

PROPUESTA PARA EL APROVECHAMIENTO DE PLUMA EN EL DESARROLLO
DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE HARINA DE PLUMA HIDROLIZADA

MARÍA ANGÉLICA CHAPARRO FORERO

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA UNAD
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
BOGOTÁ
2020

PROPUESTA PARA EL APROVECHAMIENTO DE PLUMA EN EL DESARROLLO
DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE HARINA DE PLUMA HIDROLIZADA

MARÍA ANGÉLICA CHAPARRO FORERO

Seminario Especializado para optar al título de Especialista en Procesos de
Alimentos y Biomateriales

Director: Andrea Vásquez García

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA UNAD
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
BOGOTÁ
2020

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Bogotá, 18 de Octubre de 2020

Dedico este trabajo a mis padres, por brindarme todo su apoyo y comprensión, por impulsarme a luchar para la consecución de este logro, por ser los mejores padres del mundo y brindarme los mejores momentos de mi vida.

Y a mi esposo Tomás, por todo su amor y su ayuda incondicional.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, por darme la fortaleza para llevar a feliz término este trabajo.

Muy especialmente a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, por permitirme ampliar y enriquecer mis conocimientos.

A todos los tutores de la especialización, por su orientación y valiosos aportes para la realización de este trabajo.

CONTENIDO

1. OBJETIVOS	15
1.1 OBJETIVO GENERAL	15
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
3. JUSTIFICACIÓN	17
4. IDENTIFICACIÓN DE LAS NECESIDADES DE LAS REGIONES Y RECURSOS AGROALIMENTARIOS DE POTENCIAL APROVECHAMIENTO	18
4.1 CANTIDADES DE RESIDUOS AGROALIMENTARIOS A NIVEL NACIONAL	18
4.2 LÍNEAS DE PROYECTOS PRIORIZADAS EN CUNDINAMARCA ACORDE CON EL PROCESAMIENTO DE RESIDUOS AGROALIMENTARIOS	19
5. DESARROLLO DEL PROYECTO DE APROVECHAMIENTO DE PLUMAS..	21
5.1 DECISIÓN PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO DE ELABORACIÓN DE HARINA DE PLUMA HIDROLIZADA.....	21
5.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TRANSFORMACIÓN	22
5.3 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE TRANSFORMACIÓN.....	23
5.4 DIAGRAMA DE FLUJO CON EL SIMULADOR COCO	24
5.5 ANÁLISIS DE LA SIMULACIÓN DEL PROCESO	28
5.6 VARIABLES MÁS INFLUYENTES EN EL PROCESO	28
6. SELECCIÓN DE LA HERRAMIENTA PARA OPTIMIZAR EL PROCESO DE OBTENCIÓN DE PLUMA HIDROLIZADA	29
6.1 OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO PARA OBTENER HARINA DE PLUMA HIDROLIZADA.....	30
6.1.1 Definir	30
6.1.2 Medir.....	34
6.1.3 Analizar.....	37
6.1.4 Mejorar	39
6.1.5 Control	40
7. NORMATIVIDAD NACIONAL VIGENTE EN EL DESARROLLO DE PRODUCTOS Y PROCESOS BIOTECNOLÓGICOS	43
8. PERTINENCIA Y VIABILIDAD DEL PROYECTO	45

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Residuos agroalimentarios a nivel nacional	18
Tabla 2. Contenido porcentual de nutrientes en pluma cruda e hidrolizada.....	21
Tabla 3. Contenido porcentual de aminoácidos esenciales en pluma cruda e hidrolizada.....	21
Tabla 4. Defectos en la harina de la pluma hidrolizada	29
Tabla 5. Carta del proyecto.....	31
Tabla 6. Mapeo del proceso.....	32
Tabla 7. Quejas de los clientes	33
Tabla 8. Características fisicoquímicas y microbiológicas de la harina de pluma hidrolizada.....	34
Tabla 9. Factores críticos de calidad por proceso.....	35
Tabla 10. Posibles soluciones de causa raíz del problema.....	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Pérdida y desperdicio de alimentos en Colombia	18
Figura 2. Flujograma para la obtención de harina de pluma hidrolizada.....	23
Figura 3. Simulación del proceso con el simulador COCO	25
Figura 4. Simulación proceso obtención pluma hidrolizada en el simulador COCO	26
Figura 5. Diagrama de proceso para obtener pluma hidrolizada	27
Figura 6. Diagrama de Pareto.....	33
Figura 7. Diagrama causa-efecto de las posibles causas que afectan el color de la harina.....	36
Figura 8. Normatividad nacional vigente en el desarrollo de productos y procesos biotecnológicos	44

GLOSARIO

BIOPROCESO: es un proceso en el que se utilizan células vivas o alguno de sus componentes, por ejemplo, enzimas para desarrollar productos.

BIOTECNOLOGÍA: aplicación tecnológica que utiliza sistemas biológicos y organismos vivos o sus derivados para la creación o modificación de productos o procesos para usos específicos.

ESTANDARIZACIÓN DE PROCESOS: es la implementación de normas claras y precisas de los métodos y formas de ejecutar un proceso en concreto o un procedimiento de trabajo.

HARINA DE PLUMA HIDROLIZADA: concentrado proteico obtenido de la molienda de plumas de aves que previamente han sido tratadas con vapor de agua bajo presión y que se emplea como materia prima para la elaboración de alimentos balanceados para animales.

MEJORA DE PROCESOS: consiste en el análisis del proceso como se encuentra ahora para encontrar ineficiencias y actividades que se pueden realizar de una forma mejor. También se conoce con el nombre de optimización de procesos.

OPERACIONES UNITARIAS: se define como un área del proceso o equipo donde se incorporan materiales, insumos o materias primas y ocurre una función determinada, son actividades básicas que forman parte del proceso.

SIMULACIÓN DE PROCESOS: es una herramienta para la evaluación y el análisis de los sistemas nuevos o ya existentes, con el objetivo de anticiparse al proceso real, validarlo y obtener su mejor configuración.

SIX SIGMA: es una herramienta de control y disminución de la variación de los procesos. Es una metodología de mejora de procesos y solución de problemas complejos.

SUBPRODUCTO: es una materia prima alimenticia que no reúne las características para ser comercializada como tal, pero que por su composición química puede servir para consumo humano, animal o aplicación industrial.

RESUMEN

En este trabajo se presenta la importancia de aprovechar un subproducto agroalimentario como lo es la pluma. Igualmente, se presentan las cantidades de residuos alimentarios en Colombia y los procesos biotecnológicos priorizados aplicados al procesamiento de residuos agroalimentarios en Cundinamarca.

También, se mencionan los beneficios que trae para la sociedad, el medio ambiente y la economía, aprovechar los residuos provenientes de la industria avícola, en especial la pluma, para obtener harina de pluma hidrolizada. Del mismo modo, se muestran los datos de producción nacional de pluma y de harina de pluma. Así mismo se hace una breve descripción del proceso de elaboración de la harina. Posteriormente, se presenta el diagrama de flujo del proceso y se muestra la simulación del proceso en el simulador COCO, se realizan los análisis de los gráficos emitidos por el simulador y se dan los resultados del informe.

De la misma forma, se seleccionó la herramienta seis sigma para estandarizar el bioproceso con el fin de optimizar el proceso para obtener harina de pluma hidrolizada.

Se describe cómo se realizó la optimización del proceso, incluyendo las variables a optimizar, la descripción de los factores que afectan la operación, así como el proceso de optimización.

Además, se presenta una infografía donde se revisa la normatividad nacional vigente en el desarrollo de productos y procesos biotecnológicos.

Por último, se argumenta la pertinencia y viabilidad de montar una industria productora de harina de pluma.

Palabras clave: harina de pluma hidrolizada, bioprocesos, subproductos, residuos, desperdicios de alimentos, seis sigma.

ABSTRACT

In this work the importance of taking advantage of an agri-food by-product such as the feather is presented. Likewise, the amounts of food waste in Colombia and the prioritized biotechnological processes applied to the processing of food waste in Cundinamarca are presented.

Also, mention is made of the benefits it brings to society, the environment, and the economy, taking advantage of the residues for the poultry industry, especially the feather, to obtain hydrolyzed feather meal. In the same way, the data of national production of feather and feather flour are shown. Likewise, a brief description of the flour production process is made.

Subsequently, the process flow diagram is presented, and the simulation of the process is shown in the COCO simulator, the analysis of the graphs emitted by the simulator is carried out and the results of the report are given.

In the same way, the six-sigma tool was selected to standardize the bioprocess in order to optimize the process to obtain hydrolyzed feather flour. It describes how the process optimization was carried out, including the variables to be optimized, the description of the factors that affect the operation, as well as the optimization process.

In addition, an infographic is presented where the current national regulations in the development of biotechnological products and processes are reviewed.

Finally, the pertinence and viability of setting up an industry that produces feather flour is argued.

Keywords: Hydrolyzed feather flour, bioprocesses, by-products, residues, food waste, six-sigma.

INTRODUCCIÓN

En Colombia, el Departamento Nacional de Planeación proyectó para el año 2018, el 20% de aprovechamiento de residuos que van a los rellenos e incentivar el reciclaje, sin embargo, no ha logrado superar el 17%, por lo que es urgente introducir mecanismos de articulación de la parte productiva y de investigación científica y tecnológica.

En países como Colombia la mayoría de los residuos se generan principalmente por la actividad agrícola, esto se debe a la alta práctica económica alrededor de este sector.

En Colombia el procesamiento de productos como café, caña de azúcar y panelera, palma de aceite, arroz, maíz, plátano y banano producen 14.974.807 Ton/año, lo cual genera 71.943.813 Ton/año de residuos que básicamente son incinerados o llevados a rellenos sanitarios (PEÑARANDA GONZÁLEZ, 2018).

De todos los residuos y desperdicios agroalimentarios que provee la agroindustria, bastantes se pueden emplear como materia prima para ser utilizadas en otras industrias o como productos alimenticios.

La producción de subproductos agroalimentarios ocasiona una problemática global ya que la mayor parte no es dispuesta apropiadamente, por lo que se constituyen en un foco de contaminación ambiental. Para reducir este alto nivel, los residuos de esta agroindustria pueden ser empleados para elaborar otros nuevos productos, mejorar algunos ya existentes, obtener productos bioenergéticos o elaborar harinas para fabricar alimentos concentrados.

