

UNIVERSIDAD DE SONORA DIVISIÓN DE INGENIERÍA



POSGRADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL MAESTRÍA EN INGENIERÍA EN SISTEMAS Y TECNOLOGÍA

APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA SEIS SIGMA PARA
MEJORAR EL PROCESO DE ACONDICIONAMIENTO DEL
GRANO DE TRIGO.

T E S I S

PRESENTADA POR

GUADALUPE LUNA MANCINAS

Desarrollada para cumplir con uno de los
requerimientos parciales para obtener
el grado de Maestra en Ingeniería

DIRECTOR DE TESIS

M.C. GUILLERMO CUAMEA CRUZ

CODIRECTOR

M.A. RENÉ DANIEL FORNÉS RIVERA

HERMOSILLO, SONORA, MÉXICO.

OCTUBRE 2014

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



“El saber de mis hijos
hará mi grandeza”



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess



Hermosillo, Sonora a 19 de septiembre de 2014

GUADALUPE LUNA MANCINAS

Con fundamento en el artículo 66, fracción III, del Reglamento de Estudios de Posgrado vigente, otorgamos a usted nuestra aprobación de la fase escrita del examen profesional, como requisito parcial para la obtención del Grado de Maestro en Ingeniería.

Por tal motivo este jurado extiende su autorización para que se proceda a la impresión final del documento de tesis: **APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA SEIS SIGMA PARA MEJORAR EL PROCESO DE ACONDICIONAMIENTO DEL GRANO DE TRIGO** y posteriormente efectuar la fase oral del examen de grado.

ATENTAMENTE

M.C. Guillermo Cuamea Cruz
Director de tesis y Presidente del jurado

M.C. Carlos Anaya Eredias
Secretario del Jurado

Dr. Luis Felipe Romero Dessens
Vocal del Jurado

Dr. Victor Hugo Benítez Baltazar
Vocal del Jurado

c.c.p. Archivo



Ciudad Obregón, Sonora, a 19 de Septiembre de 2014

GUADALUPE LUNA MANCINAS

Con fundamento en el artículo 66, fracción III, del Reglamento de Estudios de Posgrado de la Universidad de Sonora, otorgo a usted mi aprobación de la fase escrita del examen profesional, como requisito parcial para la obtención del Grado de Maestra en Ingeniería.

Por tal motivo, como Codirector y Vocal Externo, extiendo mi autorización para que se proceda a la impresión final del documento de tesis: **APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA SEIS SIGMA PARA MEJORAR EL PROCESO DE ACONDICIONAMIENTO DEL GRANO DE TRIGO** y posteriormente efectuar la fase oral del examen de grado.

ATENTAMENTE

M.A. RENÉ DANIEL FORNÉS RIVERA
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE SONORA
Codirector y Vocal Externo



RESUMEN

La presente investigación hace referencia a una búsqueda experimental sobre el monitoreo y comportamiento del trigo durante la etapa de acondicionamiento, con la finalidad de estudiar las etapas y los cambios que sufre el grano al transcurrir los procesos de lavado y de reposo, los cuales son críticos para predecir el comportamiento que tendrá el trigo al ser transformado en harina. Por ello, el objetivo de este trabajo fue la implementación de la metodología Seis Sigma que permitiera controlar y minimizar la variación en el proceso de acondicionamiento del grano de trigo a fin de cumplir con los parámetros requeridos para el proceso de molienda.

La metodología que se llevó a cabo fue el ciclo de mejoramiento DMAIC (por sus siglas en inglés, Diseño, Medición, Análisis, Mejoramiento y Control), conjugando a su vez la metodología HACCP (por sus siglas en inglés, análisis de peligros y puntos críticos de control), donde se establecieron las características críticas de calidad, uso del diseño experimental, así como el análisis de los datos, mejoramiento del sistema de acondicionamiento y medidas de control para mantener en constante monitoreo el sistema; actividades que en conjunto permitieron concluir y realizar el estudio del sistema tomando en cuenta los puntos críticos que afectan la inocuidad del trigo así como de la harina.

