

APLICACIÓN DE METODOLOGÍA DMAIC PARA LA REDUCCIÓN DE NITROGENO TOTAL VOLATIL EN PRODUCTO TERMINADO

Rosa María Curiel Morales

Maestra en Ingeniería en Logística y Calidad.

Responsable de la Academia de Estudio del trabajo y Docente del Programa Educativo de Ingeniería Industrial y de Sistemas

Correo electrónico: rcuriel@itson.edu.mx

Filiación institucional: Instituto Tecnológico de Sonora

Código ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1717-5628>

Claudia Alvarez Bernal

Maestra en Ingeniería en Logística y Calidad.

Responsable del Programa de Maestría en Ingeniería en Logística y Calidad.

Responsable de la Academia de Logística y

Docente del Programa Educativo de Ingeniería Industrial y de Sistemas

Correo electrónico: calvarez@itson.edu.mx

Filiación institucional: Instituto Tecnológico de Sonora

Código ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1215-3905>

Fernanda Arelia Peraza Solano

Estudiante de Maestría en Ingeniería en Logística y Calidad

Correo electrónico: fernanda.peraza116723@potros.itson.edu.mx

Filiación institucional: Instituto Tecnológico de Sonora

Código ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-3886-3855>

Artículo derivado de un proyecto de investigación "Aplicación de metodología DMAIC para la reducción de Nitrogeno Total Volatil en producto terminado" asociado al grupo de investigación del Instituto Tecnológico de Sonora.

Como citar:

Curiel-Morales, R., Alvarez-Bernal, C., & Perez-Solano, F. (2023). APLICACIÓN DE METODOLOGÍA DMAIC PARA LA REDUCCIÓN DE NITROGENO TOTAL VOLATIL EN PRODUCTO TERMINADO. *Revista Sinergia*, (14), 62-76. Recuperado a partir de http://sinergia.colmayor.edu.co/ojs/index.php/Revista_sinergia/article/view/140

DOI: 10.54997/rsinergia.n14a5

Enviado: 25 de octubre de 2023

Aceptado: 19 noviembre de 2023

Publicado: 28 de diciembre de 2023

Correo principal: rcuriel@itson.edu.mx

Editor: PhD Mario Heimer Flórez Guzmán

RESUMEN

Sardinas de Sonora es una empresa que produce harina de pescado, aceite de pescado y solubles de pescado para la alimentación animal. La calidad de su harina de pescado depende de factores como la frescura y la temperatura de secado. El nitrógeno volátil total (TVN) se utiliza como parámetro de calidad, y superar el límite de 120 mg/100g en el producto acabado es indeseable. El objetivo de este trabajo es reducir el TVN en el producto terminado utilizando enzimas para aumentar el valor y la calidad. Se empleó la metodología DMAIC para desarrollar sus procesos y mejorar la satisfacción del cliente, la competitividad y la estandarización. El análisis reveló que la baja calidad de las materias primas, el desgaste del pescado durante la descarga, la baja velocidad de la planta, la dosificación incorrecta de las enzimas y la limpieza del equipo eran las causas de los altos niveles de TVN. Con la ejecución de este trabajo, se redujo el TVN en la harina de pescado, mejorando la calidad y aumentando el valor del producto final en 35 dólares por tonelada. Además, este proceso permitió reducir el consumo de electricidad, agua y gas.

PALABRAS CLAVE: DMAIC, TVN, Harina de pescado, Producto terminado.

APPLICATION OF DMAIC METHODOLOGY FOR THE REDUCTION OF TOTAL VOLATILE NITROGEN IN FINISHED PRODUCTS

ABSTRACT

Sardinas de Sonora is a company that produces fishmeal, fish oil, and fish soluble for animal nutrition. The quality of their fishmeal depends on factors like freshness and drying temperature. Total Volatile Nitrogen (TVN) is used as a quality parameter and exceeding the limit of 120 mg/100g in the finished product is undesirable. The objective of their work was to reduce TVN in the finished product using enzymes to enhance value and quality. They employed the DMAIC methodology to develop their processes and improve customer satisfaction, competitiveness, and standardization. The analysis revealed low-quality raw materials, fish wear during unloading, low plant speed, incorrect enzyme dosage, and equipment cleanliness as reasons for high TVN levels. With the implementation of this work, TVN in fishmeal was reduced, improving quality and increasing the value of the final product by US\$ 35 per ton. Additionally, this process led to reductions in electricity, water, and gas consumption.

KEYWORDS: DMAIC, TVN, Fish meal, Finished product.

INTRODUCCIÓN

La Industria de harina y aceite de pescado empezó en el Norte de Europa a principios del siglo XIX, con procesamiento de Arenque, se producía principalmente aceite para elaborar jabones, gliceroles y para el curtimiento de pieles; los residuos se usaban como fertilizantes. Posteriormente, se procesó para obtener harina de pescado para alimentación animal. En la década de los 30's la harina de pescado fue considerada como un importante ingrediente en alimento para pollos, fue reconocida como un suplemento de proteína animal y como una fuente de vitaminas, minerales y factores desconocidos de crecimiento (Stansby & Karrick, 1963; Martin & Flick, 1990; citados en De la cruz Manero, 2022). En la actualidad se sigue usando por las mismas razones y se conocen con más precisión sus componentes y su valor nutricional en la alimentación animal. En México, la producción de harina de pescado se inició en 1938, cuando se instaló en Pesquerías del Pacífico, S.A. la primera planta reductora de pescado, siendo la materia prima, los desperdicios del proceso del enlatado del atún, sardina y macarela (García-Franco et al., 2001). Actualmente, se elabora principalmente de Anchoveta, Monterrey, Crinuda y Macarela. Las principales zonas productoras se encuentran en las costas de Baja California Sur y Norte, en el Estado de Sonora y Sinaloa.