Al aprovechar todos los residuos además de disminuir el impacto ambiental, se logran muchos beneficios económicos, sociales y sanitarios.

Además, los subproductos de origen agroalimentario son de fácil consecución y presentan bajo costo.

Para aprovechar los residuos agroalimentarios se emplean diversas operaciones unitarias, por lo que es importante el conocimiento de las mismas para poder aplicarlas en el desarrollo de un producto determinado.

En este informe se aborda el aprovechamiento de los residuos derivados de la industria avícola, específicamente, las plumas, con el ánimo de producir harina de pluma hidrolizada y poderla emplear como materia prima para la elaboración de alimentos concentrados para animales.

La industria avícola genera una alta producción de desechos entre ellos picos, despojos de piel de pollo y plumas. Se estima que cerca del 10% del peso del animal equivale a plumas (GÓMEZ, 2019). Según la Federación Nacional de Avicultores, Fenavi, la producción de pollo para el año 2019 fue 1693178 toneladas y en lo que

va corrido de este año hasta el mes de junio reporta 783546 toneladas, (AVICULTORES, 2020), lo que equivaldría a 169318 toneladas de producción de plumas para el año 2018 y 78354 toneladas hasta el mes de junio de 2020. El aprovechamiento de este subproducto para obtener harina de pluma hidrolizada es una excelente opción de provecho de este residuo para suplir deficiencias en proteínas de algunas materias primas que se emplean en la industria de elaboración de alimentos concentrados para animales. Igualmente, el aprovechamiento de este subproducto contribuye a disminuir el impacto ambiental generado por las plantas de beneficio por su difícil disposición, degradación de aguas, suelo y emisiones de gases con efecto invernadero.

Por otra parte, la consecución del subproducto es relativamente fácil, puesto que en las 32 plantas de beneficio que existen en Colombia, se sacrifican 33 millones de pollos al año (TIEMPO, 2003). Lo que indica que existe gran cantidad de materia prima para elaborar la harina de pluma hidrolizada y a muy buen precio.

Este subproducto debe ser considerado como un recurso renovable, ya que es reutilizable y se encuentra disponible fácilmente y debido a su composición y a la gran cantidad de nutrientes que posee, se considera muy atractivo su aprovechamiento.

En Colombia, las empresas productoras de alimentos concentrados para animales han incentivado la producción de harinas de subproductos agroalimentarios, como la de pluma hidrolizada. La producción nacional de harina de pluma hidrolizada es de 2130 toneladas mensuales (FALLA CABRERA, 1994).

La harina de pluma es utilizada en las fábricas de concentrados para la elaboración de alimento para aves de postura, engorde de pollos y de cerdos.

Aprovechar este subproducto, redundará en beneficios económicos, sociales y medioambientales, además elaborar harina de pluma hidrolizada sólo requiere un ingrediente como materia prima, las plumas de pollo.

Para analizar el proceso de fabricación de harina de pluma hidrolizada, es primordial conocer algunos softwares existentes en el mercado que faciliten la simulación de un bioproceso y ayuden a tomar decisiones sobre el mismo, en este caso se trató de modelar el proceso con el simulador COCO.

Así mismo, para estandarizar el proceso de producción de harina de pluma hidrolizada, se utilizó la metodología seis sigma con el fin de reducir la variabilidad y reducir los defectos del producto final y se comparó con los datos reales obtenidos en una empresa productora de harina de pescado.

La estandarización de procesos implica normalizar un proceso para que siempre se

ejecute de la misma manera. Cuando se estandariza un proceso, las operaciones involucradas en el mismo, se hacen siempre de la misma forma con el objetivo de que el resultado final sea siempre el mismo. Al estandarizar un proceso disminuyen las pérdidas, se minimiza la inestabilidad y se forma una cultura corporativa (BETANCOURT, 2018).

Al aprovechar el subproducto del faenado de la industria avícola para producir harina de pluma hidrolizada se emplea la biotecnología que cada día se convierte en una ciencia muy importante en el desarrollo económico y social del país. El conocimiento de esta tecnología ha tenido una aplicación a nivel industrial muy grande, planteando métodos novedosos de producción. Por esta razón el gobierno nacional ha venido implementando leyes que regulen los lineamientos y las prácticas de la biotecnología en el país, acorde con los modelos internacionales. La regulación de las normas nacionales, apoyan el fomento a las empresas biotecnológicas en cuanto a calidad, investigación y desarrollo de nuevos productos. La legislación colombiana está orientada a generar homogeneidad de principios, control de calidad de los productos, regulaciones y reglamentación para la comercialización, importación y exportación de los productos, servicios e insumos. Terminando este informe, se presenta un resumen donde se relaciona la normatividad vigente para el desarrollo de productos biotecnológicos.

Al final del presente artículo se muestra la pertinencia y viabilidad de llevar a cabo el proyecto de producción de harina de pluma hidrolizada, teniendo en cuenta todas las anteriores connotaciones.

En este trabajo se identifican las necesidades de las regiones y los recursos agroalimentarios que se pueden aprovechar con las políticas del gobierno a nivel nacional e internacional y las líneas que tiene priorizadas Minciencias.

También se propone el aprovechamiento de los residuos provenientes de la industria avícola, en este caso en particular de la pluma, identificando las operaciones unitarias que se involucran en su procesamiento, realizando un diagrama de flujo y simulando el proceso.

Igualmente se selecciona una herramienta adecuada para optimizar el proceso para obtener harina de pluma hidrolizada mediante la identificación de las principales técnicas empleadas en la optimización de procesos biotecnológicos para aprovechar residuos agroalimentarios.

Por último, mediante una infografía se conoce cuál es la normatividad nacional vigente para desarrollar productos y procesos biotecnológicos.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Aprovechar un subproducto agroindustrial para disminuir el impacto ambiental que genera en el planeta y valorizarlo, al elaborar un producto que satisfaga otras necesidades industriales.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Establecer las necesidades de las regiones y los recursos agroalimentarios que se puedan aprovechar biotecnológicamente.

Observar las cantidades de residuos agroalimentarios en el ámbito nacional en las diferentes líneas de producción.

Escoger un proceso biotecnológico para aprovechar un residuo agroalimentario y simular el proceso con el fin de tomar decisiones en un entorno real.

Seleccionar una herramienta para mejorar el proceso de aprovechamiento de pluma para obtener harina de pluma hidrolizada.

Revisar la normatividad nacional vigente en el desarrollo de procesos biotecnológicos y sus productos.

Determinar la viabilidad y pertinencia de elaborar harina de pluma hidrolizada.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Durante la elaboración de distintos productos a nivel industrial, se generan subproductos que, si no se adecuan de manera correcta, provocan contaminación en las fuentes hídricas o en botaderos informales, convirtiéndose en un verdadero problema ambiental a nivel mundial. En Colombia, según el Departamento Nacional de Planeación, el aprovechamiento de subproductos agroindustriales es relativamente bajo, ya que tan solo el 17% de los subproductos son aprovechados industrialmente. Esto indica que la mayor parte de los subproductos van a los ríos o son botados en cualquier sitio, causando contaminación.

Estos subproductos tienen un sin número de aplicaciones industriales ya que con ellos se pueden fabricar nuevos productos o mejorar algunos ya existentes, su utilización redundaría en la mitigación del impacto ambiental.

3. JUSTIFICACIÓN

Después de realizar una revisión de los muchos subproductos que se originan en el país y con el objetivo de aprovechar un desperdicio agroindustrial y mitigar el impacto ambiental, se plantea la posibilidad de dar un mejor tratamiento a los desperdicios que produce la industria avícola, tales como las plumas, en la fabricación de harina de pluma hidrolizada. Utilizar este subproducto contribuye al mejoramiento del medio ambiente ya que su elaboración repercute en la disminución del problema de disposición de desperdicios agroalimentarios.

En esta investigación se muestra una alternativa de aprovechamiento de este subproducto, para producir harina de pluma hidrolizada para ser empleada como materia prima en la producción de alimentos balanceados para animales, ya que es un producto de fácil consecución, económico, aporta gran cantidad de proteína, tiene gran demanda y trae beneficios económicos y sociales.

4. IDENTIFICACIÓN DE LAS NECESIDADES DE LAS REGIONES Y RECURSOS AGROALIMENTARIOS DE POTENCIAL APROVECHAMIENTO

Para determinar las necesidades de las regiones y los recursos agroalimentarios, a continuación, se relacionan en la tabla 1, las cantidades de residuos generados en el país.

4.1 CANTIDADES DE RESIDUOS AGROALIMENTARIOS A NIVEL NACIONAL

Tabla 1. Residuos agroalimentarios a nivel nacional

INDUSTRIA	TOTAL
Lácteos	29067
Frutas y Verduras	6081134
Cárnicos	269268
Raíces y tubérculos	2406764
Oleaginosas, legumbres	148074
Pescados	49797
Cereales	772330
Total	9756435

Fuente: (PLANEACIÓN, 2016).

En la figura 1, se presentan las pérdidas de alimentos que se generan en Colombia.

Figura 1. Pérdida y desperdicio de alimentos en Colombia



Fuente: (PLANEACIÓN, 2016)

4.2 LÍNEAS DE PROYECTOS PRIORIZADAS EN CUNDINAMARCA ACORDE CON EL PROCESAMIENTO DE RESIDUOS AGROALIMENTARIOS.

4.2.1 Prioridades agropecuarias: Incluye la producción de flores, frutas de exportación, hortalizas, aromáticas y medicinales, productos alimenticios y del sector pecuario y generación de lácteos con valor agregado. En gramíneas y leguminosas como maíz, frijol, cebada y arveja en el Alto Magdalena. Arroz y sorgo en Medina, En frutales como cítricos, bananito, fresa, aguacate, durazno, tomate de árbol y café para la provincia del Tequendama, Alto y Bajo Magdalena. El plátano en el Alto y Bajo Magdalena, Medina, Gualivá y Tequendama. En Rionegro, Guavio y Tequendama se prioriza el lulo. En sabana occidente, Sumapaz, Rionegro y Guavio la uchuva. En Rionegro, Ubaté y Sumapaz, la gulupa. En Medina y Tequendama la piña. En Magdalena centro y Sumapaz, la guayaba. El limón en Alto Magdalena, Tequendama y oriente. Naranja en Tequendama y Magdalena centro. Granadilla en Sabana occidente y Sumapaz. Maracuyá

en Tequendama y Sumapaz. Mandarina en Alto Magdalena y Tequendama. La frambuesa en Almeidas, manzana en el Guavio, palma de aceite en Medina, sagú y ciruela en oriente y la feijoa en Sumapaz.