Al aplicar la metodología se lograron encontrar dos parámetros que afectan directamente al porcentaje de humedad del trigo, mediante pruebas piloto realizadas al proceso de acondicionamiento, se logró simular en pequeña escala el sistema, logrando manipular aquellos factores considerados como afectantes al proceso, como el tiempo de agitación, la temperatura entrante del agua al acondicionar el trigo y el tiempo de reposo que se le dio al grano una vez acondicionado. Analizando estos factores, se obtuvo como resultado que al acondicionar el trigo a una temperatura entre 26°C y 30°C, el grano alcanza más rápido su curva de absorción, por tal motivo el reposo del grano disminuía en tiempo, logrando a su vez, manejar dos reposos y después de estos mandar el lote de trigo a molienda.

Con base a los resultados obtenidos, se logró responder al objetivo general del proyecto ya que se implementó la metodología Seis Sigma, de manera que ayudó a encontrar aquellos parámetros que causaban efectos sobre el proceso de acondicionamiento de trigo, mismos que impedían que el proceso de molienda fuera óptimo. Se encontraron tres parámetros que se podían manipular, el tiempo de agitación, temperatura del agua y el tiempo de reposo sin embargo solo la temperatura del agua con el tiempo de agitación presentan un efecto crítico en el proceso de acondicionar el grano.

ABSTRACT

This research refers to an experimental search about monitoring and behavior of wheat during the conditioning step, in order to study the stages and the changes it undergoes the grain to pass the washing process and rest process, which are critical to predict the behavior of the grain to convert it in wheat flour. Therefore, the goal of this work was the implementation of Six Sigma methodology to allow control and minimize the variation in the conditioning process of wheat grain in order to meet the parameters for the milling process.

The methodology conducted was the DMAIC improvement cycle (for its acronym in English, Design, Measurement, Analysis, Improvement and Control), combining at the same time HACCP methodology (for its acronym in English, hazard analysis and critical points control), where the critical features of quality were exposed; use of experimental design and data analysis, improved conditioning system and control measures to keep the system constantly monitoring were established; activities that together allowed to conclude and conduct the study of the system, taking into account the critical points affecting the safety of wheat and flour.

Applying the methodology was able to find two parameters that directly affect the moisture content of wheat, through pilot testing to the conditioning process, it was possible to simulate the system small-scale, achieving manipulate those factors considered effect of the process, as time stirring, the incoming water temperature by conditioning and exposure time was given to grain once conditioning. Analyzing these factors, it resulted that by conditioning the wheat to a temperature being 26°C and 30°C, the grain rapidly reaches its absorption curve for that reason decreased grain resting time, achieving handle two resting time to then send batches of wheat to milling.

Based on the results obtained, it was possible to respond to the overall objective of the project as Six Sigma was implemented, so that helped find the parameters that caused effects on the conditioning process wheat. Three parameters that could be manipulated were found, however only two of them represented a critical effect on the process of conditioning the grain.

AGRADECIMIENTOS

Dios que hizo todo esto posible, dándome fuerza y valor para seguir adelante.

A mis padres por su gran apoyo y cariño, por formarme como un profesionista e inculcarme valores, por ofrecerme siempre lo mejor en la vida y porque ante todo siempre estuvieron siempre conmigo.

A mis maestros Guillermo Cuamea Cruz y René Daniel Fornés Rivera por su gran apoyo académico, compartiendo sus conocimientos y experiencias sobre la dirección de este trabajo y sobre todo por su apoyo moral alentándome a seguir adelante con la realización del proyecto.

A la Universidad de Sonora y al Posgrado en Ingeniería Industrial por su gran apoyo y estímulos a lo largo de la maestría, así como los maestros que me ayudaron a crecer académica y profesionalmente.

A Molino la Fama, por abrirme las puertas y permitir que trabajara dentro de las instalaciones, pero sobre todo a Abraham, Gaby, José Juan, Ignacio, Octavio y al equipo de producción del área de acondicionamiento por su disposición, ayudándome y facilitando el desarrollo del proyecto.