En el Estado de Sonora se cuenta con un gran potencial en la actividad pesquera debido a lo extenso de su litoral que se estima es de 916 km, considerando la isla de tiburón, san Pedro y San Esteban, además de tener una gran variedad de especies marinas que se encuentran en el golfo de California. Existen en el estado de Sonora,

plantas harineras de pescado distribuidas en las ciudades de Puerto Peñasco, Caborca, Hermosillo, Guaymas, Navojoa y Yavaros. En Guaymas se encuentran importantes harineras, como Grupo PINSA (2023) que es una compañía mexicana que cuenta con embarcaciones sardineras propias, se dedica a la pesca, producción y comercialización de harina, aceite, soluble e hidrolizados de sardina y atún, así como sardina congelada. Sardinas de Sonora forma parte del Grupo PINSA el cual está dentro de las 250 empresas más importantes del país, considerada entre las empresas más importantes de América dentro de la industria atunera y la principal generadora de empleo en el estado de Sinaloa con más de 6,000 puestos directos. En el año 2013 comienza operaciones Sardinas de Sonora Planta Harina, ubicada en Guaymas, Sonora. Sardinas de Sonora también conocida como Sardison es una empresa dedicada a la producción de ingredientes dirigidos a la nutrición animal (harina de pescado), atiende a los mercados nacional e internacional gracias a la calidad de los procesos y materia prima de origen marino.

La calidad de la proteína y la composición nutricional de las harinas de pescado varía dependiendo de la frescura y del tipo de materia prima, así como de la temperatura de secado. La frescura del pescado es afectada por las condiciones y el tiempo de almacenamiento antes del procesamiento. A partir del momento de captura, el pez sufre cambios, por la acción de sus propias enzimas (autólisis) y por la acción de las bacterias presentes en la superficie del pescado, así como, en el tubo digestivo (Cruz-Suárez et al., 2000). El rápido enfriamiento del pescado después de su muerte, así como su almacenamiento a baja temperatura antes de ser procesado, son determinantes en el proceso de descomposición del pescado y en consecuencia en la calidad del producto final. Temperaturas por debajo de los 4°C permiten retardar el deterioro enzimático y bacteriano. De esta manera, el uso de hielo u otro sistema de enfriamiento resulta un excelente método de preservación que permite mantener la materia prima fresca por mayor tiempo, tanto en los barcos como en la descarga. Es importante minimizar los tiempos entre la captura, llegada a planta y posterior elaboración de la harina de pescado, para conservar la frescura (FAO, 2022). Luego, el proceso de descomposición puede ser detenido o retardado de varias maneras, entre las cuales se emplean generalmente, la disminución de la temperatura y la adición de sustancias químicas.

La determinación de TVN es una de las pruebas analíticas más ampliamente utilizadas para evaluar el grado de frescura del pescado y los productos derivados, este concepto incluye la determinación de compuestos nitrogenados de carácter volátil que se liberan como consecuencia del proceso de degradación. (Unidad de Innovación, 2023). La materia prima debe de llegar con una buena calidad para obtener producto terminado Premium, la calidad del pescado con base a su TVN se mide con los siguientes parámetros: Buena calidad: 30mg/100g. Calidad Corriente: 30-40mg/100g. Calidad Mediocre: 40-60 mg/100g. Tasa límite: 60 mg/100g. La evaluación de diferentes harinas de pescado con parámetros químicos como nitrógeno volátil total (TVN) en la materia prima, o el contenido de aminos biogénicos en harinas de pescado, se ha realizado de manera paralela a bioensayos nutricionales, por diversos autores en diferentes especies. En pollos (Huisman et al., 1992) así como en trucha arcoíris (Cowey & Cho, 1992) o en salmón (Jensen, 1986; Anderson et al., 1997), el consumo de alimento y el crecimiento pueden ser afectados por el nivel de inclusión de harinas de pescado

conteniendo altos niveles de aminos biogénicas, i.e. harinas de pescado elaboradas con materia prima deteriorada, esto quiere decir que afecta a toda la composición química. De acuerdo con Cruz-Suarez et al. (2000) los indicadores de frescura de las materias primas de TVN se calcula (mg N/100 g de materia prima), siendo los siguientes valores para referencia: Fresca (14), Frescura mediana (30) y Descompuesta (50).

Entre mejor viene la frescura del pescado (TVN) mejor es la calidad y el rendimiento de harina, pero cuando no existe control y la materia prima llega fuera de parámetros de calidad, afecta en proteína, lípidos, cenizas y en el costo de venta de la harina, el máximo TVN en la harina debe ser 120 MgN/100 g, debajo de esto es una harina Premium, arriba de este parámetro se descuenta 35 dólares por tonelada. Por esta razón el presente estudio tiene como objetivo la disminución del TVN en la harina de pescado, aplicando la metodología DMAIC para desarrollar sus procesos y mejorar la satisfacción del cliente, la competitividad y la estandarización, cuando la materia prima llegue por fuera de los límites de calidad, se realizarán pruebas en la adición del soluble con tres tipos de enzima, enzima 1, enzima 2 y enzima 3, evaluando a la proteína y cenizas del pescado, enfocado a la mejora de calidad y aumento de precios de venta de la harina, en la *Tabla 1* se muestran las características de la harina de Sardinas de Sonora, respecto a la calidad de la harina se caracteriza de Harina Prime, Estándar A o B.