Otros cultivos importantes en el departamento incluyen la caña panelera, aromáticas y medicinales y el caucho para el Alto Magdalena. En Rionegro y Gualivá, la sábila. En Guavio las orellanas.

En cuanto a la ganadería se priorizan el ganado bovino, porcino y agrícola teniendo como prioridad su mejoramiento genético, su cría sostenible mediante el manejo de praderas y manejo de residuos generados con la integración de sistemas productivos silvopastoriles (DEPARTAMENTO NACIONAL DE CIENCIA, 2013).

4.2.2 Prioridades industriales: En Cundinamarca, en este ámbito se han priorizado lácteos de valor agregado, industria de bebidas y biotecnología. Además de cosméticos, marroquinería, industria gráfica, moda textil, materiales de construcción, etc que no generan residuos agroalimentarios.

En la agregación de valor a productos agrícolas los municipios priorizan la agroindustria y proponen estrategias como la creación de marcas propias, alianzas productivas y el fomento a la industrialización de los cultivos en general.

La minería se lleva a cabo en Almeidas, Guavio, Rionegro y sabana centro se explota carbón. En Guavio la arcilla, en Rionegro hierro, en Ubaté arena y en Almeidas recebo, piedra, calizas y fosfatos, así como la industria de curtiembres. Se propone en la mayoría de los planes de desarrollo municipales estrategias para crear una cultura de emprendimiento y asociatividad (DEPARTAMENTO NACIONAL DE CIENCIA, 2013).

4.2.3 Servicios y sectores promisorios: incluye básicamente al sector del turismo, entre sus categorías está el agroturismo, ecoturismo, senderismo y turismo de fin de semana. Además, servicios empresariales y profesionales, outsourcing, informática, telecomunicaciones, desarrollo de software, de salud de alta complejidad, de educación, infraestructura empresarial y logística y clusters de servicio. Se establecen apuestas para la promoción de sectores promisorios como como producción de coques y semicoques de hulla, biocombustibles, sector de cuero, calzado y marroquinería. Estos sectores participan en el PIB regional, contribuyen al valor agregado industrial, generación de empleos, exportaciones, efecto multiplicador y estudios de soporte técnico. También se establecen apuestas para promover los biocombustibles.

Todas estas prioridades animan el uso sostenible del territorio, incluyendo buenas prácticas agrícolas, fomentar el uso de tecnologías limpias, generación de productos orgánicos y la generación de estrategias de conservación, forestación y recuperación de sistemas vulnerables. (Departamento Nacional de Ciencia, tecnología e innovación Colciencias, 2013)

5. DESARROLLO DEL PROYECTO DE APROVECHAMIENTO DE PLUMAS

5.1 DECISIÓN PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO DE ELABORACIÓN DE HARINA DE PLUMA HIDROLIZADA

De acuerdo con las observaciones anteriores, y contemplando que hay muchas oportunidades de aprovechamiento de subproductos y de conformidad con los planes y las coyunturas que brinda el gobierno, el tipo de residuo seleccionado fue el del aprovechamiento de las plumas obtenidas en el proceso de sacrificio de pollos, con el objetivo de obtener harina de pluma hidrolizada. Este subproducto contiene gran cantidad de nutrientes y aminoácidos, que se presentan en las tablas 2 y 3.

Tabla 2. Contenido porcentual de nutrientes en pluma cruda e hidrolizada

NUTRIENTES	PLUMA CRUDA	PLUMA HIDROLIZADA
Proteína	71.19	86.29
Grasa	21.42	0.16
Fibra	2.13	1.42
Cenizas	5.25	1.46
Digestibilidad	69.0	82.0

Fuente: (PASTOR, Franchesca y ALZAMORA, 2018)

Tabla 3. Contenido porcentual de aminoácidos esenciales en pluma cruda e hidrolizada

AMINOÁCIDOS	PLUMA CRUDA	PLUMA HIDROLIZADA
Arginina	4.64	5.61
Histidina	0.31	0.55
Isoleucina	3.01	3.88
Leucina	6.16	6.57
Lisina	0.73	1.73
Metionina	0.21	0.47
Fenilalanina	3.72	3.94
Treonina	3.33	3.76
Triptófano	0.89	0.22
Valina	5.96	6.23

Fuente: (PASTOR, Franchesca y ALZAMORA, 2018)

Las plumas de las aves poseen principalmente una escleroproteína, llamada queratina. La queratina contenida en la pluma constituye entre el 85 y el 90% de la materia nitrogenada de las plumas. La queratina es rica en treonina, arginina, valina, leucina y cisteína, mientras que la cantidad de histidina, lisina y metionina son bastantes bajas (URTEAGA, 1996). Estos datos indican que el proceso para elaborar harina de pluma hidrolizada es bastante viable, ya que es una fuente elevada de proteínas.

La queratina es uno de los componentes nitrogenados de la pluma pertenecientes al grupo de las escleroproteínas insolubles en agua y resistentes a la hidrólisis de las proteasas (Ibíd., p 22). Esta resistencia de la queratina se relaciona con la alta cantidad de cisteína, lo que le otorga, después de la formación de puentes inter e intrapeptídicos de tipo covalente, una estructura terciaria en forma de hélices entrelazadas las unas a las otras, con una alta cantidad de puentes disulfuro entre residuos de cistina (Ibíd., p 22). Pero con un adecuado procesamiento, la pluma se puede convertir en un producto altamente palatable, alto en proteínas y altamente digestible.

5.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TRANSFORMACIÓN

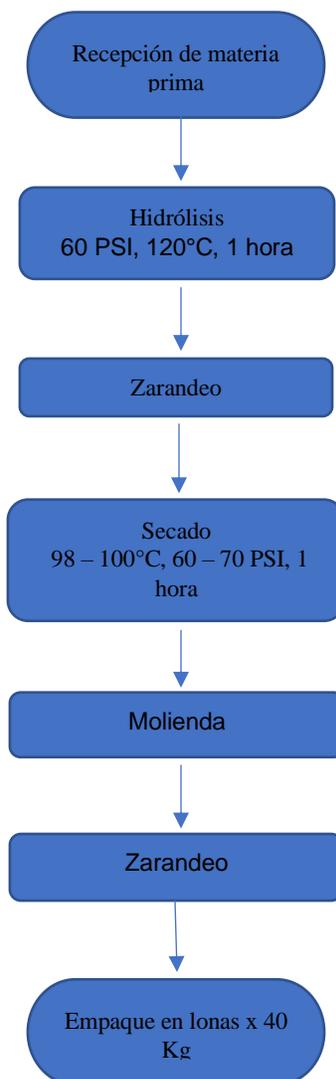
Para elaborar la harina de pluma hidrolizada, la materia prima que ingresa a la planta es volcada en una tolva de recepción y por medio de una banda transportadora, es llevada a un hidrolizador que emplea vapor suministrado por una caldera, para cocer la pluma a una presión de 60 PSI y una temperatura de 120°C por una hora.

La pluma sale con una humedad de 55%, pasa a una zaranda rotex para desapelmazar las plumas y permitir un mejor secado. La pluma hidrolizada y húmeda, ingresa al secador de discos donde se le aplica una temperatura de 98 a 100°C, a una presión de 60 a 70 PSI, por una hora. La pluma sale del secador con una humedad de máximo 8% y por medio de un tornillo transportador, es llevada a un molino para conseguir un tamaño de partícula apropiado. Luego pasa a una zaranda girovibratoria, hasta obtener una harina fina. Por medio de un tornillo transportador es llevada a una tolva de empaque, donde es ensacada en bolsas de polipropileno de 40 Kg, que son almacenadas en la bodega de producto terminado para su distribución a las diferentes empresas productoras de concentrados para animales.

5.3 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE TRANSFORMACIÓN

A continuación, en la figura 2, se presenta el diagrama de flujo del proceso de transformación de plumas en harina de pluma hidrolizada.

Figura 2. Flujograma para la obtención de harina de pluma hidrolizada



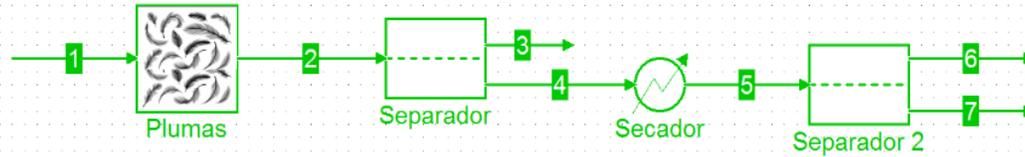
Fuente: Elaboración propia.

5.4 DIAGRAMA DE FLUJO CON EL SIMULADOR COCO

Seguidamente en las figuras 3 y 4, se presentan las simulaciones que se obtuvieron con el simulador COCO y los cuadros con los resultados arrojados después de simular el proceso.

Igualmente, se presenta en la figura 5, un diagrama del proceso para obtener harina de pluma hidrolizada.