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y al Programa Integral de Fortalecimiento Institucional (PIFI) por su apoyo económico para la realización de este proyecto.

DEDICATORIAS

A Dios por brindarme los medios y fuerza para hacer este trabajo.

A mis padres Ma. Teresa Mancinas y Martín Luna, mi hermana Jazmín Karina Luna por su constante apoyo y amor.

A mi mejor amigo Samuel Miranda, por su paciencia y apoyo, sobre todo por alentarme a salir adelante.

A mis familiares y amigos, que directa o indirectamente me dieron el apoyo que necesité para poder realizar este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

Página

RESUMEN	i
ABSTRACT.....	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
DEDICATORIAS	v
ÍNDICE GENERAL	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE TABLAS	xii
1.INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Presentación.....	1
1.2. Planteamiento del problema.....	3
1.3. Objetivo general	4
1.4. Objetivos específicos.....	4
1.5. Hipótesis	4
1.6. Alcances y delimitaciones	4
1.7. Justificación	5
2.MARCO DE REFERENCIA.....	6
2.1. El trigo	6
2.1.1. Generalidades del trigo.....	6

2.1.2. Tipos de trigo	8
2.1.3. Producción de trigo en México	8
2.1.4. Norma Oficial Mexicana NOM-247-SSA1-2008	11
2.1.5. Obtención de la harina.....	12
2.1.6. La harina y sus parámetros de calidad	14
2.1.7. Industria molinera y molino experimental.....	16
2.2. Calidad	17
2.2.1. La estandarización.....	18
2.2.2. Control de la calidad	18
2.2.3. Aseguramiento de la calidad	20
2.2.4. Seis Sigma	20
2.2.5 Sistema de Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control	25
2.3. Análisis de los datos	27
2.3.1. Diagrama causa – efecto.....	27
2.3.2. Estratificación.....	28
2.3.3. Histograma.....	29
2.3.4. Diagrama de dispersión	29
2.3.5. Gráfico de control.....	30
2.4. Herramientas tecnológicas	31
2.4.1. Minitab.....	31
2.4.2. Stargraphic.....	31
2.4.3. SAS	32

2.5. Estudios previos.....	32
2.5.1. Análisis del proceso de freído en una empresa elaboradora de frituras de harina de la región.	32
2.5.2. Análisis y estudio del contenido de humedad final de la madera.	33
3.METODOLOGÍA	35
3.1 Fase 1: Definir.....	36
3.2 Fase 2: Medir	37
3.3 Fase 3: Analizar	37
3.4 Fase 4: Mejora	38
3.5 Fase 5: Control	38
4.IMPLEMENTACIÓN.....	39
4.1. Fase 1: Definir.....	39
4.1.1. Panorama de la investigación	39
4.1.2. Mapa del proceso	40
4.1.3. SIPOC	44
4.2. Fase 2: Medir	45
4.2.1. Identificación de factores	45
4.2.2. Tabla de medición	46
4.2.3. Validación de los equipos	48
4.3. Fase 3: Análisis.....	49
4.3.1. Planeación y diseño del experimento.....	50

