de las tradicionales variedades de sorgo limita su uso en las dietas de las aves de corral, pero en la actualidad hay variedades con bajo contenido de taninos disponibles que pueden utilizarse en las dietas de las aves de corral sin ningún tipo de limitación. El valor energético del sorgo con bajo contenido de taninos es el 90-95 por ciento del valor del maíz.(Gracia, 2002)

En concordancia con lo referido por los autores citados, se hace evidente la necesidad de una formulación apropiada para el buen aprovechamiento del pienso por el metabolismo animal. En Cuba se realizan estudios sistemáticos para lograr formulaciones eficientes.

### **1.5.1 Formulaciones empleadas en Cuba.**

Los piensos se tienen diferentes formulaciones en función de la raza y grupo animal.

Para el caso del ganado de carne, donde en novillos con tasas intermedias de ganancia de peso vivo (0,5 a 0,7 kg/ animal/día) se han reportado menores diferencias en las eficiencias de conversión respecto a maíz (10 a 15%). No obstante, las respuestas para engorde son muy variables dependiendo del genotipo de sorgo que se utilice.

El tipo de procesamiento de los granos es también un aspecto relacionado al valor nutritivo. Para vacas lecheras es necesario siempre moler estos granos para un mejor aprovechamiento. En el caso del sorgo, el grado de molienda debe ser aún mayor, por las características del grano antes mencionadas. Sin embargo, los modernos procesamientos industriales (por ejemplo, el “extrusado”) pueden mejorar significativamente su valor nutricional y en este caso las diferencias en calidad con respecto al maíz pueden disminuir significativamente (FAO, 2016).

Las harinas son principalmente fuente de proteínas y en la generalidad de los casos se deberían utilizar para corregir en las dietas los déficits de este nutriente. Las cantidades a suministrar no son estándares sino que dependen de varios factores: a) Tipo de animal y sus

requerimientos: si bien las distintas harinas son aptas para todas las categorías de ganado, para terneros en crecimiento (menos de 100-120 kg) y para vacas lecheras de alto mérito (más de 30 L/día y/o en transición a la lactancia) se prefieren harinas de alta calidad y de mayor concentración proteica (+44%) ya que poseen un perfil de aminoácidos más adecuado para los requerimientos de estas categorías, b) Tipo de harina utilizada: como se mencionará, no todas las harinas son iguales ya que la biodisponibilidad proteica y el valor energético pueden variar sustancialmente en función del proceso de extracción aplicado, c) Tipo de dieta base: las cantidades requeridas son mayores en las raciones típicas de otoño-invierno, que tienen más forrajes conservados (silajes maíz/ sorgo/henos de gramíneas, de verdes) y concentrados base cereal, que son normalmente pobres en proteínas. En primavera, sobre pasturas los niveles pueden ser muy bajos o nulos. A modo de referencia, para una dieta equilibrada destinada a vacas lecheras de alta producción (la categoría de mayor consumo y requerimiento), las recomendaciones generales son las de no superar los 4,5 kg/animal/día. Obviamente si los animales se encuentran en buen pastoreo de alfalfa, por ejemplo, las cantidades pueden ser muy bajas, dependiendo del nivel de producción.

En ningún caso estos alimentos pueden reemplazar totalmente (1 a 1) a los granos de cereales clásicos (maíz, sorgo, cebada), ni a otros subproductos como afrechillos, en cambio, los complementan perfectamente. Sí pueden reemplazar, y en una relación muy ventajosa, a otras harinas oleaginosas ya que, en el ranking de calidad, las harinas de soya soadecuadamente procesadas son las mejores.

Por último, debido a que las harinas de extracción contienen ricos nutrientes, si las condiciones de almacenamiento y suministro no son adecuadas, se pueden transformar en verdaderos caldos de cultivo para hongos y otros patógenos que podrán afectar la salud y la producción. Es importante controlar periódicamente los niveles de mico toxinas.(Cordero-Hernández, Valdés-Hernández, Paneque-Rondón, & Fernández-Gómez, 2020)

En la década del 90 en Cuba se establecen nuevas alternativas para la alimentación del ganado, como vías para enfrentar también los meses de seca, creándose el Programa Nacional de Autosuficiencia Alimentaria en las unidades productivas *de base*, el cual consiste en producir dentro de las áreas de la vaquería el alimento demandado por la masa

ganadera, por lo que la estrategia utilizada en este caso se basa en el suministro al ganado de forrajes desmenuzados, los cuales proceden fundamentalmente de gramíneas tales como la caña de azúcar y el King Grass (Valdés, Martínez, & Pérez, 2012).

La selección de la caña de azúcar como componente relevante en la alimentación animal es acertada, entre otros aspectos por la gran tradición de producción de este renglón en Cuba, así como por presentar propiedades excepcionales y una diversidad bastante amplia de derivados como alimento animal, que pueden ser utilizados, tanto como forraje fresco, como en la preparación de piensos o conglomerados (R. GONZÁLEZ, GEERKEN, MUÑOZ, PÉREZ, & GONZÁLEZ, 1990).

A partir de los estudios realizados por el (ICA, 2006) en Cuba, se establecen 31 variedades utilizadas no solamente por la industria azucarera, sino también como forrajes, dentro de las cuales se encuentran las siguientes: C323-68, C86-503, My-5514, C85-403, C90-530, C86-536, C90-501, C1051-73, C86-12, Co997, B631-18, C132-81, obteniéndose entre un 40 y 50 % de digestibilidad de la materia seca, clasificadas de moderada y alta respectivamente. Por otro lado esto facilita su uso extensivo como conglomerado, a partir de los estudios realizados por los autores (García et al., 1999) y (Rivera, Plaza, & Enríquez, 1999); que validaron y demostraron la factibilidad y las posibilidades que ofrecen los piensos derivados de la caña de azúcar como la solicana, saccharina y la harina, que aportan una producción de leche con niveles similares a los piensos tradicionales comerciales, lo que permite la sustitución de gran parte de las importaciones de este producto.

En la actualidad para asegurar la producción de carne y leche se debe incrementar la producción de alimento para la masa ganadera, incluyendo la producción de pastos y forrajes mezclados con plantas proteicas como la moringa, la tithonia y la morera que sustituyan importaciones, según (I. GONZÁLEZ, 2018), para completar los piensos y forrajes tradicionales (pasto estrella, pangola, entre otros), así como otros de tallos gruesos existentes, según (Valdés et al., 2012) y poder satisfacer la demanda nacional. La mecanización de la cosecha de forraje en Cuba, en la actualidad se dificulta debido a la escasez y deterioro de los equipos que intervienen en el proceso de producción de alimentos para el ganado.

Sobre los piensos para gallinas (Solano, Cedeño, & Ramírez, 2005) en su artículo propone utilizando como fuente de nutrientes subproductos locales de la agroindustria en sustitución de alimentos convencionales, se prepararon tres raciones en las que se incluyeron diferentes niveles (10; 15 y 20%) de levadura *Saccharomyces cerevisiae* secada al sol con bagacillo de caña de azúcar (LBS) y de polvo de arroz (20; 15 y 10 %), se completaron con levadura *Torula*, cabecilla de arroz, azúcar y harina de subproductos de la pesca. Para estudiar el efecto sobre el comportamiento productivo las dietas y un testigo de pienso comercial fueron ofertadas a cuatro grupos de animales en crecimiento con 21 días de nacidos y peso promedio de  $405 \pm 10$  g, distribuidos en un diseño completamente aleatorizado. Los resultados obtenidos mostraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en el peso vivo final de los pollos (1962; 1524; 1594 y 1504 g) a favor de la dieta testigo, sin embargo, entre los grupos alimentados con dietas a base de subproductos agroindustriales no hubo diferencias estadísticas, los rendimientos de canal se comportaron en todos los casos de manera semejante (67.02; 66.81; 69.89 y 65.32 %).

Para la alimentación de polluelos en las granjas avícolas cubanas se utiliza una formulación de piensos bien balanceada que aporta a la cría la energía metabólica necesaria para su óptimo crecimiento y desarrollo. La tabla 4 muestra la formulación usada en la industria de piensos para la elaboración del pienso para polluelos.

Tabla 4: Formulación del pienso para polluelos

Componentes	Precio (\$/Ton)	Por ciento (%)
Afrechillo de trigo	158,6510	2,5
Aceite vegetal	912,6982	0,67
Ceba mineral	4464,8800	0,15
Carbonato de calcio 38%	70,8464	1,75
Cloruro de colina	1620,0000	0,13
Cloruro de lisina	2122,8100	0,01

DL Metionina	5149,9400	0,15
Fosfato 21%	9025,2300	1,69
Glucosil	2271,8395	0,1
Maíz 7 iskenderun	6210,0000	55,36
PREM INICIO VIT	5488,0000	0,15
SALMIX	35,9600	0,1
Soya 45.5 loyalti	7452,0000	36,84
Sal Común	395,9736	0,4
Total		100

### 1.6. Conclusiones parciales

1. La cáscara de huevo es un residual sólido generado por la agroindustria avícola y su peso representa varía entre 9 y 13% del peso total del huevo, su composición 95% de carbonato de calcio en la envoltura externa y entre un 3 y 3,5% de compuestos orgánicos que se encuentran en la cutícula.
2. Con el paso del tiempo, y la alta demanda poblacional de alimentos a nivel mundial, anualmente aumenta significativamente la cantidad de cascarones de huevos generadas por la industria.
3. La estrategia de Producciones más Limpias está constituida por un grupo de herramientas que permiten hacer los procesos tecnológicos más amigables con el Medio Ambiente, y en el caso particular de la fabricación de mayonesa pueden utilizarse para dar un mejor tratamiento al residual sólido y lograr un valor agregado.