Figura 3. Simulación del proceso con el simulador COCO

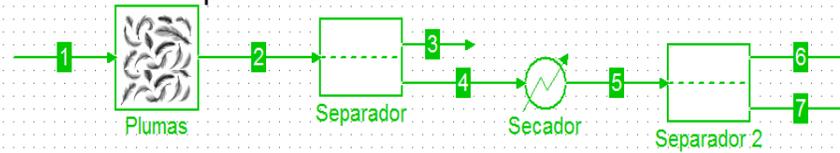


Stream	1	2	3	4	5	6	7	Unit
Pressure	60	60	60	60	60	60	60	psig
Temperature	120	120	120	120	99.85	99.85	99.85	°C
Flow rate	3300	3300	1650	1650	1650	825	825	kg / h
Mole frac Water	1	1	1	1	1	1	1	
Entropy	27.5189	27.5189	27.5189	27.5189	23.5099	23.5099	23.5099	J / mol °C
BubblePointPressure	14.118	14.118	14.118	14.118	-0.0650783	-0.0650783	-0.0650783	psig
BubblePointTemperature	152.954	152.954	152.954	152.954	152.954	152.954	152.954	°C
Flow Water	3300	3300	1650	1650	1650	825	825	kg / h
Flow Water	3300	3300	1650	1650	1650	825	825	kg / h
Mole frac Water	1	1	1	1	1	1	1	
DewPointPressure	14.118	14.118	14.118	14.118	-0.0650783	-0.0650783	-0.0650783	psig
DewPointTemperature	152.954	152.954	152.954	152.954	152.954	152.954	152.954	°C
Enthalpy	9079.84	9079.84	9079.84	9079.84	7544.4	7544.4	7544.4	J / mol
GibbsEnergy	-1739.21	-1739.21	-1739.21	-1739.21	-1224.79	-1224.79	-1224.79	J / mol
InternalEnergy	9070	9070	9070	9070	7534.72	7534.72	7534.72	J / mol
Volume	1.90989e-05	1.90989e-05	1.90989e-05	1.90989e-05	1.87922e-05	1.87922e-05	1.87922e-05	m³ / mol



Fuente: Elaboración propia.

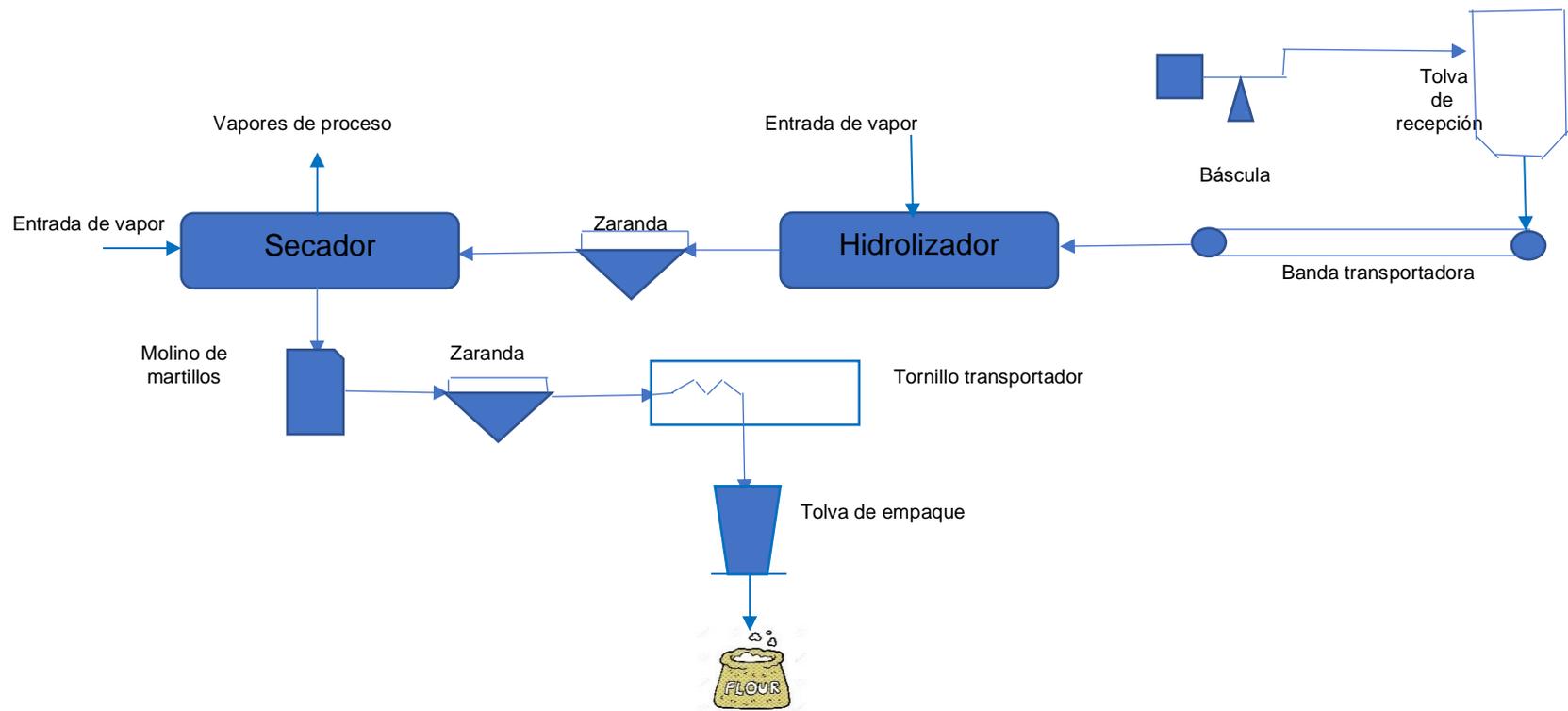
Figura 4. Simulación proceso obtención pluma hidrolizada en el simulador COCO



Stream	1	2	3	4	5	6	7	Unit
Pressure	60	60	60	60	60	60	60	psig
Temperature	120	120	120	120	99.85	99.85	99.85	°C
Flow rate	3300	3300	1650	1650	1650	825	825	kg / h
Mole frac. Water	1	1	1	1	1	1	1	
Entropy	27.5189	27.5189	27.5189	27.5189	23.5099	23.5099	23.5099	J / mol °C
BubblePointPressure	14.118	14.118	14.118	14.118	-0.0650783	-0.0650783	-0.0650783	psig
BubblePointTemperature	152.954	152.954	152.954	152.954	152.954	152.954	152.954	°C
Flow Water	3300	3300	1650	1650	1650	825	825	kg / h
Flow Water	3300	3300	1650	1650	1650	825	825	kg / h
Mole frac. Water	1	1	1	1	1	1	1	
DewPointPressure	14.118	14.118	14.118	14.118	-0.0650783	-0.0650783	-0.0650783	psig
DewPointTemperature	152.954	152.954	152.954	152.954	152.954	152.954	152.954	°C
Enthalpy	9079.84	9079.84	9079.84	9079.84	7544.4	7544.4	7544.4	J / mol
GibbsEnergy	-1739.21	-1739.21	-1739.21	-1739.21	-1224.79	-1224.79	-1224.79	J / mol
InternalEnergy	9070	9070	9070	9070	7534.72	7534.72	7534.72	J / mol
Volume	1.90989e-05	1.90989e-05	1.90989e-05	1.90989e-05	1.87922e-05	1.87922e-05	1.87922e-05	m³ / mol
Liquid phase								
Mole frac. Water	1	1	1	1	1	1	1	
Mole frac. Water	1	1	1	1	1	1	1	
Density	52359	52359	52359	52359	53213.4	53213.4	53213.4	mol / m³
Enthalpy	9079.84	9079.84	9079.84	9079.84	7544.4	7544.4	7544.4	J / mol
Entropy	27.5189	27.5189	27.5189	27.5189	23.5099	23.5099	23.5099	J / mol °C
GibbsEnergy	-1739.21	-1739.21	-1739.21	-1739.21	-1224.79	-1224.79	-1224.79	J / mol
HeatCapacityCp	76.4851	76.4851	76.4851	76.4851	75.9435	75.9435	75.9435	J / mol °C
HeatCapacityCv	66.0738	66.0738	66.0738	66.0738	67.879	67.879	67.879	J / mol °C
InternalEnergy	9070	9070	9070	9070	7534.72	7534.72	7534.72	J / mol
MolecularWeight	18.0153	18.0153	18.0153	18.0153	18.0153	18.0153	18.0153	-
Mole phase fraction	1	1	1	1	1	1	1	
ThermalConductivity	0.683798	0.683798	0.683798	0.683798	0.677926	0.677926	0.677926	W / m °C
Viscosity	9.35159e-12	9.35159e-12	9.35159e-12	9.35159e-12	1.1367e-11	1.1367e-11	1.1367e-11	psi h
Volume	1.90989e-05	1.90989e-05	1.90989e-05	1.90989e-05	1.87922e-05	1.87922e-05	1.87922e-05	m³ / mol

Fuente: Autoría propia.

Figura 5. Diagrama de proceso para obtener pluma hidrolizada



Fuente: Elaboración propia.

5.5 ANÁLISIS DE LA SIMULACIÓN DEL PROCESO

El proceso inicia con la alimentación, por medio de una banda transportadora, de 3300 a 3500 Kg/h de pluma cruda a un hidrolizador que maneja una presión de 60 PSI, durante una hora a 100°C, para conseguir una hidrólisis total de la pluma cruda. Después de un zarandeo para separar la pluma hidrolizada y húmeda, el producto entra a un secador de discos con una humedad del 50%. El secador de discos trabaja a una temperatura entre 98 y 100°C y una presión de 60 a 70 PSI, durante una hora para garantizar una humedad final de máximo 8%.

El proceso se realizó en el simulador COCO, sin embargo, éste no trabaja con compuestos orgánicos como las plumas, ni cuenta con toda la simbología que se requiere para llevar a cabo este proceso en su totalidad, los equipos con los que cuenta son limitados, al igual que las sustancias preestablecidas. Se trató de simular el proceso con un calentador y se obtuvieron resultados acordes con lo esperado, teniendo en cuenta el poco material con el que se contaba.

El simulador COCO no ofreció todas las condiciones adecuadas que se pretendían, para poder llevar a cabo el proceso como se esperaba, por lo tanto, se trabajó con valores de agua.

5.6 VARIABLES MÁS INFLUYENTES EN EL PROCESO

En el proceso productivo para obtener harina de pluma hidrolizada, hay distintas variables que son de suma importancia para poder ejecutar el proceso.

En el hidrolizador, la principal variable es la presión, que debe ser de 60 PSI, y en el secador la principal variable es la temperatura, que debe ser de 98 a 100°C.

El desajuste de cualquiera de ellas causará problemas de calidad en la harina, tales como baja digestibilidad o pluma sobrehidrolizada en el caso de la presión o harina muy húmeda o demasiado seca en el caso del secado.