Tabla 1. Características de la harina de pescado de sardina.

Característica	Prime	Estandar A	Estándar B	Atún
<i>Especie</i>	Opisthonema, Sardinops Sagax, Scomber japonicus, Engraulis mordax	Opisthonema, Sardinops Sagax, Scomber japonicus, Engraulis mordax	Cetengraulis mysticetus	Thunnus albacares/Skipjack tuna
<i>Proteína</i>	67-70%	65-67%	60-64%	58-60%
<i>Humedad</i>	10%	10%	10%	10%
<i>Grasa</i>	10%	12%	12%	10%
<i>AGL</i>	10%	10%	10%	10%
<i>TVN</i>	120 mg/100g	----	120 mg/100g	120 mg/100g
<i>Histamina</i>	100 ppm	500 ppm	500 ppm	500 ppm
<i>Sal y arena</i>	5%	5%	5%	5%
<i>Antioxidante</i>	150 ppm	150 ppm	150 ppm	150 ppm

Fuente: Sardinas de Sonora (2023)

En Sardinias de Sonora la mayoría de la materia prima que se recibe es de la especie Monterrey, Macarela y anchoveta con TVN en su mayoría con buena calidad, pero las especie como la anchoveta, tiende a degradarse más rápido que las demás, desde su captura y almacenamiento en el barco, como en la descarga de esta materia prima, por su pequeño tamaño, al pasar por las tuberías y equipos se va dañando, y por otra parte en el almacenamiento de materia prima ya descargada. Al capturar el pescado con una calidad de 30 MgN/100g TVN en la recepción puede aumentar el doble, mientras espera a ser procesado, y después conforme va aumentando el procesamiento del pescado en harina, el TVN aumenta. Este es el principal parámetro de calidad a controlar ya que sobrepasa el límite permisible en el producto terminado que es de 120 mg/100g para la harina Prime y Estándar B que actualmente oscilan en 140 a 160 mg/100g en producto terminado.

El objetivo de este trabajo es reducir el TVN en el producto terminado mediante la metodología DMAIC de Seis Sigma usando tres tipos de enzimas, enzima 1, enzima 2 (bio-amin) y la enzima 3, que es una enzima casera la cual consiste en una mezcla de un mínimo de sosa cáustica con polvo enzimático, agregándose por la parte líquida del proceso, esto con la finalidad de aumentar el valor del producto terminado y la calidad.

Este trabajo permitirá mostrar y estandarizar la dosis necesaria que permita obtener las características de una Harina Premium y mejorar en todas las áreas que afectan este parámetro. Se justifica esta investigación para determinar el verdadero valor de la enzima para determinar la reducción del TVN. Dentro de la justificación práctica, este estudio servirá para la toma de decisiones en el proceso. El presente estudio se realizará en la empresa Sardinias de Sonora, con la captura de pescado en el área del golfo de California. Tiene un alcance exploratorio, descriptivo, busca conocer las cantidades de enzima exactas para la reducción de TVN y definir variables.

MARCO DE REFERENCIA

Se denomina enzimas a un conjunto de proteínas encargadas de catalizar (disparar, acelerar, modificar, enlentecer e incluso detener) diversas reacciones químicas, siempre que sean termodinámicamente posibles. Esto quiere decir que son sustancias reguladoras en el cuerpo de los seres vivos, por lo general disminuyendo la energía inicial requerida para poner en marcha la reacción (Etecé, 2013). Nitrógeno Total Volátil. Una vez liberadas las enzimas naturales del músculo debido al descenso del pH, los aminoácidos acumulados de la proteólisis pasan a diferentes productos por medio de reacciones catalizadas por las enzimas producidas por los microorganismos, como la degradación del óxido de trimetilamina a trimetilamina TMA, por acción de la enzima trimetil oxido reductasa, posteriormente a dimetilamina, metilamina y amoniaco, responsables del fuerte olor y sabor amoniacal del pescado. (Amerling, 2001). Producción pesquera. Animales, plantas y microorganismos obtenidos a través de actividades de pesca, ya sea en aguas marinas o continentales. Incluye a todos los animales acuáticos (pescado, crustáceos, moluscos y animales acuáticos de otro tipo) (FAO, 2020)

Six Sigma es una herramienta cuya finalidad es medir y mejorar la calidad. Se define como una metodología basada en datos para conseguir la calidad más cercana a la perfección. Esto se consigue examinando los procesos productivos de manera exhaustiva. Six-Sigma (6σ) es una metodología de calidad de clase mundial (iniciada por Motorola en 1986) aplicada para ofrecer un mejor producto o servicio, más rápido y al costo más bajo. La Sigma (σ) es una letra tomada del alfabeto griego utilizado en estadística como una medida de variación. La metodología 6σ se basa en la curva de la distribución normal (para conocer el nivel de variación de cualquier actividad), que consiste en elaborar una serie de pasos para el control de calidad y optimización de procesos industriales. En los procesos industriales se presenta el costo de baja calidad. La metodología Six Sigma utiliza herramientas estadísticas para mejorar la calidad. Estas herramientas son para conocer los problemas en el área de producción y saber el porqué de los defectos (Perez & García, 2014). DMAIC (pronunciado də-MAY-ick) es un acrónimo (en inglés) para definir, medir, analizar, mejorar y controlar. Este proceso de mejora basado en datos está destinado a detectar y eliminar las ineficiencias que resultan en defectos. Aunque no es exclusivo de Six Sigma, es una de las metodologías utilizadas para implementar Six Sigma, que está diseñada para mejorar los procesos y proyectos existentes (Trout, 2021).