- 
4. Varios autores consultados coinciden en que la cáscara de huevo puede tener aplicaciones en diversas industrias debido a sus características fisicoquímicas.
  5. La producción de piensos es un renglón deficiente actualmente en Cuba debido a los altos precios de importación de las materias primas, y la producción no supe la demanda del mercado.
  6. Los autores consultados plantean la utilización de componentes alternativos de alto valor nutricional para disminuir los costos de producción de los piensos para animales, estos son residuales de procesos derivados de la agroindustria azucarera y arroceras principalmente.
  7. Los estudios realizados por (Valdés-Figueroa, 2009) avalan la utilización de la cáscara de huevo como suplemento alimenticio para aves logrando rendimientos favorables en un período menor de cinco años.

## CAPÍTULO 2. ESTUDIO EXPERIMENTAL

### 2.1. Matriz de Importancia

Siguiendo la metodología para la evaluación de una matriz de importancia fueron analizadas las etapas tecnológicas de lavado y cascado del proceso fenomenológico. Valorando dentro de las mismas por su impacto los parámetros: disponibilidad del agua, calidad del agua, afectación de la capa vegetal, impacto sobre el paisaje circundante, impacto socio-económico en cuanto a la sanidad de vecinos y trabajadores, impacto socio-económico en cuanto a la disponibilidad de empleos y problemas sociales que puedan producirse. Dichos parámetros fueron evaluados en cuanto a la intensidad de su impacto, extensión del mismo, momento en que se ejecuta, persistencia, reversibilidad, sinergia, acumulación, efecto, periodicidad y recuperabilidad. Los mismos fueron considerados de impacto beneficioso o perjudicial.

### 2.2. Caracterización de las cáscaras de huevo.

#### 2.2.1. Determinación de humedad

Para la determinación de humedad se utiliza el método gravimétrico de volatilización inversa. Se prepararon tres muestras de un gramo de cáscaras de huevo limpia, en cápsulas de porcelana previamente taradas. Posteriormente se llevó a una estufa con temperatura de 150 °C por una hora. Las muestras se enfriaron por 25 minutos y se pesó la cantidad resultante

Para calcular la humedad se utilizó la ecuación 1:

$$\% \text{Humedad} = \frac{m_H - m_S}{m_H} \times 100 \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

$m_H$  es la masa húmeda (g)

$m_s$  es la masa seca (g)

### 2.2.2 Determinación de carbonato de calcio.

Para poder determinar el porcentaje de carbonato de calcio en la muestra de cáscara de huevo se empleó el método planteado por (BURGA, 2018) de titulación por ácido en exceso o llamada también titulación inversa. Se trabajó con muestras de cáscara de huevo sin membrana proteica, molida y separada con un tamiz de abertura de malla 355. Enseguida, se preparó 250 mL de una solución de NaOH 0,25 N. Adicional a esto, se preparó 250 mL de una solución HCl 0,2 N.

Se pesó 0,03 g de cáscara de huevo molida y se la hizo reaccionar con 90 mL de solución de HCl estandarizado. Luego se agitó continuamente hasta obtener una solución homogénea y se enrazó la solución a un matraz aforado de 100 mL.

Posteriormente, se tomó 20 mL de la última solución y se añadió 3 gotas de fenolftaleína. Se empezó la titulación por exceso y se anotó el volumen gastado del NaOH estandarizado en el viraje de color de la fenolftaleína (rosáceo a incoloro). Para determinar la masa de carbonato de calcio en la cáscara de huevo se utilizó la ecuación 2:

$$W_{CaCO_3} = (N_{HCl} \times V_{HCl} - N_{NaOH} \times V_{NaOH}) \times PE_{CaCO_3} \quad Ec. 2$$

Donde:

$N_{HCl}$  es la normalidad de HCl

$V_{HCl}$  es el volumen en ml de HCl usados para disolver la cáscara de huevo

$N_{NaOH}$  es la normalidad del NaOH

$V_{NaOH}$  es el volumen gastado en la titulación inversa

$PE_{CaCO_3}$  = Peso equivalente del  $CaCO_3$

Finalmente, se determinó el porcentaje de carbonato de calcio en cáscara de huevo con la ecuación 3:

$$\%CaCO_3_{(cas.h)} = \frac{W_{CaCO_3_{(cas.h)}}}{W_{cáscara\ de\ huevo}} \times 100 \quad Ec. 3$$

### 2.2.3. Determinación de la densidad

Se determinó la densidad de muestras de cáscara de huevo con membrana luego del secado y molido por el método de la probeta anotando los pesos y determinando la relación g/ml.

### 2.3. Prueba de secado

Siguiendo la metodología planteada por (Treybal, 1990) se tomaron 118,820 g de cáscara de huevo húmeda en una bandeja circular y se llevó a la estufa aireada a una temperatura de 90°C por 2 horas, donde se tomaron muestras cada 20 minutos. Las muestras tomadas se pesaron y se llevaron a la estufa a 150°C hasta mantener un peso constante.

Por la ecuación 4 se determinó la humedad en base seca del sólido y se determinó la curva de secado.

$$X = \frac{x}{100 - x} \quad Ec. 4$$

Donde:

X: humedad en base seca (g de agua/g de sólido seco)

x: humedad de la muestra en %

Con los datos reportados por la prueba de secado se puede determinar la curva de régimen de secado por la metodología planteada por (Treybal, 1990), aplicando la ecuación 5.

$$N = \frac{-L_s * \Delta X}{A * \Delta \theta} \quad Ec. 5$$

Donde:

Ls: masa de sólido seco (Kg/h)

A: Área de la bandeja (m<sup>2</sup>)

$\Delta X$ : variación de humedad (Kg agua/Kg de sólido seco)

$\Delta \theta$ : espesor de la película (m)

### 2.4. Análisis de resultados.

#### 2.4.1. Análisis de la matriz de importancia.

El proceso de producción de mayonesa tiene un impacto socio-económico positivo porque satisface una demanda social en cuanto a la alimentación y en cuanto al empleo, ya que proporciona una vía de trabajo para las personas de la localidad. No obstante, como

consecuencia de esta industria existen afectaciones al medio ambiente que en estos momentos no han sido resueltas.

La matriz de importancia resultante del estudio realizado al proceso tecnológico de producción de mayonesa (Figura 2) verifica que la etapa de cascado representa la etapa de mayor impacto generado en cuanto al perfil medioambiental de esta entidad. Razón justificante para concentrar los esfuerzos en minimizar el impacto negativo de esta y maximizar los beneficios que puedan obtenerse del empleo selectivo de los residuales sólidos.

Factores Impactados	Acciones Impactantes								
	Disponibilidad del agua	Calidad del agua	Afectación de la capa vegetal	Paisaje	Socio-económico (salud)	Socio-económico (empleo)	Socio-económico (Problemas sociale	Importancia Absoluta	Importancia Relativa
Lavado	-31	-25	-19	-26	-17	31	27	-60	-2.81
Cascado	-15	-16	-24	-31	-23	32	-24	-101	-15.5
Unidades de Importancia.	140	150	90	110	100	120	290	1000	
Importancia Absoluta.	-46	-41	-43	-57	-40	63	3	-161	
Importancia Relativa.	-6.44	-6.2	-3.9	-6.3	-4	7.56	0.9		-18.3

Figura 2: Matriz de importancia del proceso de producción de mayonesa.

#### 2.4.2. Análisis de humedad.

El porcentaje de humedad determinado experimentalmente para tres muestras de cáscara de huevo. La tabla 4 muestra los resultados obtenidos con la ecuación 1.

Tabla 4. Resultados de la prueba de humedad.

Muestra	Masa de la cápsula de porcelana (g)	Masa de la cáscara de huevo húmeda (g)	Masa de la cáscara de huevo seca (g)	% humedad

1	51,101	1	0,986	1,4
2	57,751	1	0,984	1,6
3	49,566	1	0,983	1,7
Promedio				1,6

La humedad promedio de las muestras de cáscara de huevo sin cutícula es de 1,6%. Según lo reportado por (Grisales, Aguilera, & García, 2019) en la tabla 3, la humedad del  $\text{CaCO}_3$  extraído de la cáscara de huevo es de 1,5%, (Correa & Parrales, 2021) reporta en la tabla 28 que el porcentaje de humedad es de un 2,04. Estos autores coinciden en que la humedad del sólido puede variar en dependencia del proceso previo y las condiciones de almacenaje a las que son sometidos, ya que la cáscara de huevo es un sólido poroso y absorbe humedad en la superficie y puede alcanzar valores de hasta un 12%.

#### 2.4.3 Análisis de la determinación de la densidad.

La densidad de las muestras de cáscara de huevo se determinó siguiendo la metodología planteada anteriormente. Se realizaron tres experimentos con cáscara de huevo seca y limpia en polvo. Los resultados se muestran en la tabla 5.