6. SELECCIÓN DE LA HERRAMIENTA PARA OPTIMIZAR EL PROCESO DE OBTENCIÓN DE PLUMA HIDROLIZADA

Aunque durante la producción de harina de pluma hidrolizada se presentan varios inconvenientes, éstos se remedian a medida que el proceso se va ejecutando. Estos defectos se pueden apreciar en la siguiente tabla.

Tabla 4. Defectos en la harina de la pluma hidrolizada

Defecto	Motivo	Solución
Alta granulometría	Martillos en mal estado.	Cambiar los martillos del molino.
	Mallas de la zaranda rota.	Cambiar las mallas.
	Mallas distensionadas.	Tensionar las mallas.
Alta humedad	Falta de secado	Dejar más tiempo la harina en el secador.

Fuente: Elaboración propia.

Por estos problemas que se evidencian durante la fabricación de la pluma, no se han recibido quejas, ya que son inconvenientes que se solucionan por el operario a medida que va controlando el proceso. El operario debe tomar una muestra de harina de pluma hidrolizada a la salida de la zaranda, cada media hora, para realizar análisis de granulometría y verificar que cumpla con los parámetros de calidad establecidos, así como revisar la cantidad de impurezas o plásticos que traiga la muestra, para tomar los correctivos necesarios. Además, con la ayuda de la termobalanza, realiza el análisis de humedad. Si este valor es inferior a 8%, está bajo parámetros. Si, por el contrario, el valor es alto, quiere decir que le falta más secado, para lo cual debe dejar un poco más de tiempo la harina en el secador. Los resultados de estos análisis son colocados en el registro de control diario de proceso.

Pero hay otros problemas con la calidad de la harina que han significado quejas por parte de los clientes, que aún no se encuentran controlados, por lo tanto, la herramienta que se empleó en este trabajo para optimizar el proceso de obtención de pluma hidrolizada fue el seis sigma.

Se decidió aplicar esta herramienta porque corrige los problemas antes de que se presenten, involucra a toda la compañía, desde los directivos más altos de la empresa, hasta los operarios.

Esta metodología incluye capacitación y entrenamiento para todo el personal, circunstancia que motiva e incentiva a los trabajadores. También busca que el proceso cumpla con todos los requerimientos del cliente, convirtiendo al cliente en el eje central del negocio. Al aplicar este método, se obtienen datos con los cuales se determinan las variables de calidad y los procesos que deben ser mejorados. Como los resultados son evidentes, el trabajo se nota, ya que fomenta una cultura corporativa, puesto que debe haber buena comunicación y cooperación entre todos los miembros de la empresa. Además, disminuye los costos, al disminuir los defectos de los productos. Es una herramienta muy robusta y completa, que también utiliza otras herramientas de mejora, es decir involucra varias herramientas de mejora de procesos. También sirve para aumentar la competitividad.

6.1 OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO PARA OBTENER HARINA DE PLUMA HIDROLIZADA

El principal objetivo de la estrategia seis sigma es identificar y disminuir los defectos de los productos, es decir reducir la variación del proceso para satisfacer a los clientes.

La herramienta seis sigma se basa en cinco fases, se describen a continuación cada una de ellas, para mejorar el proceso de obtención de pluma hidrolizada. Esta metodología también se conoce con el nombre DMAIC, por sus siglas en inglés (Define, Measure, Analyze, Improve- Control).

6.1.1 Definir

En esta fase se designan los equipos que llevarán a cabo el programa y se dictarán charlas de capacitación sobre generalidades de seis sigma, metodología de cada etapa, implementación de seis sigma, herramientas seis sigma, roles dentro del grupo y estadística.

Lo primero, es conformar el equipo Kaizen, de la siguiente forma:

Champion o líder: se designará al Gerente General de la compañía, quien se encargará de seleccionar los proyectos a desarrollar y fijará los objetivos, proporcionando los recursos necesarios para la puesta en marcha del proyecto.

Master black belt: maestro cinta negra, se designa al Gerente de Producción, quien será el encargado de ser el soporte técnico del equipo de trabajo. Maneja los resultados del proyecto, capacita y guía a los equipos de trabajo.

Black belt: cinta negra. Es el jefe de calidad, quien analizará la calidad, los costos, el tiempo, es decir, que administrará técnicamente los proyectos, asesorará a los equipos de trabajo y dirige a los green belts.

Green belt: cinta verde. Se designarán a tres green belts. Ellos serán los jefes de cada turno, quienes se encargarán, junto con sus equipos de trabajo, de ejecutar el proyecto, ya que son líderes, deben motivar e incentivar a sus equipos de trabajo.

Team six sigma: equipo seis sigma. Estará conformado por los operarios de producción, quienes apoyarán el proyecto.

La definición radica en realizar el plan para disminuir los defectos, para ello se utilizan la carta del proyecto y el mapeo de los procesos, para establecer las operaciones que influyen en la generación de defectos en el proceso de producción (CUEVAS AGUILAR, 2008). A continuación, se presenta la carta del proyecto en la tabla 5.

Tabla 5. Carta del proyecto

CARTA DEL	PROYECTO
Proceso	Proceso de harina de pluma hidrolizada
Descripción	Mediante análisis, reducir los defectos en la línea de pluma hidrolizada
Objetivo	Disminuir los defectos en la línea de pluma hidrolizada
Grupo Kaizen	
Champion: gerente general.	Define el proyecto y establece objetivos. Asesora y supervisa el desarrollo del proyecto.
Black belt: gerente de producción.	Mide, analiza, mejora y controla el proceso.
Green belt: jefes de turno.	Miden y controlan el proyecto.
Team six sigma:	Controlan el proceso.

operarios de proceso.	
Alcance	Aplica desde la recepción de las materias primas hasta obtener el producto terminado
Beneficio del cliente	Recibir un producto que cumpla con las características de calidad requeridas por cada uno de los clientes, elevando su satisfacción.
Cronograma	
Definir	Octubre
Medir	Diciembre
Analizar	Febrero
Mejorar	Marzo
Controlar	Abril

Fuente: Autoría propia.

Para hacer el mapeo de los procesos se usa el SIPOC, que significa suppliers inputs, process, outputs y customer (proveedores, entradas, procesos, salidas y clientes), con la que se identifican los clientes internos y externos.

En la tabla 6, se muestra el mapeo del proceso.

Tabla 6. Mapeo del proceso

S	I	P	O	C
Proveedores	Entradas	Procesos	Salidas	Clientes
Avícola Santa Helena Megapollo Fabipollo Avima Induaves Avívola ATB Pollos Dacarp Aviexpo Avipollo Pollo Criollo	Plumas Inhibidor de Salmonella	Hidrólisis Zarandeo Secado Molienda Zarandeo Empaque	Harina de pluma hidrolizada	Raza Nestlé Italcol Albateq Contegral Polar Solla

Fuente: Autoría propia.

Los principales defectos que han dado lugar a reclamos que se pueden presentar desde la recepción de la materia prima hasta que se obtiene la harina son: Olor no

característico, color diferente dentro del mismo lote, contaminación microbiológica, contaminación con sustancias extrañas como plástico, cabuyas. Estos defectos se muestran en la tabla 7.

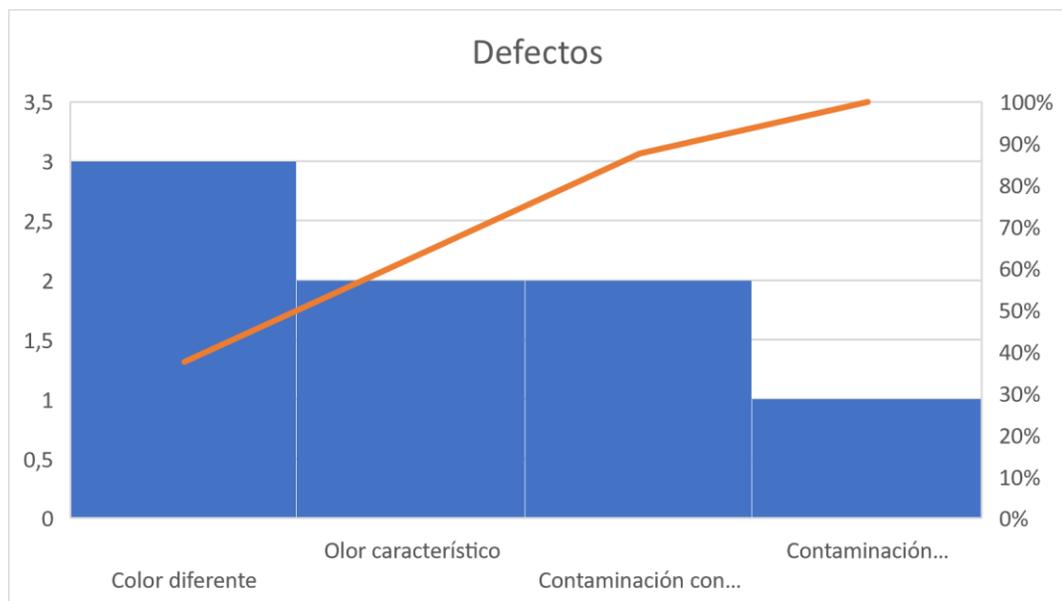
Tabla 7. Quejas de los clientes

Quejas	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Color diferente	3	37.5	37.5
Olor no característico	2	25.0	62.5
Contaminación con sustancias extrañas	2	25.0	87.5
Contaminación microbiológica	1	12.5	100
Total	8	100	

Fuente: Elaboración propia.

Para identificar el principal defecto a resolver, se utiliza el diagrama de Pareto, como se observa en la figura 6.

Figura 6. Diagrama de Pareto



Fuente: Elaboración propia.

Después de realizar el diagrama de Pareto, ya se tienen identificados los principales y más frecuentes defectos que presenta la harina de pluma hidrolizada y el porcentaje de incidencia dentro del proceso. En este caso, el defecto más significativo y por el cual los clientes han presentado mayores quejas es el color diferente que presenta la harina dentro de un mismo lote.

Teniendo ya el equipo definido, los clientes identificados, la principal queja de los clientes y habiendo dado las capacitaciones respectivas, se inicia la segunda fase del proyecto.

6.1.2 Medir

En esta fase se identifican los requisitos de los clientes, las características del producto y las variables de entrada que interfieren en el buen funcionamiento del proceso; a partir de esta información se precisa el sistema de medida del proyecto.