El método de combustión Dumas es un método absoluto para la determinación del contenido de nitrógeno total en una matriz orgánica general, la muestra se quema a alta temperatura en una atmósfera de oxígeno; a través de tubos de oxidación y posterior reducción, el nitrógeno se convierte cuantitativamente a N_2 ; otros productos de la combustión son volátiles ya sea atrapado o separados. Un detector de conductividad térmica mide gas nitrógeno, los resultados se dan como % o mg de nitrógeno, que puede ser convertido en proteína mediante el uso de factores de conversión (Müller, 2017).

Método Kjeldahl: La metodología Kendal número 2.062 de AOAC, actualmente, sigue siendo el método oficial más usado. Éste emplea una digestión ácida (con ácido sulfúrico y catalizadores) y requiere un tiempo significativo de hasta 10 horas. Por lo general, la digestión se realiza a 420°C . La reacción forma sulfato de amonio, que en exceso de hidróxido de sodio genera amoniaco, el cual se destila y se titula para determinar el contenido de nitrógeno en la muestra a estudiar. Desde el punto de vista operativo, es un método complejo que necesita tiempo, costos e involucra una serie de puntos críticos que pueden ser fuentes de error (Gregorio et al., 2016).

MATERIALES Y MÉTODOS

El sujeto bajo estudio en esta investigación es la harina de pescado procedente de la materia prima (sardina) obtenida en la zona del golfo de California, en el área de producción en Sardinas de Sonora. La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo, se utilizan datos numéricos, análisis estadísticos y también información relevante para evaluar resultados. Tiene un alcance exploratorio y descriptivo, busca conocer las cantidades de enzima exactas para la reducción de TVN y definir variables. El método de la investigación es explicativo, ya que es aquel tipo de estudio que busca

descubrir los orígenes, causas y razones del problema de investigación. Tiene un enfoque cuantitativo, el diseño metodológico es longitudinal y experimental.

A continuación, se presenta el listado de material para determinar TVN (Método Kjeldahl): Triturador de carne, Filtros de 150 mm de diámetro, Bureta graduada. Aparato de destilación al vapor. Solución de ácido perclórico (6g/100 ml). Solución de hidróxido sódico (20g/100 ml). Solución de ácido clorhídrico (0.01N). Solución de ácido bórico (3g/100 ml). Agente antiespumante de silicona. Solución de fenoltaleína (1g/100 ml de etanol 95%). Solución indicadora: disolver 2 g de rojo de metilo y 1 g de azul de metileno en 1000 ml de etanol 95%. Material para prueba de reducción: Bomba cuantificadora. Enzima 1. Enzima 2. Enzima 3, identificadas de esta forma por confidencialidad de los datos de la empresa y Tanque de preparación. La ecuación para el paso medición: $\text{mg N}/100\text{g muestra} = ((V_m - V_b) * 0.14 * 2 * 100) / M$. Siendo: V_m = volumen en ml de solución de clorhídrico 0.01 N por muestra; V_b = volumen en ml de solución de ácido clorhídrico 0.01 N para el blanco. M = peso de la muestra en gramos. (Fuentes et-al, 2013)

Seis Sigma es una herramienta cuya finalidad es medir y mejorar la calidad. Se define como una metodología basada en datos para conseguir la calidad más cercana a la perfección. Esto se consigue examinando los procesos productivos de manera exhaustiva. La metodología DMAIC es la metodología central y la esencia de la metodología Six Sigma, cuyas siglas en inglés se traducen como *Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar*. (Perez y García, 2014). Para la implantación de la metodología Seis Sigma se requieren principalmente dos cosas: tiempo y compromiso. También requiere de una inversión económica que en poco tiempo se convertirá en un ahorro en costes para la empresa y en una mejora para los procesos internos de la organización, los cuales se verán reflejados en la satisfacción del cliente, A continuación, se describen los pasos en el desarrollo de la metodología.

Pasos para la fase Definición. En esta etapa se define el proyecto y los interesados, el proyecto incluye el proceso que será objeto de evaluación por parte de la empresa, el equipo de trabajo que llevará a cabo la tarea y se detallan los objetivos de mejora, alineados a las características de la empresa, su visión y misión, se pueden identificar a través de árbol de necesidades y diagrama de flujo.

Pasos para la fase de Medición. En esta etapa se identifican y miden todas las variables que intervienen en el proceso u objeto bajo estudio, se puede utilizar un diagrama SIPOC para definir el alcance, se realiza un plan de recolección de datos, se recolectan los datos y se mide el sistema.

Pasos para la fase de Análisis. En esta etapa se interpretan los datos de la medición, confrontando los datos actuales con el historial del proceso con el fin de averiguar cuáles son las causas del problema, a través de un análisis de diagrama causa-efecto y un análisis de resultados en las pruebas de experimentación.

Pasos para la fase de Mejora: En esta etapa se toman las decisiones necesarias para mejorar el proceso, de acuerdo con el análisis realizado se identifican los factores y

causa raíz, así como los parámetros que se deberán implementar en el proceso mejorado.

Pasos para la fase de Control: En esta etapa se aplican las medidas para garantizar la eficacia y la continuidad del proceso, a través de la estandarización y el seguimiento o monitoreo, los cuales se pueden documentar a través de procedimientos e instrucciones de trabajo.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Caracterización general de la empresa. Sardinas de Sonora es una empresa dedicada a la producción de ingredientes para la formulación de alimentos balanceados (harina y aceite de pescado), atiende a los mercados nacional e internacional gracias a la calidad de sus procesos y materia prima de origen marino, así como los subproductos de sardina proveniente de plantas procesadoras de alimentos para consumo humano.