**Tabla 5:** Resultados de la determinación de la densidad

Muestras	Densidad ( $\text{Kg/m}^3$ )
1	1026
2	1030
3	1028
Promedio	1028

#### 2.4.4. Análisis de la determinación de carbonato de calcio.

Siguiendo la metodología planteada se realizó el ensayo de determinación de carbonato de calcio haciendo tres réplicas al experimento, los resultados obtenidos se muestran en la tabla 6

**Tabla 6:** Determinación del porcentaje de carbonato de calcio

Muestras	V HCl (mL)	V NaOH (mL)	Masa CaCO <sub>3</sub> (g)	%
1	90	69	0,027	90
2	90	67	0,029	96,67
3	90	71	0,028	93,33
Promedio				93,33

El valor obtenido experimentalmente es de 93,33 % de carbonato de calcio en las muestras estudiadas. Según autores como (BURGA, 2018) reporta un 90,37% de CaCO<sub>3</sub>, (Grisales et al., 2019) entre 93,39-94,8%, (Correa & Parrales, 2021) un 93,6% en las muestras estudiadas.

La concentración obtenida apoya la hipótesis planteada para el aprovechamiento de la cáscara de huevo como suplemento rico en calcio para la alimentación animal. La principal ventaja de esta sustitución radica en que debido a la alta concentración de calcio contenida en el residual se reduce el porciento a añadir en la formulación del pienso para polluelos, lo que se traduce como un ahorro económico importante en materia prima.

#### 2.4.4. Prueba de secado.

La tabla 7 muestra los resultados obtenidos de la prueba de secado a 90°C por 2 horas en una estufa aireada.

**Tabla 7.** Resultados de la prueba de secado

Tiempo	Peso inicial de la muestra de cáscara de huevo (g)	Peso final de la muestra de cáscara de huevo (g)	x (g agua/g muestra)	X (g de agua/g sólido seco)
0	5,656	5,09	0,100071	0,111198
20	5,8696	5,597	0,046443	0,048705
40	5,683	5,513	0,029914	0,030836
60	5,532	5,441	0,01645	0,016725
80	6,4448	6,371	0,011451	0,011584
100	9,723	9,595	0,013165	0,01334
120	5,037	4,94	0,019257	0,019636

Luego se grafica la humedad en base seca con respecto al tiempo y se obtiene la curva de secado del sólido que se muestra en la figura 3.

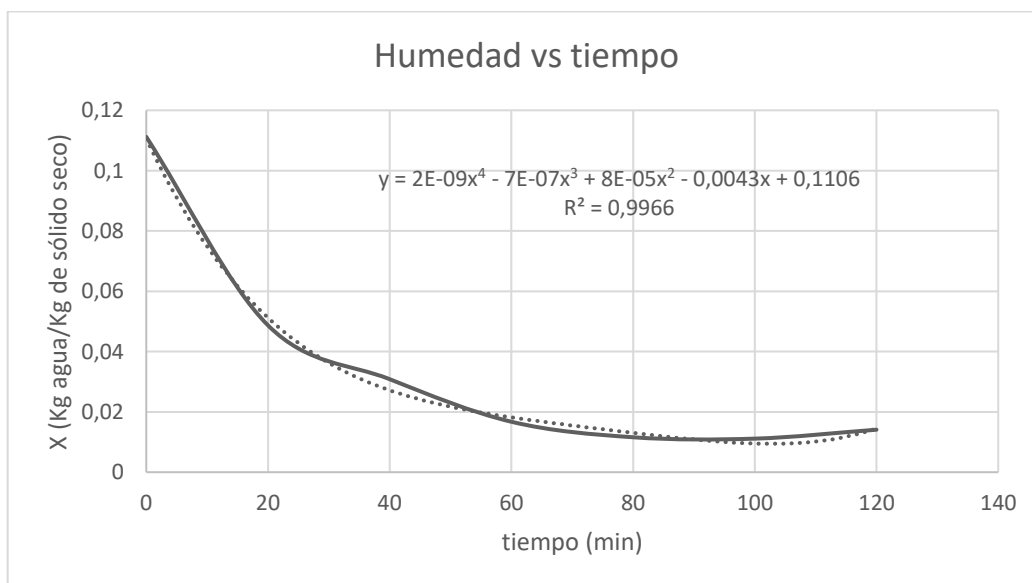


Figura 3. Curva de secado

De la curva de secado se pudo obtener el modelo matemático del proceso, que demuestra la relación entre la humedad y el tiempo a temperatura constante de 90°C, este modelo se puede tomar como confiable debido a que presenta un ajuste de 99,66% con los datos obtenidos.

En la figura 3 se observó que existe una tendencia, a partir de los 80 minutos a mantener una humedad casi constante, encontrándose en ese intervalo el punto de la humedad en equilibrio del sólido. La temperatura de secado se estableció considerando las características del sólido en 90°C, el investigador de esta tesis sugiere que los parámetros de secado validados aseguran la estabilidad del compuesto de interés ya que en la investigación de (Ho, Hsu, Hsu, Hung, & Wu, 2013) plantea que el carbonato de calcio de la cáscara de huevo tiene una estabilidad térmica cercana a los 834°C y que temperaturas superiores causan la descomposición del  $\text{CaCO}_3$  en  $\text{CaO}$ . La cáscara de huevo a tratar tiene la característica de conservar aún la cutícula, que está compuesta por sustancias principalmente orgánicas, si la temperatura fuese superior esta se quemaría generando un color al sólido que no es deseado, y a su vez eliminaría algunos de los nutrientes que puede aportar esa valiosa parte a los polluelos.

(Solé, 2017) propone un tiempo de secado de 1 hora a 150 °C utilizando bandejas de secado con placas perforadas, que constituye un ahorro potencial en el proceso. El análisis realizado de la curva de secado determina que a 90°C el tiempo de secado debe ser de 4 horas para los cascarones de huevo con membrana proteica debido a que la membrana forma una red que retiene la humedad al estar compuesta por 90% de proteína y redes de fibrillas con colágeno tipo X (BURGA, 2018).

Con los resultados obtenidos de la curva de secado, y siguiendo la metodología planteada por (Treybal, 1990) y (McCabe et al., 2007) se determinó la curva de régimen de secado que se muestra en la figura 4.

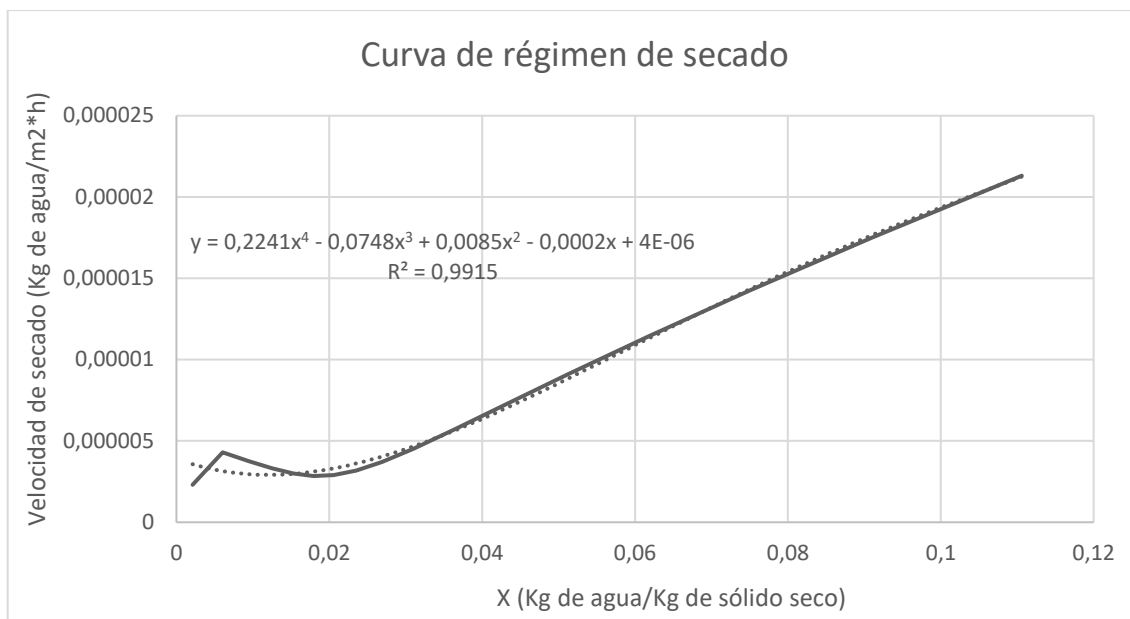


Figura 4. Curva de régimen de secado

En la figura 4 se presenta la curva de régimen de secado, que determina la velocidad de la evaporación de agua por unidad de área. De la curva se obtiene un segundo modelo matemático que describe con gran exactitud el proceso de eliminación de humedad en el sólido. Con el análisis de la curva se puede afirmar que el sólido no presenta una zona definida de periodo constante lo que lleva a deducir que no existe una humedad no ligada, pero tiene un marcado régimen descendente característico de la etapa de secado superficial no saturado. Esta etapa determina la velocidad del secado y por ende el tiempo que tardará el sólido en alcanzar la humedad requerida para su tratamiento. Con los datos reportados por este modelo se determinaron los parámetros de diseño y operación del secadero discontinuo que será utilizado en el proceso.