4.3.2. Ejecución del trabajo experimental.....	50
4.3.3. Análisis de los resultados	52
4.3.4. Planeación y diseño del segundo DOE	57
4.3.5. Ejecución de un segundo DOE	58
4.4. Fase 4: Mejora	63
4.4.1. Establecer parámetros.....	63
4.4.2. Rediseño al proceso de acondicionamiento.....	64
4.5. Fase 5: Control	69
4.5.1. Formato mantenimiento preventivo	70
4.5.2. Procedimiento de verificación al sistema acondicionamiento....	72
5.CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	75
5.1. Conclusiones	75
5.2. Recomendaciones	76
5.3. Trabajos futuros.....	77
6.REFERENCIAS.....	78
7.ANEXOS	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Estructura del grano de trigo	7
Figura 2.2. Producción, exportación e importación de trigo en México por miles de toneladas	9
Figura 2.3. Producción nacional de trigo 2009/2010*	10
Figura 2.4. Proceso de molienda de trigo.....	13
Figura 2.5. Molino experimental de laboratorio para cereales	16
Figura 2.6. Proceso interactivo DMAIC	21
Figura 2.7. Mapeo general del proceso	23
Figura 2.8. Gráfica de contorno	25
Figura 2.9. Diagrama causa - efecto	28
Figura 2.10. Estratificación	28
Figura 2.11. Histograma	29
Figura 2.12. Diagrama de dispersión.....	30xii
Figura 2.13. Gráfico de control	xii
Figura 3.1. Modelo de mejoramiento DMAIC	36
Figura 3.2. Acciones a realizar en la fase 1.....	37
Figura 3.3. Acciones a realizar en la fase 2.....	37
Figura 3.4. Acciones a realizar en la fase 3.....	37
Figura 3.5. Acciones a realizar en la fase 4.....	38
Figura 4.1. Diagrama in situ HACCP del proceso productivo de harina.....	41
Figura 4.2. SIPOC aplicado al proceso de acondicionamiento de trigo	44
Figura 4.3. Diagrama causa-efecto de las posibles causas que afectan al porcentaje de humedad en el trigo	45

Figura 4.4. Simulación de almacén en frasco de polietileno transparente ...	51
Figura 4.5. Combinación de los niveles.....	52
Figura 4.6. Gráfica curva de absorción de agua mediante las mezclas.....	54
Figura 4.7. Gráfica curva de absorción de agua mediante la temperatura del agua	54
Figura 4.8. Gráfica de curva de absorción con base al tiempo de acondicionamiento.....	55
Figura 4.9. Prueba de igualdad de varianzas para 24 horas de acondicionamiento.....	55
Figura 4.10. Análisis de normalidad para 24 horas de acondicionamiento ..	56
Figura 4.11. Prueba de igualdad de varianzas para humedad final	58
Figura 4.12. Análisis de normalidad para humedad final	59
Figura 4.13. Gráfica de contorno para un tiempo de reposo de seis horas .	62
Figura 4.14. Gráfica de contorno para un tiempo de reposo de doce horas	62
Figura 4.15. Sistema de acondicionamiento con base a dos reposos	65
Figura 4.16. Flujómetro ultrasónico híbrido	66
Figura 4.17. Mesa con control de vibración.....	66
Figura 4.18. Primer sistema de acondicionamiento	67
Figura 4.19. Segundo sistema de acondicionamiento.....	68
Figura 4.20. Formato de mantenimiento preventivo.....	71
Figura 4.21. Formato reporte diario de control de acondicionamiento	73
Figura 4.22. Gráfica de control para datos inividuales	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Clasificación de los trigos	8
Tabla 2.2. Niveles sigma	21
Tabla 2.3. Elementos del SIPOC.....	23
Tabla 2.4. Los siete principios del HACCP.....	26
Tabla 2.5. Los 12 pasos para la implementación del HACCP.....	26
Tabla 4.1. Requerimientos para el acondicionamiento de trigo	39
Tabla 4.2. Operaciones realizadas en casa subproceso de la elaboración de harina.....	42
Tabla 4.3. Mapeo del proceso	46
Tabla 4.4. Ejemplo de la recopilación de datos del primer lavado	47
Tabla 4.5. Equipo de medición	49
Tabla 4.6. Planeación del DOE	50
Tabla 4.7. Resultados del primer diseño experimental	53
Tabla 4.8. Análisis de varianza de los datos de 24 horas de reposo	56
Tabla 4.9. Planeación del segundo DOE.....	58
Tabla 4.10. Análisis de la varianza de los datos de humedad final.....	59
Tabla 4.11. Análisis de la varianza de los datos de humedad en harina	60
Tabla 4.12. Análisis de varianza de humedad en el porcentaje de cenizas.....	61
Tabla 4.13. Parámetros al acondicionar.....	63

1. INTRODUCCIÓN

El término de calidad se define como la facultad de un conjunto de características inherentes de un producto, sistema o proceso necesarias para cumplir los requisitos de los clientes y de otras partes interesadas (Allendez, 2007). Hablar del concepto calidad, está orientado a pensar en un certificado publicado, sin embargo, la calidad representa el componente más importante y complejo de la estrategia empresarial, la cual debe estar garantizada en todas las etapas del proceso, iniciando desde el suministro de material hasta el producto terminado y entrega al cliente, implicando a su vez una multitud de factores que interactúan tales como la organización, el personal, la mejora continua, tecnología y la producción (Toliušienė et al., 2013).