Para el desarrollo de Six Sigma primero se selecciona el proyecto, el cual debe ser bien definido en su alcance y con metas concretas que satisfagan los objetivos de la empresa. La planta Sardinas de Sonora tiene una línea que produce harina de pescado (Planta Harina), que ha presentado problemas de calidad, respecto al TVN. Su Misión: Pescar y elaborar productos marinos de alta calidad para México y el mundo, buscando un desarrollo sustentable y promoviendo la Responsabilidad Social y Ambiental. Visión: Posicionarnos como la primera empresa nacional productora de harina, aceite, soluble y conserva de pescado, compitiendo en mercados internacionales con dos Plantas. Garantizando la seguridad y calidad alimentaria en nuestros productos, promoviendo el desarrollo y crecimiento sustentable de las operaciones y la Responsabilidad Social y Ambiental.

Fase Definición: En esta etapa se ha conformado al equipo del proyecto, el cual debe ser multidisciplinario debido a que para la reducción del TVN puede estar relacionado directamente con la formulación, equipos, programación o procesos. Los departamentos y puestos involucrados en el proyecto son el departamento de producción (Jefe de producción, supervisor de producción, operador de evaporadores, operador de descarga y operador de recepción), Calidad (Inspector de calidad y analista de calidad), Mantenimiento (Jefe de mantenimiento, supervisor de mantenimiento y mecánico)

De acuerdo con el árbol de necesidades para el proyecto, herramienta utilizada para determinar los requerimientos internos que se deben de considerar para cumplir con una necesidad crítica para el cliente. El árbol de necesidades indica que, para poder cumplir con una necesidad crítica para el cliente, en este caso que la harina de pescado sea de buena calidad, los conductores son los análisis Bromatológicos, Microbiológicos y Organolépticos aceptables. Para poder cumplir estos conductores, se debe cumplir con los requerimientos internos, para el caso del análisis Bromatológicos, la harina debe contar con proteína mayor a 65, el nitrógeno total volátil menor a 120 MgN/100 gr, la

humedad en un parámetro de 6 a 10 y la ceniza menor a 16. Respecto a los análisis microbiológicos, debe ser negativo en Salmonella y en análisis Organolépticos debe de presentar un bonito color café (color de referencia).

A través de un diagrama de flujo del proceso línea convencional y Dried Sardine se identificaron los criterios críticos del proceso, como el pescado entero que es entregado por el proveedor flota, la descarga del pescado, como su recepción, la velocidad de cocedores, y el almacenamiento y agregado del licor, todas estas etapas aportan para el resultado e indicador TVN en la harina. En Sardinias de Sonora se tienen dos líneas de producción, la línea convencional y la línea Dried Sardine con la única diferencia que en esta línea se tritura el pescado, no se prensa.

Fase Medición: El alcance del proyecto se describe a través de la herramienta SIPOC, que permite identificar a detalle todos los elementos que influyen en el proceso de fabricación, así como los requisitos de las entradas y salidas que deben de cumplir de acuerdo con las exigencias del cliente interno y externo. Con ayuda del SIPOC se ven las entradas que posiblemente influyen en el proceso y que se irán descartando en la fase de Analizar con sus respectivas herramientas. Además de brindar una visión amplia de las fases del proceso.

Una vez definido el alcance del proyecto es importante mencionar que las entradas juegan un papel importante en el objetivo del proyecto ya que gran parte de los ingredientes tanto mayores como menores influyen directamente en la frescura del pescado y por ende en la generación de producto con TVN alto en la harina final. El segundo aspecto importante de estudio es el proceso ya que dentro del mismo existen muchas variables que influyen en la generación de harina con TVN alto, como la descarga, recepción, área de evaporadores, entre otras, los cuales están relacionados directamente con la operación del personal encargado.

Finalmente, en la salida se encuentra la variable de respuesta del estudio, esta variable está siendo afectada tanto por los ingredientes (entrada) y por el proceso (salidas) por lo cual el enfoque del proyecto se delimita a la reducción de variabilidad en estos aspectos. En esta fase, se aplicaron herramientas para conocer detalles sobre el proceso en estudio, además de verificar la validez del sistema de medición y de obtener los datos necesarios en una muestra para su posterior análisis.

En esta etapa se va a determinar la situación actual del indicador TVN, determinando cuales son las etapas que influyen, para que el indicador en mención se encuentre por debajo de lo esperado, para lo cual se va a desarrollar un plan de recolección de datos con la siguiente información: Qué (Monitoreo de TVN) Tipo de dato (Continuo). Cómo medir (Se ingresará información cada hora). Factores (Fecha, Turno, Operador, Tipo de materia prima, (Tipo de enzima, Dosificación). Muestreo (Se registra toda la información generada durante la jornada laboral). Dónde se registra (Bitácora de registro de monitoreo de TVN).

De acuerdo con los datos estadísticos de producción obtenidos para analizar la situación actual de la empresa resultando el proceso de la línea de líquidos como el

proceso que genera el mayor cuello de botella, a esto se le suma, la mala limpieza, la velocidad baja y la mala descarga. Se pudo observar de acuerdo con los indicadores productivos que el indicador TVN está arriba del objetivo con un valor de 146.70 MgN/100 g. En la temporada 2021–2022 la mayoría de los TVN anduvieron por arriba de 120 MgN/100 g. Para evaluar el sistema de medición se realizó la siguiente prueba: Se tomaron tres enzimas diferentes para dosificar por el lado líquido del proceso, será medido por dos operadores, uno de cada turno, durante todo el turno, que son de 12 horas, pero cada hora cuando haya proceso. El análisis del TVN en la harina es realizado por el Analista de Calidad, así como los análisis de proteína, ceniza, humedad, entre otros.