## 2.5 Conclusiones parciales.

1. La matriz de importancia determinó que la etapa con mayor impacto ambiental es la de cascado, con mayor incidencia sobre el paisaje, problemas sociales y afectación a la capa vegetal.
2. La humedad de la cáscara de huevo es de un 1,6% correspondiendo con lo referente a la bibliografía consultada.
3. La densidad del sólido determinada es de 1028 Kg/m<sup>3</sup>.
4. El porcentaje de carbonato de calcio presente en las muestras es de 93,33%, valor comprendido en los rangos brindados por la bibliografía consultada.

- 
5. La prueba de secado demostró que es factible realizar el proceso a 90 °C sin que el sólido sufra daños fisicoquímicos.

## **CAPÍTULO 3. EVALUACIÓN TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL DE LA PLANTA**

### **3.1. Descripción del proceso de obtención de suplemento cálcico para pienso animal.**

El proceso tecnológico propuesto para la obtención de un suplemento rico en carbonato de calcio a partir de los cascarones de huevo generados en la fábrica de mayonesa “La Purísima” se basa fundamentalmente en obtener un polvo fino con alto contenido de carbonato de calcio.

A partir de los estudios experimentales realizados en el capítulo 2 se han dejado establecidas las principales variables a considerar (concentración de carbonato de calcio en el suplemento y humedad final) y los parámetros fijos a controlar (temperatura de secado 90 °C).

Definición de las etapas principales del proceso

Delimitando las etapas de la alternativa propuesta, se puede definir que la obtención del suplemento cálcico se divide en una etapa inicial donde se le da un tratamiento previo al sólido; donde es lavada y desinfectado con hipoclorito de sodio. La segunda etapa, que es la más importante desde el punto de vista tecnológico, queda detallada por la operación de secado que es el corazón del proceso ya que esto ocurre en operación discontinua, y una tercera etapa donde está la molienda y tamizado de donde se obtiene un polvo fino de color blanco con un tamaño de partícula adecuado.

#### ***Lavado y desinfección***

Los cascarones de huevo provenientes del proceso de producción de mayonesas y aderezos son recepcionados y pesados en la planta, luego se transportan al área de almacenaje, donde

se seleccionan y se acumulan en tanques. Posteriormente son lavados y desinfectados con una disolución de hipoclorito de sodio a 100 ppm durante cinco minutos en tanques, seguidamente se ponen a escurrir hasta que pierdan el agua excedente.

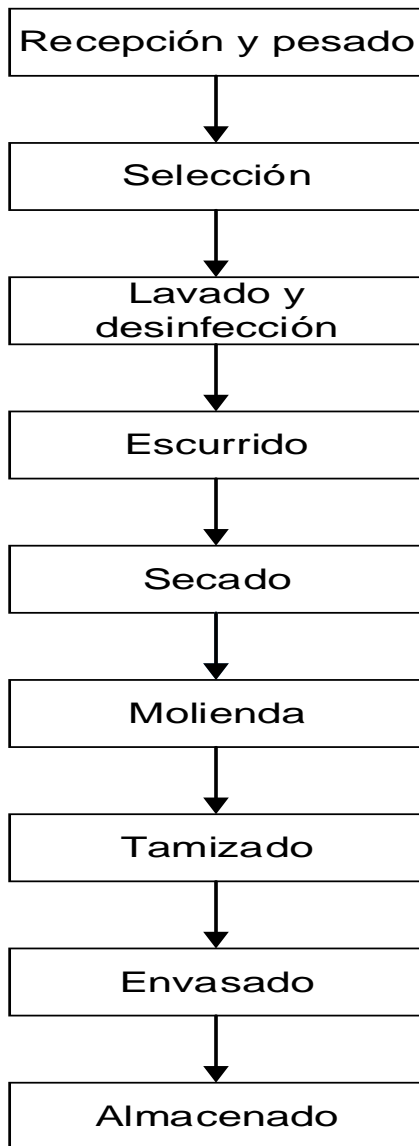
### ***Secado***

Por medio de un tornillo sinfín se llevan al secadero de bandejas para eliminar la máxima humedad que contiene el cascarón de huevo. Este secadero trabaja con aire caliente a 90 °C durante cinco horas por cada carga.

### ***Molienda y tamizado***

Al salir del secadero, las cáscaras secas, son troceadas y enviadas a una etapa de molienda, de la cual se obtiene un polvo fino con alto contenido de calcio; para pasar a un proceso de tamizado con tamices de malla número 355, para asegurar el diámetro de partícula requerido del producto final. El suplemento resultante es envasado en sacos y transportado al área de almacenado.

En la figura 5 se muestra el diagrama de bloques del proceso propuesto.



**Figura 5:** Diagrama de bloques del proceso

### **3.2. Selección de equipamiento.**

Para la selección del equipamiento se tiene en cuenta las características de la materia prima y del producto final, así como los flujos que se manejan y las condiciones de proceso que influyen en la calidad del producto final.

Intercambiador de calor

Por estudio de la bibliografía se conoce, según (McCabe et al., 2007) y (Foust, Wenzel, Clum, Maus, & Andersen, 2006), que los intercambiadores de calor más usados son: de doble tubo, de tubo y coraza, y los intercambiadores de superficie ampliada.

Para el calentamiento del aire que se utilizará como medio de calefacción en el secadero se utilizará un intercambiador de superficie ampliada debido a que una de las corrientes de fluido tiene un coeficiente de transmisión de calor mucho menor que la otra. En el caso particular del calentamiento de aire por medio de vapor de agua que se condensa, el coeficiente pelicular del vapor de agua es entre 100 y 200 veces superior al del aire, lo que implica que el coeficiente global de transferencia de calor sea esencialmente igual al coeficiente pelicular del aire, y como la capacidad por unidad de área de la superficie de calentamiento es pequeña, se necesitarán muchos metros de tubo para conseguir una capacidad aceptable (McCabe et al., 2007). Por tanto, en función de ahorrar espacio y disminuir el coste del equipo se propone utilizar un intercambiador de calor de superficie ampliada con tubos aplastados con aletas continuas.

#### Secadero

Autores como (Treybal, 1990) y (Foust et al., 2006) referencian que los secaderos industriales pueden operar de forma continua o discontinua, dependiendo de las características del sólido y de los flujos en el proceso. Entre los secaderos discontinuos destaca por su uso el secadero de bandejas; y entre los continuos sobresalen los secaderos de túnel, tambor y el rotatorio.

Para este proceso en particular, debido a que los flujos a operar son menores de 50 Kg/h se recomienda utilizar, una operación discontinua y por ende un secadero de bandejas.

#### Molino

Los cascarones de huevo secos son sólidos frágiles, lo que facilita su molienda, (Rosabal & Garcell, 2006) expone que los molinos se clasifican según el tipo de pulverización que se desee, sea fina o superfina. Los principales equipos son los de tambor, de bolas, de discos, los molinos de anillo de rodillo suspendido y los molinos de martillo.

Basándose en los criterios de selección de (Ulrich, 1985) se propone un molino de martillos. Estos dispositivos tienen un cilindro que gira dentro de una carcasa estacionaria y

son capaces de romper, cortar y desgarrar material cohesivo y tenaz. La fuerza centrífuga hace que cierto número de martillos pivotados, montados sobre la periferia del rotor, oscilen dentro de la carcasa, en la cual hay barras estacionarias de yunque o placas rompedoras y forman una superficie de impacto y corte. En la tabla 5 se comparan diferentes tipos de molinos.

**Tabla 8:** Selección de molinos

Parámetros	Molinos		
	Martillos	Rodillos	Disco
Diámetro máximo de alimentación (m)	0,3	0,7	0,5
Relación de reducción típica, R	35	4	10
Capacidad máxima (Kg/s)	400	125	5
Consumo de potencia (kW)	$1,0 * m^{0.86} * R$	-	$10 * m$

### Tamices

El polvo proveniente de la molienda debe ser tamizado para separar el sólido de acuerdo al tamaño de partículas. En las aplicaciones comerciales generalmente es más eficiente emplear una serie de tamices de plataforma sencilla mejor que unidades múltiples. expone que los principales tamices industriales son los de parrilla fija, cribas de tambor, tamices coladores de arcos y cribas vibratorias o semivibratorias. Para el proceso se recomienda la utilización de cribas vibratorias debido a que se adaptan a la capacidad de trabajo que es muy amplia y ajustable a todo tipo de flujos y su bajo gasto energético.

### Cinta transportadora

Según (Ulrich, 1985) existen varias cintas transportadoras: de banda, tornillo sinfín, correa, elevador de cangilones, de flujo continuo, neumático y vibratorio.

Para el transporte de los cascarones de huevo al secadero se utilizará un tornillo sinfín, también conocido como transportador helicoidal. Emplea un tornillo giratorio para transportar el sólido a través del espacio o ducto cerrado. Este transportador ayuda a fragmentar los cascarones para el posterior secado. La tabla 6 ilustra la comparación entre diferentes transportadores.