En la estructura del presente capítulo se abordarán algunos puntos en relación al contexto de la empresa bajo estudio y antecedentes de la problemática, objetivos de la investigación, alcances y delimitaciones de la misma, así como la justificación que enfatiza el impacto económico, social y en tiempo al desarrollar el proyecto.

1.1. Presentación

La presente investigación se realiza en una empresa de giro alimenticio ubicada en Sonora, dedicada a la producción y venta de harina de trigo. Actualmente cuenta con una amplia variedad de productos, entre los cuales se encuentra la harina blanca e integral, harina preparada para hotcakes y variedades de pan, salvado, semitilla y crema de trigo. La empresa en cuestión, a través del sistema de gestión de la calidad, asegura la disponibilidad de los recursos humanos, financieros, materiales y tecnológicos, asumiendo el compromiso de fabricar bajo condiciones de higiene y seguridad, así como monitorear y supervisar las actividades creadas para asegurar que las harinas de trigo cumplan con los estándares de calidad requeridos.

Uno de los objetivos principales para la empresa es sin duda la calidad del producto que se ofrece a clientes finales, sin embargo durante el proceso de

elaboración de la harina, el departamento de aseguramiento de la calidad ha observado desde hace tiempo, una excesiva variación en el proceso de humidificación del trigo, incluso se llegó a pensar que era un aspecto de variación común del proceso y que resultaba difícil poder disminuir dicha variación.

El trigo debe contener ciertos parámetros de humedad permitidos, para que el proceso de molienda tenga resultados óptimos, no obstante, la empresa expone una falta de control y estandarización en el proceso de humedecer el grano, tanto para la primera, la segunda y la tercera humidificación así como sus respectivos reposos, ocasionando inestabilidad en el porcentaje de cenizas, color de la harina, disminución de extracción, menor rendimiento, un considerable fallo de ahorro energético y lo más importante, impacto negativo en la calidad del producto, causando con ello la retención de lotes preparados. Datos anteriores indican que en un periodo de tres meses se retuvieron hasta un total de 26 lotes de diferente peso. Respecto al año 2011, se obtuvo un total 1.1% de lotes retenidos de la producción total, para el periodo junio – octubre 2012 se retuvo un total de 0.66%, lo que genera costos elevados por reproceso (empaquete, energía y personal) y devoluciones.

El acondicionamiento hace referencia al tratamiento de humedad y tiempo de reposo por el cual se trabaja el trigo antes de entrar a bancos de molienda. El objetivo principal de este proceso es mejorar el estado físico de grano mediante ajustes al porcentaje de humedad logrando una trituración óptima del grano de trigo para obtener mayor cantidad de harina. El procedimiento que utiliza la empresa para el acondicionamiento implica verificar tres tablas de ajuste que representan al primer, segundo y tercer reposo, dichas tablas indican la cantidad de agua (litros/hora) que debe de ser aplicada dependiendo del tamaño de lote (toneladas) y el porcentaje de humedad de entrada del grano; una vez acondicionado el lote pasa a reposar en sus respectivas tolvas. Es este proceso el cual presenta una variación excesiva, la cual a su vez no corresponde a la variación esperada en relación a los litros de agua aplicados por hora y al tiempo de reposo.