Los datos de TVN de la tabla se ingresaron al Minitab, para evaluar los resultados preliminares del sistema de medición del proceso (*Tabla 2*). La variación de estudio respecto al Gage R&R es de 7.62, lo que indica que los equipos de medición están correctamente calibrados. La variación de estudio (VE) respecto a la reproductibilidad indica que distintos operadores, analistas registran el mismo resultado o muy similar, cuando miden la misma muestra, esto refleja un método de medición claro para todos. La variación de estudio respecto al R&R fue un total de 9.2, como es menor a 10% se puede decir que es un método confiable.

Tabla 2. Evaluación del sistema

Fuente	Desv.Est (DE)	Var.estudio (6*DE)	%Var.Estudio (VE)
Gage R&R total	1.2	7.62	9.2
Repetitividad	1.05	6.35	7.64
Reproductibilidad	0.7	4.2	5.04
Operador	0.1	0	0
Analista*Muestra	0.7	4.2	5.05
Parte a parte	13.82	82.94	99.59
Variación total	13.88	83.3	100

Fuente: Elaboración propia

Cada proceso se analizó durante dos meses de prueba, obteniendo los siguientes resultados con las diferentes enzimas.

Fase Análisis: Con los datos obtenidos en el muestreo, se analizaron los resultados con apoyo del diagrama Causa-Efecto, para identificar las posibles causas que generan el TVN alto en la harina de pescado. A continuación, en la figura se muestra el diagrama Causa-Efecto del problema de TVN alto en la Harina de Pescado. En el problema (Efecto) se ha identificado como “TVN alto en harina de pescado”, las causas por categoría son: Materia prima (calidad-proveedor). Recepción (Tiempo-distribución). Proceso (Capacitación, velocidad y equipamiento). Descarga (Tiempo-método). Evaporador (Dosificación, °Brix, Nivel TK AC). Diseño (Funcionalidad-ergonomía). La materia prima entregada por el proveedor (Flota) debe contar con parámetros de calidad, TVN debajo de 25 °Brix, temperatura del agua de pescado mínima de 5°C, de acuerdo

con los resultados de los análisis de llegada del pescado indica que la mayoría viene en buenas condiciones, excepto cuando tienen problemas con la refrigeración, por problemas en la máquina.

La descarga del pescado debe ser con agua suficiente para no dañar el pescado al ser succionado por la manguera de descarga y con agua potable para mantener el pescado en buenas condiciones. El operador de descarga llena el formato de seguimiento, para asegurar que se realizará correctamente la descarga, en el cual se registra, la hora, barco, presión de vacío, velocidad de descarga, nivel de TK de descarga en metros cúbicos y cantidad de agua potable. En la planta evaporadora se realiza la dosificación del líquido a la pasta sólida, donde está la parte más crítica del proceso, aquí es donde se realizan las tres pruebas con diferentes enzimas.

Prueba enzima 1. Al usar la enzima 1, que se estuvo dosificando 50ml/hr a la entrada del primer efecto del evaporador, se obtuvieron resultados con TVN por debajo del parámetro requerido por calidad. Al tener el TVN esperado, se revisó como afecto la proteína final del pescado, con análisis positivos, ya que esta se espera arriba de 67 por el tipo de pescado. De las 38 muestras el TVN estuvo debajo de los 120 MgN/100 gr, y de esas muestras la proteína estuvo arriba de 65, teniendo como valor más bajo 67.3.

Prueba enzima 2. En la prueba de la enzima 2, se analizaron 9 lotes, en los cuales se había dosificado 50 ml/hr hasta 150 ml/hr de la enzima 2 dependiendo del TVN de entrada, obteniendo en su mayoría resultado favorables, a excepción del lote 292, que contaba con la materia prima de 35.1 de TVN. En los resultados obtenidos de la proteína, se obtuvo 65.6 como el valor menor y 67.31 como valor mayor. Entre más dosificación más bajaba la proteína, como el pescado traía 35 de TVN la dosificación de enzima se le aumentó, disminuyendo el TVN final, pero afectando la proteína.

Prueba enzima 3: Esta prueba se realizó con mezcla de las dos enzimas anteriores, enzima 1 y enzima 2, en esta prueba los resultados no fueron favorables, ya que se obtienen TVN arriba del máximo permisible. La Enzima 3, no mostro daño a la proteína, se mantuvo, pero también mantuvo alto el TVN, teniendo como valor más bajo 120.29 y el más alto 157.21 de TVN.

Fase Mejorar: El objetivo de esta fase es encontrar la combinación adecuada de los niveles de los distintos factores significativos para las salidas del proceso, para los valores de la materia prima es que la temperatura del agua llegue a 0° centígrados, el TVN menor a 25 MgN/100gr, y el tipo de especie, con la descarga de pescado, se descarga el pescado con agua potable y fresca, con abundante agua, con una velocidad de planta de 70 Ton/hr. Por último, una dosificación en el área de líquidos de 50 ml/hr. Materia Prima. Se consideró el factor de TVN menor a 25 MgN/100 gr, dado que bajo este parámetro se obtuvieron TVN en la harina final menor a 120 MgN/100 gr.