**Tabla 9:** Selección de transportadores

Parámetros	Tipo de transportador	
	Tornillo sinfín	Flujo continuo
Diámetro (m)	0,15-0,50	0,2-1
Longitud (m)	5-25	10-50
Capacidad max. de sólidos (m <sup>3</sup> /s)	0,007-0.08	0,01
Velocidad normal de transporte	-	0,5-1
Acciones simultaneas	Mezcla, calentamiento, enfriamiento, secado	-
Límite de temperatura (°C)	400	400
Costo relativo anual	Alto	Moderado
Consumo de potencia (kW)	$0,07m^{0.85}*L$	$0,07m^{0.85}*L$

Ventilador

Para alimentar el flujo de aire al intercambiador de calor es necesario hacer el uso de ventiladores. (Ulrich, 1985) propone los dos tipos de ventiladores fundamentales para el movimiento de gases que son los centrífugos y los axiales. Los ventiladores axiales pueden ser de tubos o de aletas, estos son muy utilizados ya que tienen grandes espacios libres y son relativamente baratos.

Para el proceso en cuestión se propone un ventilador axial de tubo. La tabla 7 muestra la comparación entre diferentes ventiladores

**Tabla 7:** Selección de ventiladores

Parámetros	Ventilador axial	
	tubo	aletas
Intervalo de presión absoluta (atm)	Cercana a 1	Cercana a 1
Presión diferencial máxima (kPa)	1	5
Capacidad máxima del equipo de abastecimiento (m <sup>3</sup> /s)	300	300
Eficiencia típica (%)	60-65	60-70
Costos relativos		
Precio de compra	Bajo	Moderado
Instalación	Bajo	Bajo
Mantenimiento	Bajo	Bajo
Servicio	Moderado	Moderado-bajo

Tanques de almacenamiento

Los tanques de almacenamiento a presión atmosférica se emplean universalmente para mantener la materia prima para su procesamiento posterior. Los cascarones de huevo son sólidos frágiles que contiene residuos del contenido interno del huevo. Para su almacenamiento no se requieren condiciones específicas ya que es un residual muy noble por lo que pueden utilizarse depósitos contruidos con acero al carbón, concreto o plástico, dependiendo del costo de los materiales de construcción y su durabilidad. Para el proceso en cuestión se usarán tanques de plástico, por su facilidad de adquisición y su bajo costo en el mercado.

### 3.3. Diagrama de flujo de proceso

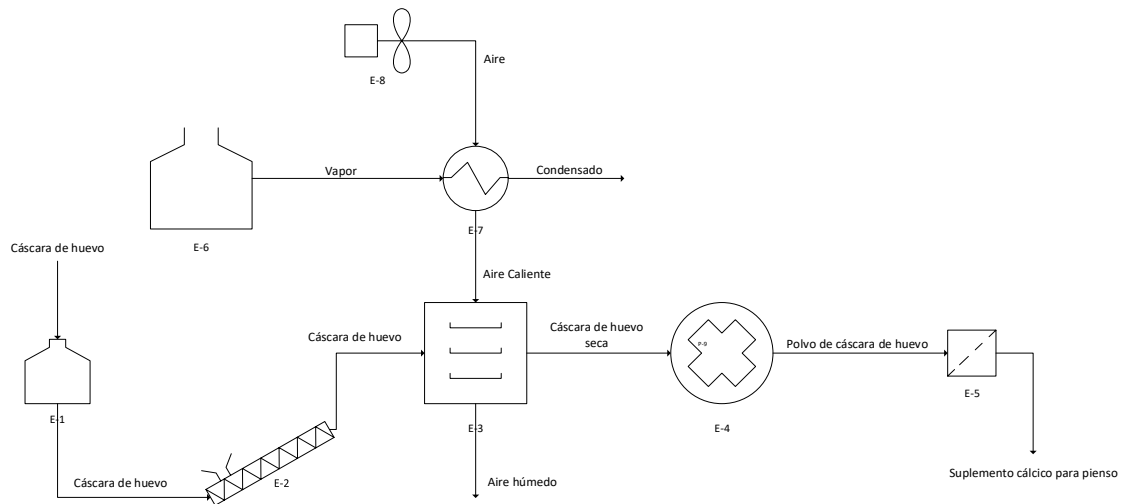


Figura 6: Diagrama de flujo de proceso

E-1: Tanques de almacenamiento y lavado

E-2: Transportador de sólidos tipo tornillo sinfín

E-3: Secadero de bandejas

E-4: Molino de martillos

E-5: Tamices

E-6: Caldera

E-7: Intercambiador de calor de tubos aplastados con aletas continuas

E-8: Ventilador axial

### 3.4. Diseño de equipos

Secadero de bandejas

En la tabla 8 se reflejan los datos para el dimensionamiento del secadero

**Tabla 8:** Datos para el dimensionamiento del secadero

Nombre	Dato	UM	Conversión	UM
Flujo másico	500	Kg/día		
Densidad del sólido	1028	Kg/m <sup>3</sup>		
Humedad del sólido entrada	10	%		
Humedad del sólido salida	3,33	%		
Humedad del aire entrada	1,7	%	0,018	kg agua/ kg aire
Humedad del aire salida	2,91	%	0,027	kg agua/ kg aire

Determinación de los Kg de agua que hay en la cáscara de huevo

$$X_1 = \frac{\% \text{ de humedad}}{100 - \% \text{ de humedad}} = \frac{10}{100 - 10} = 0,111 \frac{\text{kg agua}}{\text{kgss}} \quad \text{Ec. 6}$$

$$X_2 = \frac{\% \text{ de humedad}}{100 - \% \text{ de humedad}} = \frac{3,33}{100 - 1,93} = 0,0344 \frac{\text{kg agua}}{\text{kgss}} \quad \text{Ec. 7}$$

Determinamos L<sub>s</sub>:

$$L_S = L * \left(1 - \frac{\% \text{ de humedad}}{100}\right) = 500 * \left(1 - \frac{10}{100}\right) = 450 \frac{\text{Kg}}{\text{día}} \quad \text{Ec. 8}$$

Balance de humedad:

$$L_S * X_1 + G_S * Y_2 = L_S * X_2 + G_S * Y_1 \quad \text{Ec. 9}$$

$$G_S = L_S * \left(\frac{X_1 - X_2}{Y_1 - Y_2}\right) = 450 * \left(\frac{0,111 - 0,0344}{0,027 - 0,018}\right) = 2874,9 \frac{\text{Kg}}{\text{día}} \quad \text{Ec. 9}$$

$$G = G_s * (1 + Y) = 5880,6 * (1 + 0,018) = 2926,65 \frac{Kg}{día} \quad Ec. 10$$

Determinación del tiempo de secado

$$\theta_T = \theta_1 + \theta_2 + \theta_3 \quad Ec. 11$$

Donde:

$\theta_T$ : tiempo total de secado

$\theta_1$ : tiempo de periodo constante

$\theta_2$ : tiempo de caída de régimen

$\theta_3$ : tiempo de carga y descarga

Siguiendo lo referenciado en la bibliografía (Treybal, 1990) se asume que el tiempo de carga y descarga es de 0,4 horas. Los tiempos de periodo constante y caída de régimen se deben calcular.

$$\theta_1 = \frac{L_s * (X_1 - X_c)}{A * N_c} = \frac{10,28 \frac{Kg}{m^2} * (0,111 - 0,1086)}{0,4234 \frac{Kg}{h * m^2}} = 0,0269 h \quad Ec. 12$$

$X_c$  es la humedad crítica y la obtenemos de la curva de secado con un valor de 0.07 Kg de agua/ Kg de sólido seco.

$$\frac{L_s}{A} = \rho * z = 1028 \frac{Kg}{m^3} * 0,01 m = 10,28 \frac{Kg}{m^2} \quad Ec. 13$$

$z$ : espesor de la película de sólido en la bandeja en metros.

$$N_c = k_y * (Y_s - Y) = 35,28 \frac{Kg}{h * m^2} * (0,027 - 0,018) = 0,4234 \frac{Kg}{h * m^2} \quad Ec. 14$$

$$k_y = \frac{hc}{C_s} = \frac{36,6675988 \frac{kJ}{hm^2 \cdot ^\circ C}}{1,039539 \frac{kJ}{Kg \cdot ^\circ C}} = 35,28 \frac{Kg}{h * m^2} \quad Ec. 15$$

$$\begin{aligned} hc &= 0,0257 * G^{0,8} = 0,0257 * \left( 8771,237553 \frac{Kg}{h * m^2} \right)^{0,8} \\ &= 36,675988 \frac{kJ}{hm^2 \cdot ^\circ C} \end{aligned} \quad Ec. 16$$

$$G' = w * \rho_{aire} = \frac{2,53m}{s} * 0,963002564 \frac{kg}{m^3} * \frac{3600s}{1h} = 8771,237553 \frac{Kg}{h * m^2} \quad Ec. 17$$