En esta etapa se necesita medir los datos que estén fuera de proceso y estén originando problemas.

En la fase anterior, se conocieron los principales clientes que compran la harina de pluma, en la tabla 8 se describen cuáles son las características que debe cumplir la harina para que sea aceptada por los clientes.

Tabla 8. Características fisicoquímicas y microbiológicas de la harina de pluma hidrolizada

Análisis	Valor
Humedad	8.0% máximo
Proteína	83.0% mínimo
Cenizas	2.20% máximo
Grasa	5.0% máximo
Digestibilidad	80.0% mínimo
Granulometría	Tamiz 10: 1.50 máximo
Recuento coliformes	10 x 10 ² UFC/g
Recuento de mohos y levaduras	10 x 10 ² UFC/g
E. Coli	Ausente
Recuento de Clostridium Sulfito Reductor	20 x 10 UFC/g
Recuento de mesófilos	10 x 10 ⁴ UFC/g
Salmonella/25 g	Ausente

Fuente: Proteicol S.A.S.

También es necesario determinar cuáles son los factores críticos de calidad por cada uno de los procesos. Éstos se muestran en la tabla 9.

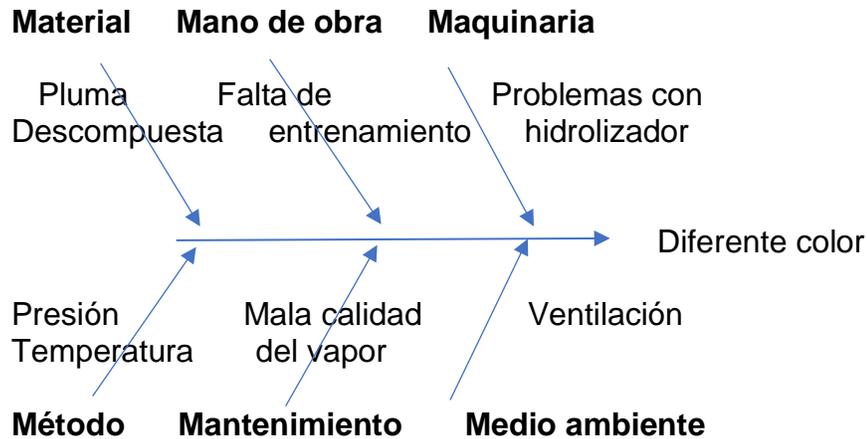
Tabla 9. Factores críticos de calidad por proceso

Factor crítico de calidad	Variable
Pluma sobrehidrolizada	Presión
Olor no característico	Materia prima descompuesta
Color diferente	Materia prima descompuesta, sobrehidrólisis
Baja digestibilidad	Presión
Contaminación física	Materia prima mal seleccionada. Zaranda rota.
Contaminación microbiológica	Falta de adición de químico

Fuente: Autoría propia.

Con la ayuda de la lluvia de ideas y de preguntar por qué, por qué, por qué; el grupo encargado del proyecto identificó cuáles eran los factores que más incidían en la aparición del color diferente, defecto que presentó el mayor porcentaje de reincidencia. Cuando se obtuvieron datos suficientes, se elaboró el diagrama causa – efecto, que se presenta a continuación, en la figura 7.

Figura 7. Diagrama causa-efecto de las posibles causas que afectan el color de la harina



Fuente: Autoría propia.

Después de realizar el diagrama causa – efecto se reconocieron las causas que potencialmente afectan el color de la harina. En la sección de método, se encuentra que la presión es clave para el proceso, en el apartado de materiales, la materia prima incide directamente en el color final de la harina, ya que si llega descompuesta va a generar cambios en las variables del hidrolizador. Por otro lado, la mano de obra incide también en el color, ya que si el operario es inexperto o se encuentra cansado y no está pendiente del control lógico programable, PLC, se puede desviar el proceso. En la parte de la maquinaria, el hidrolizador debe trabajar con las variables adecuadas para hidrolizar completa y perfectamente la pluma. En el mantenimiento es de suma importancia tener el hidrolizador a punto, que los equipos estén bien lubricados, llevar un programa de mantenimiento preventivo, que la calidad del vapor que entregan las calderas sea la indicada (temperatura de 130°C), para conseguir una presión interna de 60 PSI y que las trampas de vapor se encuentren en estado óptimo. En la sección del medio ambiente, es importante que haya buena ventilación y un buen sistema de extracción de vapores, para evitar malos olores en la planta.

El proceso para obtener la harina de pluma hidrolizada es continuo, por lo que, para obtener la información, se partirá con la toma de datos desde el día lunes, después de la jornada de mantenimiento y limpieza. Como el proceso está sistematizado, el operario encargado del turno debe registrar cada media hora los datos de presión y carga del equipo, es decir controlar el flujo de ingreso de materia prima, que aparecen en el PLC, en el registro diario de variables de proceso.

También debe estar pendiente de la calidad de la pluma, puesto que, si la pluma llega descompuesta, debe modificar la variable de presión a 55 PSI para evitar una sobrehidrólisis y oscurecimiento en la harina. Todos estos datos se tabulan para efectuar un análisis estadístico y encontrar el nivel seis sigma en el que se encuentra la compañía.

En este punto, es muy importante que los equipos de medición se encuentren perfectamente calibrados y en buen estado, para que la lectura de la presión sea correcta y confiable.

También, diariamente se evaluó el producto terminado, con la ayuda del departamento de calidad, para observar qué lotes presentaban diferente color.

Después de recolectar los datos, se elaboró el análisis estadístico, se encontró que la principal causa para que se produzca la diferencia de color en un mismo lote es la falta de experticia del operario, así como la calidad de la materia prima, pero este análisis se detallará mejor en la siguiente fase.

6.1.3 Analizar

En esta fase, se reunió el equipo de seis sigma para dar a conocer los datos obtenidos en la fase anterior y se realizó el análisis de los mismos, el análisis del proceso y el análisis de la causa raíz del problema en estudio, para tomar decisiones que contribuyan a mejorar el problema.

Después de analizar los datos y realizar una lluvia de ideas, se tuvieron en cuenta las variables de entrada establecidas en el SIPOC, con el fin de determinar las causas que provocan los defectos y los planes de mejora. Estos resultados se enseñan en la tabla 10.

Tabla 10. Posibles soluciones de causa raíz del problema

Hipótesis	Argumentación	Plan de Acción
Materia prima descompuesta	Recepción de materia prima que no se encuentra en buen estado.	Apartar la materia prima que llega descompuesta para procesarla de forma independiente. Hablar con los proveedores para que envíen la

		pluma descompuesta separada de la fresca.
Baja calidad del vapor	Se requiere mínimo 130 PSI de vapor para que el hidrolizador funcione correctamente.	En el arranque de la operación garantizar que las calderas entreguen vapor con buena presión.
Prensa estopas desajustados	Escape de vapor por prensa estopas desajustados.	En el mantenimiento preventivo, ajustar prensa estopas antes de iniciar el proceso.
Mal funcionamiento trampas vapor	Se pierde vapor y energía si las trampas de vapor no funcionan adecuadamente.	Revisar las trampas de vapor en el mantenimiento preventivo.
Barómetros descalibrados	Datos incorrectos de presión si los barómetros están descalibrados.	Tener un plan de calibración de instrumentos de medición periódico.
Falta de capacitación a los operarios de producción	Personal mal capacitado y sin la debida experiencia contribuye a que el proceso no se lleve de la forma adecuada.	Entrenar al operario, para que procese primero la pluma descompuesta, teniendo en cuenta de modificar la presión en el hidrolizador y estando pendiente de volver a modificarla cuando procese pluma fresca.

Falta de capacitación a los operarios de empaque	Personal de bodega mal capacitado respecto a la diferencia de color de la harina.	Capacitar al operario de bodega, para que cuando se presente un cambio de color en la harina, cambie de lote.
---	---	---

Fuente: Autoría propia.

Como se observa en la tabla anterior, los parámetros que hay que controlar para que no se presente la diferencia de color, y que se están controlando en este momento son: la baja calidad del vapor, prensa estopas desajustados, mal funcionamiento de las trampas de vapor y barómetros descalibrados. Estos parámetros se revisan cada ocho días, en el mantenimiento preventivo que se realiza a la línea y se garantiza que, en el momento de iniciar el proceso, estén a punto, usando para ello una lista de chequeo. Los registros de estas calibraciones y de estas revisiones quedan consignados en los registros de limpieza y calibración que lleva el departamento de mantenimiento.

Las variables que no se controlan en este momento y por lo cual los clientes se están quejando son: la calidad de la pluma, la capacitación a los operarios de proceso y a los operarios de la bodega de empaque. Estos son los temas que se atacarán en la siguiente fase.

6.1.4 Mejorar

En esta fase se implementan soluciones que disminuyan o eliminen las causas que están generando reclamos por parte de los clientes.

El equipo de seis sigma se reúne y mediante una lluvia de ideas, se decide hacer las siguientes mejoras:

Materia prima descompuesta: lo ideal es comprar pluma fresca, pero en ocasiones es difícil que llegue a la planta en esas condiciones, por la distancia que existe entre los centros de acopio de los diferentes proveedores y la planta que está ubicada en Bogotá. Otras veces, se dificulta la llegada a la planta por condiciones externas, tales como, derrumbes, condiciones climáticas o protestas en la vía.

Si la pluma llega a la planta ya descompuesta, se debe dejar aparte en el momento del descargue, dicha decisión le corresponde al supervisor de materias primas,

quien la ubicará directamente en la tolva de recepción de materias primas, para ser procesada lo antes posible.

Si la pluma ya está descompuesta en las plantas de los proveedores, se decide dar charlas sobre la importancia de que envíen la pluma descompuesta separada de la pluma fresca, para que a la llegada de la planta se facilite el descargue de forma separada. Estas charlas serán ejecutadas por el personal encargado de abastecimiento de materias primas, quienes visitarán a los diferentes proveedores y dictarán capacitaciones al respecto, dejando constancia de ello en el registro de visita a proveedores.