1.2. Planteamiento del problema

La problemática radica en que el porcentaje de humedad contenido en el grano de trigo mantiene una constante variación, alternando entre cantidades de agua menores como mayores dentro del cereal. Pese a ello, las soluciones se van ejecutando sobre la marcha, realizando ajustes para poder estabilizar el producto. En situaciones, cuando el porcentaje de agua es relativamente bajo al salir del primer reposo, la opción es agregar más agua en los dos siguientes lavados y monitorear el proceso; por su parte, cuando el porcentaje es más alto de lo establecido, y el lote se encuentra en el primer o segundo reposo, la solución es que en la siguiente etapa el trigo solo se repose sin agregarle más agua, hasta que el grano se estabilice o esté apto para moler, pero si el lote se sitúa en el tercer reposo, la solución es mezclar el lote acondicionado con trigo seco, jugando con promedios, hasta que se aproxime al estado físico del grano con cantidades de agua específicas deseadas (15.5% – 16.6%). Por su parte, cuando el producto se encuentra en la etapa final del proceso de empaque, se inspecciona por última vez en el laboratorio, y sucede un proceso de corrección similar, si la harina ya empacada al analizarse contiene un porcentaje de humedad bajo, en ocasiones se envía al reproceso, y en caso contrario, si contiene un porcentaje de humedad elevado, queda en reposo durante un par de días dentro del almacén, hasta que la harina baje su porcentaje de humedad y adquiera los niveles deseados para ser enviado al mercado.

Estableciendo a la harina como uno de los elementos más importantes para la empresa, esta se ve afectada por la variación existente en el proceso de humidificación del trigo, afectando al porcentaje de humedad contenido en el grano. Dicho producto está encaminado a poseer los más altos estándares de calidad a modo de satisfacer en forma cabal y consistente las necesidades de los clientes. Por ello se plantea lo siguiente:

“La empresa bajo estudio desconoce los factores que generan las variaciones existentes en el proceso de acondicionar el grano lo que ocasiona un porcentaje del nivel de cenizas inestable, variación en el color de la harina así como la retención y/o reproceso de lotes preparados”.

1.3. Objetivo general

Implementar la metodología Seis Sigma que permita controlar y minimizar la variación en el proceso de acondicionamiento del grano de trigo, para que cumpla con los parámetros requeridos antes del proceso de molienda.

1.4. Objetivos específicos

- Definir la situación actual y elementos de la problemática presentada en el proceso de acondicionamiento.
- Medir el desempeño bajo el cual trabaja el proceso de acondicionamiento además de valorar qué medir y cómo medir.
- Analizar las causas que generan variación en el proceso.
- Mejorar el desempeño del proceso.
- Controlar y estandarizar el proceso de acondicionamiento.

1.5. Hipótesis

El uso de la metodología Seis Sigma en el sistema de acondicionamiento de trigo, permitirá minimizar la variación del proceso de humidificación del grano previo a la molienda, generando con ello, procesos estandarizados y disminución de costos.

1.6. Alcances y delimitaciones

El alcance de esta investigación es:

- Este proyecto se realizará únicamente dentro de las instalaciones de la planta, en el área de reposo y piso de neumático.
- Se trabajará con el personal del área de aseguramiento de calidad así como los responsables del área de acondicionamiento de trigo, correspondientes al área de producción.
- Con este proyecto se pretende generar propuestas de mejora, las cuales serán evaluadas para demostrar su efectividad, quedando a elección la más eficaz y factible a implementar dentro de la empresa.

Las delimitaciones presentadas durante la investigación:

- Disponibilidad por parte del personal de acondicionamiento de trigo.

- Tiempo para la realización del proyecto dentro de la empresa.

1.7. Justificación

Los gastos innecesarios por retrabajo, las devoluciones y mermas ocasionadas por los índices inestables de porcentaje de humedades, de ceniza y color en la harina son algunos de los inconvenientes que ocasionan retraso en productividad y gran costo a las empresas harineras. Sin embargo, con la implementación de la metodología Seis Sigma se verá una disminución de la variación en el proceso de acondicionamiento lo cual beneficiará a la empresa tanto productiva como económicamente, minimizando el tiempo de acondicionamiento y a su vez estandarizando los procesos que éste conlleva.

En su mayoría el personal de la empresa se verá beneficiado, ya que al mantener un proceso estable y seguro, ocasiona que no se lleve a cabo un reproceso en el producto y con ello evitar el retrabajo por parte de los trabajadores de la empresa, logrando así mismo condiciones de trabajo confiables a la hora de desempeñar sus labores.