$w$ : velocidad del aire tomada del intervalo referente de la bibliografía

$$Cs = 0,24 * 0,45 * Y = 0,24 * 0,45 * 0,018 * \frac{4,19kJ}{1Kcal} = 1,039539 \frac{kJ}{Kg^{\circ}C} \quad Ec. 18$$

$$\begin{aligned} \theta_2 &= \frac{Ls * (Xc - X^*)}{A * Nc} * \ln\left(\frac{Xc - X^*}{X2 - X^*}\right) \\ &= \frac{10,28 \frac{Kg}{m^2} * (0,11 - 0,00212)}{0,4233 \frac{Kg}{h * m^2}} * \ln\left(\frac{0,11 - 0,00212}{0,01963 - 0,00212}\right) \\ &= 3,15 h \end{aligned} \quad Ec. 19$$

$$\theta_T = \theta_1 + \theta_2 + \theta_3 = 0,0269h + 3,15h + 0,4h = 3,58 h$$

Determinación del área, número de bandejas y flujo real de aire de entrada

$$Ls = 37,5 Kg/h$$

Si se toma una hora como base de cálculo:

$$A = \frac{Ls}{\frac{Ls}{A}} = \frac{37,5Kg}{10,28 \frac{Kg}{m^2}} = 10,46 m^2 \quad Ec. 20$$

Se cuentan con bandejas de 1,5 m de longitud y 1 m de ancho. El espacio libre en el secadero debe ser de 0,02 m.

$$A \text{ bandeja} = L * A = 1,5 m * 1 m = 1,5 m^2 \quad Ec. 21$$

$$\# \text{ de bandejas} = \frac{A}{A \text{ bandeja}} = \frac{10,46m^2}{1,5 m^2} = 6,975 \approx 7 \text{ bandejas} \quad Ec. 22$$

$$\begin{aligned} A \text{ libre} &= \text{largo} * \text{espacio libre} * (\# \text{bandejas} - 1) = 1,5 m * 0,02m * (7 - 1) \\ &= 0,18m^2 \end{aligned} \quad Ec. 23$$

Flujo de aire

$$Gv = w * A \text{ libre} = 2,53 \frac{m}{s} * 0,18m^2 = 0,4554 \frac{m^3}{s} \quad Ec. 24$$

$$G = Gv * \rho = 0,4554 \frac{m^3}{s} * 0,96302564 \frac{kg}{m^3} * \frac{3600s}{1h} * \frac{24h}{1d}$$

$$= 37891,74623 \frac{Kg}{d} \quad Ec. 25$$

Luego del diseño de este equipo se puede concluir que para llevar de un 10% de humedad a un 3,33% de humedad 500 kilogramos de cáscara de huevo al día con aire caliente es necesario un secadero de bandejas con un área de 10,46 m<sup>2</sup>, que utiliza 7 bandejas, con un área libre de 0,18 m<sup>2</sup> y un tiempo de secado de 3,58 horas.

### 3.5. Sistemas auxiliares

Para el diseño de plantas químicas es de vital importancia el reconocimiento de los sistemas auxiliares, que garantizaran la marcha eficiente de un proceso. Reconocerlos e identificarlos según las características del proceso, garantizará el buen funcionamiento de los mismos y su contribución al proceso.

Dentro de los principales sistemas auxiliares, podemos mencionar:

- Sistema Energético.
- Sistema de almacenaje.
- Sistema de transporte.
- Sistema de mantenimiento.

Sistema Energético: Conformado por la generación y suministro de vapor, en esta planta es necesario para el calentamiento del aire en el intercambiador de calor. Además, se utiliza energía eléctrica para el movimiento de los tamices, molino, ventilador y los transportadores.

Los aspectos relacionados con los datos y el análisis del balance en el generador de vapor que se encuentra instalado se muestran en la tabla 9.

**Tabla 9:** Características del generador de vapor

P trabajo de la caldera(kgf/cm <sup>2</sup> )	10
---	----

P trabajo de la caldera (MPa)	0,980665
T de trabajo de la caldera(°C)	225
hv(kJ/kg)	2890,256
mc(kg/h)	9,6
Wv(kg/h)	1175
Me(kg/h)	0,5234
Taa(°C)	40
haa(kJ/kg)	168,42
hf(kJ/kg)	758,94
Q1(kJ/kg)	333173,5811
Qi <sup>γ</sup> (kJ/kg)	43100
Entalpía del combustible, hc(kJ/kg)	417000
Qd(kJ/kg)	460100
η	0,724132973
η(%)	72,41329734

Se generan 122,4 kg de vapor/kg de combustible.

Para calentar el aire se requiere 0,0384 Kg de vapor /s o sea 138,24 kg de vapor /h que pueden ser abastecidos por el generador instalado, ya que el consumo actual promedio de vapor es de 930 kg de vapor/h por lo que hay un excedente de 245 kg de vapor /h que permite cubrir la demanda de 138,24 kg de vapor /h

Sistema de Almacenaje: En el proceso es necesario almacenar el polvo resultante del proceso, así como la materia prima que entra a la planta. Es un sistema muy importante, ya que a cualquier proceso le brinda seguridad, continuidad y fiabilidad.

Cálculo del volumen de los tanques de almacenamiento y lavado

Para almacenar la materia prima (3 tanques)

$$V_{\text{tanque almacenamiento}} = \frac{\frac{\text{Flujo de materia prima}}{\rho}}{1,2} = \frac{\frac{500 \text{ kg}}{1028 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}}{1,2} = 0,40531 \text{ m}^3 \quad \text{Ec. 26}$$

Para el diseño del tanque se asume un sobrediseño del 20%

Cálculo del volumen del tanque de lavado

$$V_{\text{tanque almacenamiento}} = \frac{\frac{\text{Flujo de materia prima}}{\rho}}{1,3} = \frac{\frac{500 \text{ kg}}{1028 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}}{1,3} = 0,374139 \text{ m}^3 \quad \text{Ec. 27}$$

La relación de sobrediseño del tanque de lavado es del 30%

Sistema de Transporte: En este caso se está en presencia de un proceso discontinuo, en el que el sistema de transporte se evidencia en los tornillos sinfín acoplados en la planta. Este sistema es necesario garantizarlo.

Sistema de Mantenimiento: La planificación y programación de los mantenimientos tanto preventivos como planificados, por parte del sistema de mantenimiento debe ser de estricto cumplimiento, para evitar diferentes problemas de fallas con el equipamiento que se puedan presentar.

### 3.6. Estimación de costos

La estimación de costos de capital es un análisis necesario para el estudio de la factibilidad del proceso, mediante la evaluación económica se determinan los costos de capital representados por los costos de la inversión necesarios para diseñar la planta y los costos de

manufactura asociados a los costos anuales obligatorios que garantizan el buen funcionamiento de la planta.

### 3.6.1 Costos de capital

Para el capital de costo se tomaron en cuenta los costos directos asociados con la adquisición de los diferentes equipos. La Tabla 10 muestra en costo de los equipamientos estimado por lo referente en (Ulrich, 1985) y (Peters, 1991).

**Tabla 10:** Costo de equipamiento

Equipo	Cantidad	Costo de referencia (\$)	Costo actualizado (\$)	Costo total (\$)	Referencia
Tanques de almacenamiento	3	540	1234,56	3702,86	(Peters, 1991)
Tornillo sinfín	2	2800	6400	12800	(Ulrich, 1985)
Secadero de bandejas	1	30000	60402,68	60402,68	(Peters, 1991)
Molino de martillos	1	4000	8053,69	6568.61	(Ulrich, 1985)
Criba de acero al carbono	1	7000	14093,96	14093,96	(Ulrich, 1985)
Intercambiador de calor	1	1300	1300	1300	(Ulrich, 1985)
Ventilador axial	1	320	644,295	644,295	(Ulrich, 1985)
Costo total:	\$100997,488				

La inversión total necesaria para obtener el carbonato de calcio a partir de las cáscaras de huevo desechadas por la fábrica de mayonesa La Purísima es muestra en la Tabla 11.

**Tabla 11:** Costo total de inversión

costo total del equipamiento	100997,488
Costo de instalación del equipamiento	39389,02033
Instrumentación y control	13129,67344
Facilidades y servicios	55548,61841
Costos totales directos de la planta	209064,8002
Ingeniería y supervisión	32319,19616
Costos totales indirectos de la planta	32319,19616
Contingencia	36359,09569
Capital de trabajo	74738,14113
Inversión	352481,2332

### 3.6.2 Costo de producción

Para los costos de producción se consideraron solamente los costos directos que son los asociados con materia prima, servicios, tratamiento de desechos y personal de operación. Con respecto a la materia prima, en este caso no representa un gasto debido a que el producto principal para la obtención del Carbonato de Calcio es la cáscara de huevo de gallina suministrados a la fábrica de mayonesa. Los valores se muestran en las Tabla 12 y 13 en función de los costos por año en fabricación y administrativos.

**Tabla 12:** Costo de fabricación

Componente	Costo (\$) /año
materia prima	0
mano de obra	5205,5575
supervisión	780,833625
requerimientos	8008,55
mantenimiento y reparación	31723,31099
suministro	3524,812332
Cargos fijos	4004,275
costos indirectos	2002,1375
Costo de fabricación	55249,47694

**Tabla 13:** Gastos generales

componentes	Costo (\$) /año
administrativos	800,855
distribución y ventas	800,855
investigación y desarrollo	2002,1375
Gastos generales	3603,8475

El costo total de producción de suplemento cálcico es de 58853,32444 \$/año.

### 3.6.3 Ingreso estimado

Autores como (Pérez & Aguirre, 2019) y (GÓMEZ & MACÍAS, 2017) proponen que el precio del carbonato de calcio a partir de cáscara de huevo sea 9,34 \$/Kg y 5,36 \$/Kg. Actualmente la industria de piensos en Cuba compra la tonelada de carbonato de calcio por un valor de 449,00 \$/ton.