En cuanto a la falta de capacitación de los operarios encargados del proceso, se debe impartir entrenamiento para que puedan controlar el momento en que cambie la naturaleza de pluma fresca a pluma descompuesta y puedan modificar la presión del hidrolizador de 60 PSI cuando está fresca a 55 PSI cuando esté descompuesta; con este fin se implementan procedimientos operativos estandarizados, elaborados por los ingenieros de proceso, quienes también dictarán las capacitaciones.

Los operarios deberán registrar los cambios mencionados en el registro diario de proceso.

Para que al operador se le facilite darse cuenta del cambio de materia prima en la tolva de empaque, se decide colocar cámaras en la zona de descargue y pantallas en la cabina de proceso, para que puedan apreciar fácilmente el momento en que se cambie de pluma fresca a descompuesta.

Por otra parte, para la capacitación de los operarios de empaque, los ingenieros de procesos impartirán formación acerca de diferencias de color por medio de paneles sensoriales para que puedan educar la vista y se percaten del cambio de color cuando estén empacando la harina. Así podrán cambiar de lote y no se mezclarán dos colores en uno mismo. También se debe dejar constancia del entrenamiento, mediante el formato de capacitación.

El departamento de calidad debe vigilar los despachos, para evitar mezclar lotes de diferente color y que sean enviados a un mismo cliente.

6.1.5 Control

Después de implementar las medidas necesarias para reducir las causas que originan la diferencia de color en un mismo lote se procede a controlar el proceso.

Para ello el operario debe registrar cada media hora los valores de presión que aparecen en el PLC, en el registro diario de producción y debe estar pendiente de

las cámaras que se instalaron en la tolva de recepción para monitorear la calidad de la materia prima que ingresa a la planta. El operario debe garantizar su proceso y tomar las acciones correctivas necesarias que estén a su alcance, de lo contrario, debe avisar al jefe de turno, para que sea éste quien tome oportunas acciones correctivas.

Se debe llevar un registro, por parte del supervisor de materias primas, que indique cuáles proveedores están enviando materia prima descompuesta, para aplicarles una amonestación monetaria, en el caso de que lleguen a ser reincidentes. Debido a que en las charlas que se les ofrecieron, se les explicó la importancia de enviar pluma fresca dada su incidencia en el proceso.

El departamento de calidad debe verificar que las muestras de los lotes que llevan al laboratorio presenten un color uniforme, para que puedan ser despachadas a los diferentes clientes.

Por último, como parte del seguimiento de la mejora del proceso, se debe realizar una encuesta de satisfacción al cliente, por parte del departamento de ventas, para averiguar si ha disminuido la causa de sus reclamos.

Adicionalmente, se procederá a llevar un control estadístico de los datos obtenidos en el registro de producción mensual con el ánimo de verificar que el proceso se encuentra estandarizado.

Se seguirán dictando capacitaciones al personal operativo y de empaque.

Después de realizar el análisis de seis sigma en la producción de pluma hidrolizada, se observó que el principal problema por el que se quejan los clientes es la presencia de diferente color en un mismo lote representado por un 37.5%. Se encontró que las principales causas de variación en el color de la harina eran materia prima descompuesta, falta de capacitación de los operarios de proceso y de los operarios de la bodega. Con estas variables se ejecutó la validez de la medición y se tomaron medidas pertinentes para tratar de solucionar las inconformidades tales como colocación de cámaras en la tolva de recepción, capacitación a los operarios y a los proveedores y llenado de registros.

Comparando el análisis realizado en este artículo con un informe donde se aplicó la metodología seis sigma en una planta productora de harina de pescado, se observó que aplicando la filosofía seis sigma, se pueden disminuir el número de quejas de los clientes, por medio del uso de datos para tomar decisiones (SALVADOR PACHAS, 2014).

Sin embargo, ese estudio no terminó todas las etapas y los defectos que presentaban eran diferentes de los expuestos en este artículo, pero se concluyó que

manejando esta herramienta se puede conseguir un mejoramiento del proceso mediante la disminución de los errores.

De acuerdo con (DEL CASTILLO PÉREZ, Euler Óscar y NORIEGA VARGAS, 2018), la aplicación del diagrama causa-efecto y la herramienta six sigma, en otra planta que fabrica harina de pescado, mejoraron los puntos críticos del proceso, teniendo un control en los parámetros establecidos en el plan de mejora de la organización y además evidenciaron que tras aplicar la metodología six sigma se logró un aumento del 91.66% en el nivel sigma, pasando de 2.35 a 4.45 causando una mejoría en el proceso productivo.

7. NORMATIVIDAD NACIONAL VIGENTE EN EL DESARROLLO DE PRODUCTOS Y PROCESOS BIOTECNOLÓGICOS

A nivel nacional, existen leyes que tienen por objeto promover el desarrollo y la producción de biotecnología entendida como toda aplicación tecnológica que basada en conocimientos y principios científicos provenientes de la biología, la bioquímica, la microbiología, la bioinformática, la biología molecular y la ingeniería genética, emplea organismos vivos o partes derivadas de los mismos para la obtención de bienes y servicios o para la mejora sustancial de procesos productivos y/o productos (NACIÓN, 2018).

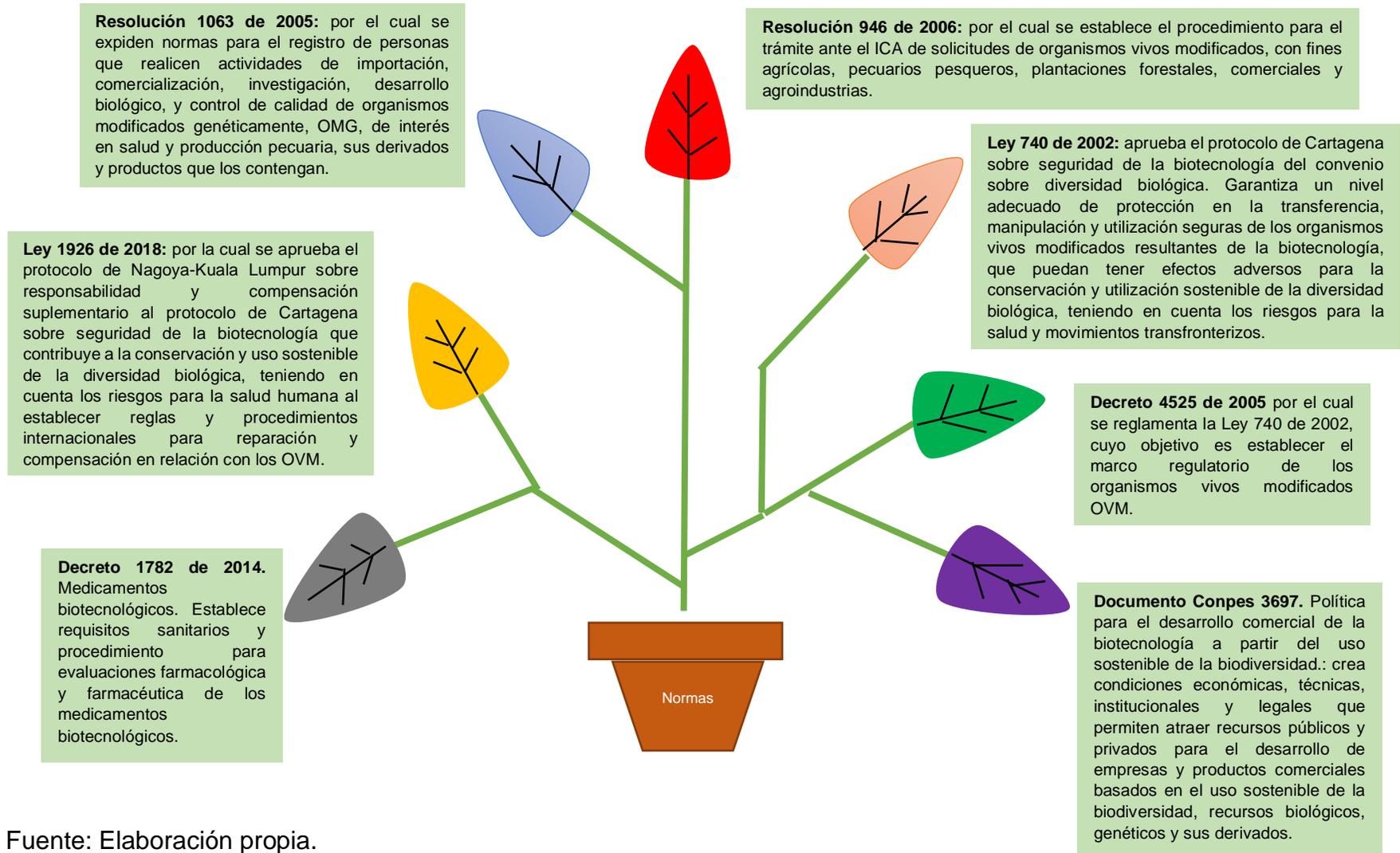
En el mundo moderno, la globalización industrial afronta desafíos relacionados con la competitividad y la productividad, a nivel nacional e internacional, lo que hace imperioso la implementación de políticas y estrategias que fortalezcan los procesos tecnológicos y que le permitan al país progresar económicamente (CASTELLANOS, 2017).

En Colombia desde hace varios años se viene contemplado la implementación de técnicas que utilizan organismos vivos o sus partes para obtener o modificar productos, mejorar plantas o animales, o desarrollar microorganismos con características específicas; es decir, el sector productivo ha incorporado dentro de sus procesos el uso de la biotecnología y ha considerado el desarrollo de políticas de fortalecimiento de las capacidades nacionales en investigación, innovación y desarrollo tecnológico (Ibíd., p 37).

A raíz de lo explicado anteriormente el gobierno nacional ha implementado una serie de normas que sirvan para tener un lineamiento general respecto al uso de la biotecnología en la elaboración de productos y en procesos de producción.

A continuación, en la figura 8, se presenta una infografía donde se muestra la normatividad nacional actual, para regular los productos y procesos biotecnológicos en el país.

Figura 8. Normatividad nacional vigente en el desarrollo de productos y procesos biotecnológicos



Fuente: Elaboración propia.

8. PERTINENCIA Y VIABILIDAD DEL PROYECTO

Como se mencionó al inicio de este artículo, la producción de pollo en Colombia es bastante elevada. El uso de las plumas provenientes de la industria aviar se ha convertido en un recurso valioso y que ayuda a este tipo de industrias a deshacerse de este subproducto de una manera ambientalmente sostenible.