El TVN de la materia prima, se conserva debajo de 25 con temperatura del agua a 0° centígrados. Los parámetros de descarga de pescado con los que se debe de trabajar, para obtener resultados favorables: Presión de Vacío: 30mgm. Velocidad de descarga: 120 Ton/hr. Nivel de TK descarga: 5m³ - 7m³. Cantidad de Agua potable: 10

m3. Velocidad: Anteriormente se tenía una velocidad de planta de 36.8 Ton/hr y se logró aumentar a 50 ton/hr. La meta es 70 Ton/hr, esto quiere decir que 200 toneladas con una velocidad de 36.8, el pescado duraba 5.5 horas en las pilas, y con la velocidad de 50 disminuye a 4 horas en pilas, lo que reduce el tiempo de residencia en pilas, afectando positivamente al TVN final porque es menos expuesto al calor. Dosificación: Con base en los resultados se seleccionó la enzima 1 y se optó por la dosificación de 50 ml/hr que es la cantidad con menos afectación a la proteína, manteniendo los datos de TVN por debajo del permisible, como se muestra en la *Tabla 3*.

Tabla 3. Resultados en Harina de pescado

Dosificación	TVN	Proteína inicial	Proteína final
10 ml/hr	115.7	67.45	67.3
50 ml/hr	115.7	67.45	67.26
100 ml/hr	115.7	67.45	66.01
150 ml/hr	115.7	67.45	65.99
200 ml/hr	115.7	67.45	65.54

Fuente: Elaboración propia

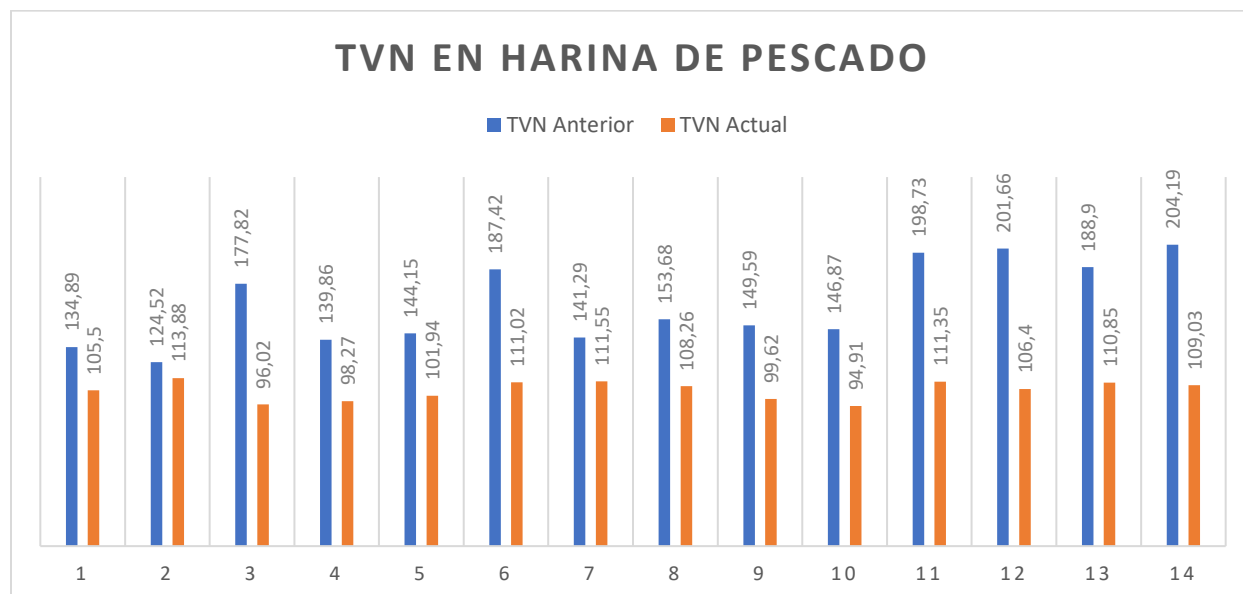
Al identificar los factores críticos del proceso y conociendo los valores de los niveles para obtener resultados deseados, se procede a realizar mejoras sobre esos factores. De acuerdo con Cabello et-al. (2013) es recomendable que estos desperdicios o materia prima para la obtención de harina se conserven a bajas temperaturas para evitar la degradación de los compuestos nitrogenados y el consecuente incremento de este parámetro.

Fase controlar. Una de las etapas más importantes o críticas, es la etapa de control, ya que es en esta etapa es donde se le da seguimiento a los resultados que se generan diariamente con los procesos. En la etapa de Estandarizar lo que se busca es que se continúen las actividades ya establecidas en las etapas anteriores, para ello se procede a la generación de procedimientos de trabajo o instructivos de fácil comprensión sobre las actividades que realizan los operadores de planta. En cada uno de los equipos de trabajo al terminar la operación se hará una limpieza profunda a través de un procedimiento estándar de limpieza y sanidad, esto para cada equipo, se dará el seguimiento a los programas de calibración de equipos e instrumentos que se tienen en el área de calidad y en el área de pruebas.

Con todos los datos obtenidos se puede implementar trabajo estándar, plasmándose en un instructivo de trabajo con todas las condiciones y acciones que se deben de tomar antes, durante y después del proceso para lograr reducir el TVN en la Harina de Pescado, apoyándose con los datos obtenidos en el diseño de experimentos. De acuerdo con los datos de desviación estándar, el error aceptado para el muestreo y un nivel de confianza del 95%. Para comparar los resultados de los TVN antes y después

de la implementación de esta metodología, también se recolectó la misma cantidad de muestras que se recolectó al inicio del proyecto. De las tres enzimas, la mejor con base en los resultados fue la enzima 1, esta enzima se comparó con el TVN antes de la implementación y después de la implementación, como se muestra en la *Figura 1*.