Se estima que la producción sea de 480 Kg/día de suplemento para piensos rico en carbonato de calcio, se calculó un ingreso correspondiente a la venta de este producto por 1,5 \$/Kg. La tabla 14 muestra los datos para el cálculo de la ganancia.

Producto	Precio (\$/Kg)	Producción anual (Kg/año)	Volumen de producción (\$/año)
Suplemento rico en carbonato de calcio	1,50	144000,00	216000

*Ganancia (G) = Volumen de producción (VP) – Costo total de producción (CTP) Ec. 28*

$$Ganancia (G) = 216000 - 58853,32 = 157146,68 \frac{\$}{año}$$

El precio propuesto es competitivo ante las condiciones del mercado, pues el suplemento elaborado tiene alta concentración de carbonato de calcio, que es muy superior a la concentración del carbonato de calcio de origen mineral que es de un 38%.

### 3.6.4 Rentabilidad

Como parte del análisis económico se hace un estudio de rentabilidad de la propuesta por medio de los indicadores dinámicos. En el presente análisis económico se estudió la rentabilidad de la propuesta por medio de los indicadores conformados por el Valor Actual Neto (VAN), Período de Recuperación de la Inversión (PRD) y la Tasa Interna de Retorno (TIR).

El Valor Actual Neto se define como el valor actual de todos los flujos de caja generados por el proyecto de inversión menos el costo inicial necesario para la realización del mismo. La Tabla 14 muestra los valores estimados para 10 años de producción.

**Tabla 14:** Valor actual neto

Años	VAN (\$)
1	-28998,9761
2	64593,55769
3	143909,2643
4	211125,9648
5	268089,2703
6	316363,2581
7	357273,4171
8	391943,0435
9	421324,0828
10	446223,2686

Para determinar las estimaciones se utiliza una tasa de interés de 0,18.

Luego de cálculo de la VAN se grafican los valores obtenidos en función del tiempo y se obtiene el Período de Recuperación de la Inversión en el punto donde se corta el eje del tiempo. La figura 7 muestra la gráfica del PRD para los 10 años de estimación y la figura 8 muestra la estimación en los primeros 3 años.

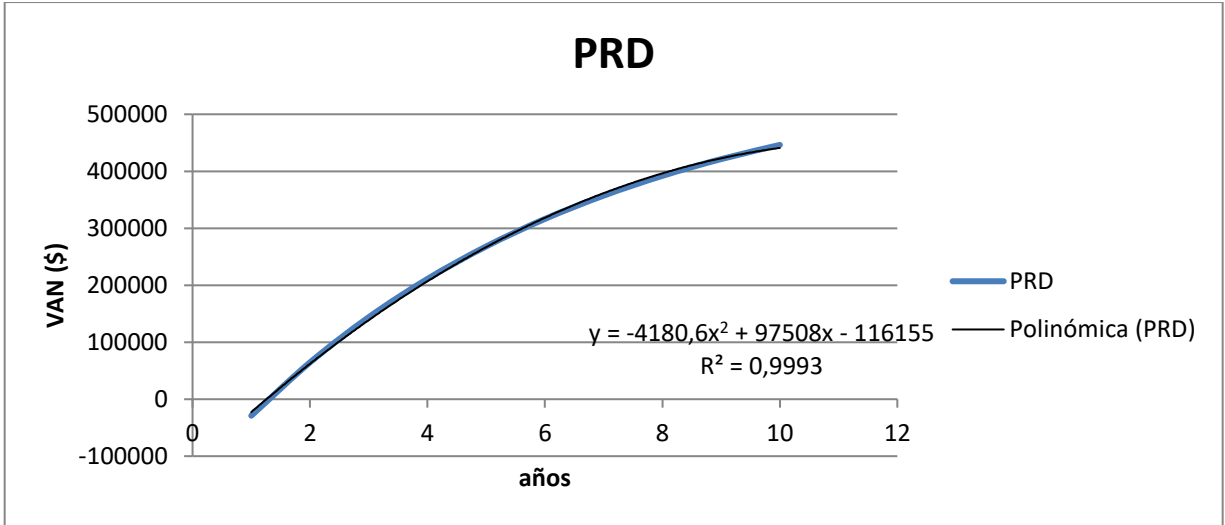


Figura 7: Estimación de PRD para 10 años

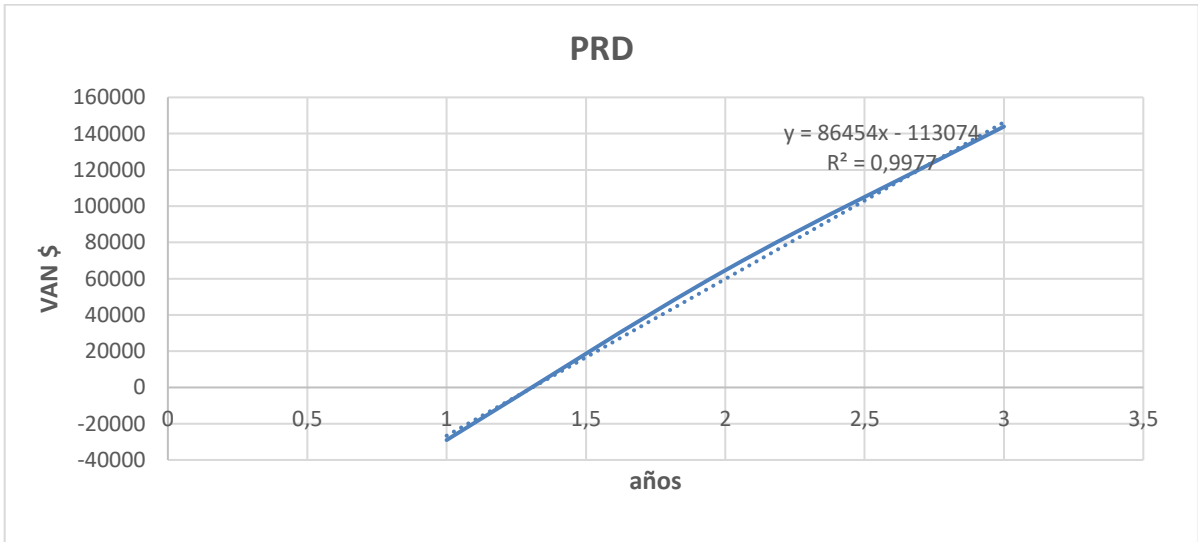


Figura 8: Estimación del PRD en los primeros 3 años

Para un periodo de dos años la planta presenta un valor actual neto mayor que cero (\$64593,55769) lo que indica que la planta es rentable, y que la inversión inicial se recupera en 1,308 años, siendo un valor tiempo favorable para la industria química. También se calculó Tasa de Interna de Retorno con un valor de 35,59%, lo que permite verificar que la planta es factible económicamente y se puede implementar el proceso con ganancias favorables.

### **3.7. Evaluación ambiental**

Basándose en la matriz de impacto de la figura 2, se deduce que la etapa de mayor impacto sobre el medio ambiente lo tiene la etapa de cascado que genera los residuales de cáscara de huevo.

La propuesta de proceso planteada tiene la ventaja de utilizar el residual como materia prima, generando un valor agregado que aporta ingresos considerables a la industria. Este proceso no genera residuales por lo que hace el proceso sostenible ambientalmente y no requiere tratamientos posteriores, lo que cumple con los parámetros establecidos por la metodología de producciones más limpias, convirtiendo la fabricación de mayonesa en un proceso amigable con el medio ambiente.

También es meritorio incluir el ahorro económico por cuestión de daños evitados , debido al no pago de multas por afectaciones al Medio Ambiente, frecuentes en la industria por el mal manejo de los residuos.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

1. A partir de la revisión bibliográfica se determinó que de las vías de reutilización de cascarones de huevo, la vía de alimentación animal es la más atractiva.
2. La cáscara de huevo contiene un 1,6% de humedad y un 93,33% de carbonato de calcio, valores que validan el potencial de esta como fuente de obtención de carbonato de calcio.
3. Se determinó la curva de secado y la curva de régimen de secado para la cáscara de huevo con membrana, y con ellas el tiempo de secado que resultó de 3,58 horas.
4. El diseño de una planta de producción de suplemento alimenticio rico en carbonato de calcio a partir de cáscara de huevo fue realizado para una capacidad de 500 Kg/día, sus principales etapas fueron tratamiento de materias primas, secado, molienda y tamizado.
5. El proceso de producción de suplemento cálcico es viable desde el punto de vista económico, pues se utilizan insumos de bajo precio y la materia prima puede ser adquirida como residual del proceso, y los indicadores dinámicos resultaron favorables para un VAN de \$446223,2686, una TIR de 35,59% y un PRD de 1,308 años.
6. El proceso propuesto no genera residuales a tratar, y da solución a un problema ambiental en la industria de mayonesas y aderezos, haciéndolo más amigable con el Medio Ambiente.