Las plumas son un producto que bien procesado, se pueden convertir en una harina que posee alto nivel proteico y buena digestibilidad, lo que la convierte en un producto que aporta gran cantidad de energía; por lo tanto, es altamente consumida como ingrediente en la formulación de alimentos para animales. Por ser más económica que la harina de pescado, la harina de pluma es un sustituto viable de la harina de pescado que es mucho más costosa (INGREDIENTS, 2016).

Con base en este antecedente, se plantea la oportunidad de crear una empresa que produzca harina de pluma hidrolizada.

Este proyecto es totalmente viable por las razones que se exponen a continuación:

La consecución de la materia prima es bastante fácil, ya que sólo se requiere un ingrediente para elaborar la harina. La producción de pollo hasta el mes de agosto de este año va en 1.040.660 toneladas, de las cuales el 10% equivale a pluma, es decir, 104.066 toneladas. Respecto al consumo per cápita el promedio nacional ha ido aumentando paulatinamente, pasando de 14.20 kilos en el año 2000 a 36.47 kilos en el año 2019. Estos datos demuestran la elevada cantidad de materia prima para producir este producto.

El país ha exportado a Ecuador, Perú, Chile, Panamá y Venezuela harinas para producción de alimentos para animales en un porcentaje del 11.59 en el año 2015 (LEGISCOMEX, 2016); lo que da noción de la alta demanda que tiene la harina de pluma.

Además, en el país todas las empresas que fabrican alimentos concentrados para animales adquieren este tipo de harina para producir sus productos. Entre las principales empresas se encuentran Albateq, Solla, Nestlé, Finca, Contegral, Raza, Italcol, entre otras. Esta información da una idea de la alta demanda que existe actualmente por esta harina.

El precio de adquisición de la pluma es muy económico, oscila entre \$120 y \$200 el kilo, (Proteicol S.A.S), porque se parte de una materia prima que es considerada como desperdicio en el faenado de pollo; mientras que la harina de pluma hidrolizada se vende a \$2000 el kilo (Proteicol S.A.S), esto la convierte en un producto muy rentable, ya que la ganancia es elevada.

No son muchas las empresas en el país que se dedican a procesar pluma para obtener harina de pluma hidrolizada, puesto que no es un tipo de negocio muy conocido. Entre las empresas que la producen se destacan Agrosan, Proteicol, Prodegan del Caribe. Estas empresas tienen bastante experiencia, pero como se puede observar son pocas para suplir la alta demanda que existe no solo en el país, sino a nivel de exportaciones.

En cuanto a la inversión que se debe realizar para montar una fábrica que procese este tipo de harina (PASTOR, Franchesca y ALZAMORA, 2018), efectuaron un análisis de diseño de proceso de harina de pluma a base plumas y encontraron que llevar a buen término este proyecto es económicamente rentable y sustentable a través del tiempo. Estudios han demostrado que poner en marcha este tipo de proyectos es ventajoso y sostenible, debido a que siempre será fácil adquirir la materia prima y existen muchas empresas que elaboran alimentos concentrados para animales. Por otro lado, los equipos que se requieren para montar una planta de producción de este tipo se sabe que son costosos, pero la inversión se recupera en aproximadamente 2.5 años. Según los autores los indicadores financieros manifiestan la factibilidad económica del proyecto porque tiene un margen neto de utilidad para el primer año de ejecución del proyecto del 64.73% (GARCÍA LOJA, 2014).

Montar una fábrica que produzca este tipo de harina requiere personal capacitado y en Colombia se cuenta con recurso humano técnicamente muy calificado.

Por último, la pertinencia de implementar una empresa que produzca harina de pluma hidrolizada representa un compromiso ambiental y social en su desarrollo.

CONCLUSIONES

En Colombia, la producción de pollo es bastante elevada, lo que genera una alta cantidad de pluma, que es considerada como un residuo por las empresas avícolas, pero que sometidas a un adecuado proceso pueden ser aprovechadas para obtener harina de pluma hidrolizada.

Al explotar este subproducto se generan grandes beneficios a nivel económico, medioambiental y social para el departamento de Cundinamarca y el país en general.

La harina de pluma hidrolizada puede reemplazar otro tipo de harinas que se emplean para producir alimentos concentrados para animales, ya que, aplicando un correcto proceso de fabricación, puede llegar a contener gran cantidad de proteína y aminoácidos.

La adquisición de la pluma es fácil y de bajo costo, además en el país se encuentran una gran cantidad de empresas productoras de alimentos concentrados para animales que adquieren harina de pluma hidrolizada para emplearla en la elaboración de sus productos, lo cual da una noción de la alta demanda que tiene este producto.

El proceso no se pudo simular con todos los equipos que se emplean para obtener harina de pluma hidrolizada, porque el simulador COCO presenta esa desventaja, por lo que se emplearon algunos equipos que se adecuaban en cierta forma a los del diagrama de flujo.

En este trabajo se intentó implementar la metodología seis sigma detallando el principal problema que se presenta al elaborar harina de variación, así como los planes encaminados a mejorar y controlar el proceso.

La empresa requiere entregar productos de alta calidad y evitar las devoluciones o reprocesos de sus productos para minimizar costos y a través del proyecto seis sigma demostrar que esta es una herramienta formidable para lograr tal fin.

No se pueden desestimar las demás herramientas para optimizar procesos, porque todas ofrecen grandes ventajas, que bien utilizadas, son de gran utilidad para la compañía. Para seguir mejorando sería magnífico implementar otras estrategias de calidad como el HACCP, 5S y la norma ISO, así como el mantenimiento productivo total.

A través de la implementación de seis sigma se descubre la relación entre los procesos y la incidencia de ellos con la ocurrencia del problema, generando un cambio en toda la organización y una cultura de mejora continua.

La elaboración de este trabajo fue de gran aprendizaje para la autora, ya que no conocía la metodología seis sigma y el desarrollo hipotético para mejorar el proceso de pluma, le permitió adquirir grandes conocimientos.

Es prioritario contar con un margen jurídico en el país con el objetivo de regular las empresas dedicadas al desarrollo de la biotecnología, para garantizar la seguridad y la salud humana.

La legislación debe promover mecanismos de control que permitan establecer los requisitos de transferencia, manipulación y utilización de los organismos vivos modificados.

La inversión que se necesita para instalar una fábrica de harina de pluma es económicamente aceptable y muy rentable. Poner en marcha este proyecto es viable desde el punto de vista económico, social y ambiental; por todas las razones expuestas anteriormente.

RECOMENDACIONES

Se recomienda para estudios posteriores ahondar en la implementación de la metodología six sigma para la optimización del proceso de obtención de harina de pluma hidrolizada.

También se sugiere la implementación de otras herramientas de optimización de procesos que conlleven a la mejora continua.

BIBLIOGRAFÍA

- AVICULTORES, F. N. DE. (2020). *Información estadística*. 5 de Julio. <https://fenavi.org/informacion-estadistica/#1538599468784-33441e59-1807>
- BETANCOURT, D. (2018). *Los 5 por qué: Análisis de causa-raíz basado en preguntas*. 18 de Abril. www.ingenioempresa.com/los-5-por-que
- CASTELLANOS, Ó. (2017). Fundamentos para una política nacional en biotecnología. *Revista Colombiana de Biotecnología*.
- CUEVAS AGUILAR, V. H. (2008). *Implementación de la metodología six sigma, en los procesos de producción y propuesta de un programa de mantenimiento autónomo, en la empresa Níasa*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de ingeniería.
- DEL CASTILLO PÉREZ, Euler Óscar y NORIEGA VARGAS, V. A. (2018). *Propuesta de un modelo de gestión, para incrementar la productividad, aplicando la metodología six sigma en una empresa pesquera*. Universidad César Vallejo. Facultad de ingeniería.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE CIENCIA, T. E. I. (2013). *Plan estratégico departamental de ciencia, tecnología e innovación*.
- FALLA CABRERA, L. H. (1994). *Desechos de matadero como alimento animal en Colombia*. <http://www.fao.org/livestock/AGAP/FRG/APH134/cap7.htm>
- GARCÍA LOJA, M. A. (2014). *Estudio de factibilidad de una fábrica productora de harina vial a partir de la pluma de pollo*. Universidad de Guayaquil. Facultad de ingeniería industrial.
- GÓMEZ, J. D. (2019). Subproductos cárnicos, base para alimentar animales. *Agencia de Noticias Universidad Nacional*. <https://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/article/subproductos-carnicos-base-para-alimentar-animales.html>
- INGREDIENTS, B. (2016). *Harinas premium: Alternativas viables para la formulación de piensos para peces*. 16 de Marzo. <https://blog.brfindredients.com/es/premium-meals-for-fish-feed/>
- LEGISCOMEX. (2016). *Alimentos para animales en Colombia*. Mayo 14. <https://www.legiscomex.com/BancoMedios/Documentos PDF/informe-sectorial-alimentos-para-animales-colombia-2016.pdf>
- NACIÓN, L. (2018). *Reglamentaron la ley de promoción de la biotecnología*. 25 de Enero. <http://supercampo.perfil.com/2018/01/reglamentaron-la-ley-de-promocion-de-la-biotecnologia/>

- PASTOR, Franchesca y ALZAMORA, A. (2018). *Diseño del proceso productivo de harina a base de plumas de pollo en la empresa Distribuidora Avícola El Galpón E.I.R.L.* Universidad de piura.
- PEÑARANDA GONZÁLEZ, L. V. (2018). *Aprovechamiento de residuos agroindustriales en Colombia* [Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD]. <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/2040/2251>
- PLANEACIÓN, D. N. DE. (2016). *Pérdida y desperdicio de alimentos en Colombia.*
- SALVADOR PACHAS, M. R. (2014). *Aplicación de la metodología DMAIC al proceso de elaboración de harina residual de pescado.* Pontificia Universidad Católica del Perú.
- TIEMPO, R. EL. (2003). Animales, a comer plumas. *El Tiempo*, 12 A.
- URTEAGA, A. de D. (1996). *Análisis de la transformación de la pluma cruda como fuente de proteína para *Penaeus vannamei*.* Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Biológicas.