Figura 1. Comparación del TVN actual y con la enzima 1



Fuente: Elaboración propia

Tal como se observa en la figura adjunta, durante el desarrollo del proyecto, se ha mejorado el indicador TVN por debajo de los 120 mgN/100 g. en producto terminado harina de pescado, obteniendo como valor mínimo un TVN de 94.9 y un valor máximo de 113.88, desviación estándar de 6.33 y error típico de 1.39.

CONCLUSIONES

Con la implementación de la metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar) se logró obtener una solución y aplicación de herramientas óptimas para el desarrollo de cada proceso. A través de la metodología Six Sigma se obtiene un mayor conocimiento de los procesos en la organización, de lo cual se traduce en un incremento en la satisfacción del cliente al incrementar la competitividad, se estandarizan técnicas y procesos de la organización que permiten aplicar la mejora continua. Se detectó el principal problema en la línea de producción que era el TVN elevado en la Harina de Pescado. Se logró identificar que los principales motivos que generaban este problema eran debido a materia prima de baja calidad, desgaste de pescado en descarga, baja velocidad de planta, dosificación de enzima incorrecta y falta de limpieza de los equipos. Con la implementación de este trabajo se redujo el TVN en

la Harina de Pescado, se mejoró la calidad y se incrementó el valor al producto final con una recuperación de 35 dólares por tonelada, además de bajar el consumo de energía eléctrica, consumo de agua y consumo de gas.

REFERENCIAS

Cruz-Suárez, L.E., D. Ricque-Marie, M. Nieto-López & M. Tapía-Salazar. (2000). Revisión sobre calidad de harinas y aceites de pescado para la nutrición del camarón. pp 298-326 En: Civera-Cerecedo, R., Pérez-Estrada, C.J., RicqueMarie, D. y Cruz-Suárez, L.E. (Eds.) Avances en Nutrición Acuícola IV. Memorias del IV Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. Noviembre 15-18, 1998. La Paz, B.C.S., México. Recuperado de: <file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/admin,+20.pdf>

García-Franco, W.; A. Cota-Villavicencio & F. J. Sánchez-Ruiz. (2001). Diagnóstico de la pesquería de peces pelágicos menores en la costa occidental de Baja California, México. INP. SAGARPA. México. Ciencia Pesquera No. 15. Recuperado de : <https://www.inapesca.gob.mx/portal/documentos/publicaciones/cienciapesquera/CP15/CP15-04%20LHC.pdf>

Grupo PINSA (2023). Plantas productivas. Recuperado de: <https://www.grupopinsa.mx/>

FAO (2022). Utilización y elaboración de la producción pesquera y acuícola. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022. Recuperado de: <https://www.fao.org/3/cc0461es/online/sofia/2022/utilization-processing-fisheries-production.html>

Sardinas de Sonora (2023). Características de la harina de pescado de sardina.

De la Cruz Manero (2022). Universidad Nacional San Luis Gonzaga. Supervisión de despacho de harina de pescado. Pisco, Perú. Recuperado de: <https://repositorio.unica.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13028/4469/Supervisi%C3%B3n%20de%20despacho%20de%20harina%20de%20pescado.pdf?sequence=1>

Determinación de la concentración de NBVT en pescados y productos de la pesca. Publicado en: «DOUE» núm. 338, de 22 de diciembre de 2005, páginas 27 a 59 (33 págs.) Departamento: Unión Europea. Referencia: DOUE-L-2005-82540 Recuperado de: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2005-82540>

Cabello, A; García, A; Figuera B; Higuera, Y; & Vallenilla, O. (2013). Calidad fisicoquímica de la harina de pescado venezolana. Saber, Universidad de Oriente, Venezuela. Vol. 25 N° 4: 414-422. (2013) ISSN: 1315-0162 / Depósito Legal pp 198702SU187. Recuperado de: <https://ve.scielo.org/pdf/saber/v25n4/art09.pdf>

Gregorio, J; Lanza, P; Churión, C; & Gómez, N. (2016). Comparación entre el método kjeldahl tradicional y el método dumas automatizado (n cube) para la determinación de proteínas en distintas clases de alimentos saber. Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente, vol. 28, núm. 2, 2016 Universidad de Oriente. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=427749623006>

Pérez-López, E; & García-Cerdas, M. (2014). Implementación de la metodología DMAIC-Seis Sigma en el envasado de licores en Fanal. Tecnología en Marcha. Vol. 27, N° 3, Julio-Setiembre 2014. Pág 88-106. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4896365.pdf>

Etecé Equipo editorial. De: Argentina. Autor: Para: Concepto.de "Enzimas" Disponible en: <https://concepto.de/enzimas/>. Última edición: 5 de agosto de 2021. Consultado: 07 de noviembre de 2023. Recuperado de: <https://concepto.de/enzimas/#ixzz8IR0JTMYP>

Fuentes López, A; García Martínez, EM; & Fernández Segovia, I. (2013). Determinación del contenido en Nitrógeno Básico Volátil Total (NBVT) en pescado fresco. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10251/29836>

Müller, J. (2017). ¿Dumas o Kjeldahl para el análisis de referencia? Comparación y consideraciones para el análisis del nitrógeno/las proteínas de los alimentos y el pienso. Un Libro Blanco elaborado por FOSS Edición: junio de 2017.

Trout J. (2021). DMAIC: una guía completa. Noria Corporation. Recuperado de: <https://cmc-latam.com/2021/07/21/dmaic-una-guia-completa/>