**Recomendaciones**

1. Realizar estudios futuros con el objetivo de separar la cutícula del cascarón, para aprovechar sus propiedades en otras industrias y reducir el tiempo de secado.
2. Rediseñar la formulación actual de pienso para polluelos en función de la concentración de carbonato de calcio presente en el suplemento.
3. Recomendar a otras empresas que generen cascarones de huevo en la provincia la propuesta de una planta de producción de suplemento alimenticio rico en carbonato de calcio.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. Acho, R. (2016). *Estudio de la utilización de cáscaras de huevo que se desechan para la elaboración de pan*. (Tesis), Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.,
2. Bedoya, A., & González, M. P. V. (2020). Usos potenciales de la cáscara de huevo de gallina (*Gallus gallus domesticus*): una revisión sistemática. doi:10.24188/recia.v12.n2.2020.776
3. BURGA, P. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales de cáscara de huevo como insumo para la elaboración de pintura látex de color.
4. Chicaiza, D. I. V. (2019). SUSTITUCIÓN DEL CARBONATO DE CALCIO (CaCO<sub>3</sub>) POR HARINA DE CÁSCARAS DE HUEVO EN UN BALANCEADO PARA CUYES EN LA ETAPA DE RECRÍA.
5. Cordero-Hernández, L. d. I. C., Valdés-Hernández, P. A., Paneque-Rondón, P., & Fernández-Gómez, T. (2020). Revisión sobre el mezclado de productos en la fabricación de piensos y conglomerados. *Revista Ingeniería Agrícola*, 10(4), 59-68. doi:10.13140/RG.2.2.28326.32325
6. Corgniali, Y. A., Fushimi, M., & Giménez, J. (2019). ELABORACIÓN DE SOLUCIÓN RICA EN CALCIO A PARTIR DE CÁSCARA DE HUEVO, APLICADA EN GALLETAS LIBRES DE GLUTEN Y LACTOSA. COMPOSICIÓN QUÍMICA Y EVALUACIÓN SENSORIAL.
7. Correa, J. A., & Parrales, R. S. (2021). OBTENCIÓN DE UN BIOFERTILIZANTE A PARTIR DEL APROVECHAMIENTO DE LA VINAZA PROVENIENTE DE LA EMPRESA SODERAL S.A.
8. Díaz-Molina, M. I. R.-R., Iván L.; Rodríguez-Negrín, Zenaida; Cuellar-de la Cruz, Mirta E. (2013). Gestión ambiental y producciones más limpias en la producción de bioactivos y vitrofural. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 47(1), 3-8.
9. Domínguez, J. A. (2009). GUIA METODOLOGICA PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN LA CIUDAD DE SANTA CLARA.
10. Foust, A. s., Wenzel, L. A., Clum, C. W., Maus, L., & Andersen, L. B. (2006). Principio de operaciones unitarias.

11. Francis, A., & Rahman, M. (2016). The environmental sustainability of calcined calcium phosphates production from the milling of eggshell wastes and phosphoric acid. . doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.029>
12. Franco, D. (2018). Análisis de producto Mayonesa.
13. García, L. R., Ellas, A., Capdevila, J., Reyes, J., Mejías, R., & Herrera, J. M. (1999). Niveles de Saccharina en piensos para vacas lecheras en pastoreo. Producción de leche. *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas*, 33(3), 2.
14. GÓMEZ, L. M., & MACÍAS, J. S. G. (2017). ESTUDIO DE PRE FACTIBILIDAD PARA LA PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE CARBONATO DE CALCIO A PARTIR DE LA CASCARA DE HUEVO COMO SUPLEMENTO ALIMENTICIO EN AVES DE CORRAL LÍNEA CARNE PARA EMPRESAS PRODUCTORAS DE ALIMENTOS CONCENTRADOS PARA AUTOCONSUMO EN EL DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA.
15. GONZÁLEZ, I. (2018). Plantas proteicas renuevan la alimentación animal en Cuba. *Inst. Inter Press Service (IPS)*.
16. GONZÁLEZ, R., GEERKEN, C. M., MUÑOZ, E., PÉREZ, M., & GONZÁLEZ, R. M. (1990). Forraje de caña de azúcar para la producción de leche. Efecto de la cantidad de SNA-70 % en los indicadores del flujo del líquido ruminal. *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas*, 24(3), 275-278.
17. Gracia, M. (2002). Modificaciones nutricionales y problemática digestiva en aves. *XVIII CURSO DE ESPECIALIZACION FEDNA*, 15-36.
18. Grisales, J. P., Aguilera, G. F., & García, S. J. (2019). Estudio técnico de viabilidad en obtención de CaCO<sub>3</sub> con cáscaras de huevo y conchas.
19. Ho, W., Hsu, C., Hsu, S., Hung, C., & Wu, S. (2013). Calcium phosphate bioceramics synthesized from eggshell powders through a solid state reaction. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ceramint.2013.01.076>.
20. ICA. (2006). Estudio del potencial forrajero de las variedades comerciales de caña de azúcar en Cuba. *Instituto de Ciencia Animal, Informe final del proyecto de investigación*.
21. Izquierdo, A. G., Mendoza, F. J. C., Rodríguez, R. C., & Aguilar, D. A. (2019). APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE RESIDUOS SÓLIDOS. doi:10.6035/MediAmbient.2019.10
22. MAMANI, K. M. A., & GUTIERREZ, M. E. Q. (2019). SUSTITUCIÓN PARCIAL DE HARINA DE TRIGO (*Triticum aestivum*) POR HARINA DE CÁSCARA DE HUEVO EN LA ELABORACIÓN DE PAN PARA AUMENTAR EL CONTENIDO DE CALCIO EN EL ORGANISMO.
23. Martínez, P. (2004). Alternativas Tecnológicas que permitan alcanzar Producciones Más Limpias en el Establecimiento 101. *Tenería "Patricio Lumumba" del Municipio de Caibarién*.
24. McCabe, W. L., Smith, J. C., & Harriott, P. (2007). Operaciones unitarias en Ingeniería Química.
25. Morillo, S. (2012). Propuesta de Producción Más Limpia (P+L) en el proceso de tinturado, en la industria "Textiles María Belén" ubicada en el Distrito Metropolitano de Quito. *Título de Ingeniera Ambiental Grado Académico de Tercer Nivel de formación, Universidad Central del Ecuador*.
26. Pérez, A. B., & Aguirre, G. K. (2019). Propuesta de un proceso para la obtención de carbonato de calcio a partir de cáscaras de huevo. *Tesis de grado*.

27. Peters, M. S. (1991). *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*.
28. PNUMA. (1999). *Manual de Producción más Limpia Un Paquete de Recursos de Capacitación*
29. Posso, A. R. (2020). Método de Reutilización de la Cascara de Huevo.
30. Ray, S., Marman, A. K., Roy, P. K., & Singh, B. K. (2017). Chicken eggshell powder as dietary calcium source in chocolate cakes. *Pharm Innov J*.
31. Reinaldo, O. F., & Matos, L. R. (2019). Producción avícola en Cuba: Realidades y desafíos. doi:<http://www.cubadebate.cu/noticias/2019/10/24/produccion-avicola-en-cuba-realidades-y-desafios-video/>
32. Rivera, V., Plaza, J., & Enríquez, A. V. (1999). Nota técnica acerca de la utilización de una dieta integral formulada con harina de caña de azúcar en la ceba de cabritos. *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas*, 33(1), 47-49.
33. RODRÍGUEZ, J. A. (2017). ESTUDIO DE UN CATALIZADOR HETEROGÉNEO DERIVADO DE CÁSCARA DE HUEVO PARA LA TRANSESTERIFICACIÓN DE ACEITE.
34. Rosabal, J., & Garcell, L. (2006). *Hidrodiámica y separaciones mecánicas. 1*.
35. Solano, G., Cedeño, M. L. S., & Ramírez, R. (2005). Dietas para pollos en ceba a base de subproductos de la agroindustria local. *Revista Electrónica de Veterinaria REDVET*, 6(2).
36. Solé, M. (2017). Consulta sobre proyecto cascara de huevo.
37. Treybal, R. E. (1990). *Operaciones de transferencia de masa*.
38. Ulrich, G. (1985). *Diseño y Economía de los procesos de Ingeniería Química*.
39. Valdés-Figueroa, D. S. J. (2009). La cáscara del huevo: ¿desecho o valor agregado para la salud humana y la producción avícola? Una experiencia cubana.
40. Valdés, P. A., Martínez, A., & Pérez, J. (2012). Análisis de la caña de azúcar como alimento para el ganado. *Revista Pre-Til de la Universidad Piloto de Colombia*, 10(26), 59-74.
41. VEGA, E. A. (2017). ESTUDIO DE LA APLICACIÓN DE LA CÁSCARA DE HUEVO EN LA REMOCIÓN DE FLUORUROS EN AGUAS CLARAS.
42. Windhorst, H. (2014). Global egg production dynamics - past, present and future of a remarkable success story. doi:[http://www.internationalegg.com/wp-content/uploads/2015/08/Economics-ReportStatsReportSept14\\_web.pdf](http://www.internationalegg.com/wp-content/uploads/2015/08/Economics-ReportStatsReportSept14_web.pdf)
43. Zurita, E. (2013). REVISIÓN DEL DESARROLLO AVÍCOLA. *Revista Avícola*.

## ANEXOS

### Anexo I      Secadero de bandejas



**Anexo II Intercambiador de calor de superficie ampliada****Anexo III Molino de martillos**

**Anexo IV Criba de acero al carbono**