2. MARCO DE REFERENCIA

En el contenido de este capítulo se verá la literatura relacionada con el tema de investigación. Se establecen antecedentes y generalidades del grano de trigo así como la obtención de harina con base a este cereal. De igual manera se presentan temas en relación a la calidad y cómo ésta ayuda a empresas de elaboración de alimentos, aspectos generales de HACCP y algunas herramientas para el análisis de los datos así como paquetes estadísticos que ayudan a agilizar el análisis. Finalmente se presentan algunos estudios previos referentes al tema de investigación.

2.1 El trigo

En la actualidad, el trigo representa al cultivo más grande del mundo por área de producción, posicionándose en el segundo cereal de mayor elaboración, así como el maíz, arroz y la cebada (Velasco, et al., 2012).

Hills et al., en el 2013, mencionan sobre el movimiento local de alimentos, el cual se ha estado centrando principalmente en los productos frescos y productos de origen animal, descuidado en gran medida los cultivos básicos. El trigo, por su parte, personifica al cereal más importante en la elaboración de productos de consumo humano de gran impacto, entre los cuales destaca, el pan, las galletas, la harina y las pastas.

2.1.1. Generalidades del trigo

El trigo es un grano maduro, entero, sano y seco derivado del vocablo triticum, que significa quebrado, triturado o trillado. Representa uno de los cereales más usados en el mundo, utilizados en un 67% para la elaboración de comida, un 20% para alimentación y un 7% en semilla pura, por lo que representa uno de los principales cereales de la dieta de las personas, suministrando un 20% de fuente de energía y alrededor de un 25% de los requisitos de la proteína necesaria para la población a nivel mundial (Galinha, et al., 2013) (El-Parai, et al., 2013).

Los granos de trigo son ovalados y redondeados en ambos extremos, el tamaño en promedio es de 8 mm aproximadamente, dependiendo de la variedad del trigo, el color comúnmente es presentado en blanco, beige o rojo y la estructura general del trigo consiste principalmente en salvado, germen y el endospermo (Figura 2.1) (Puga, et al., 2011).

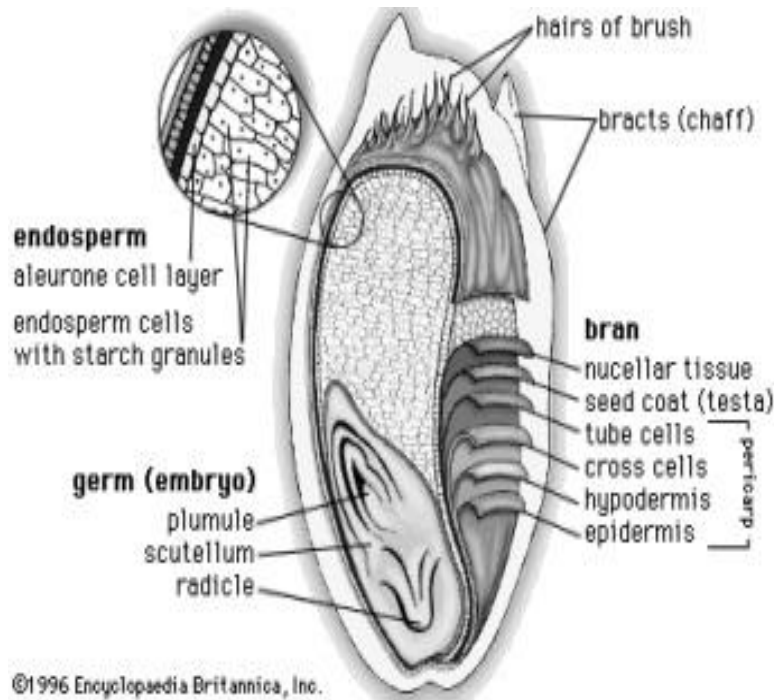


Figura 2.1. Estructura del grano de trigo (Šramková, et al., 2009).

El salvado es la capa externa que se encuentra unida a la semilla, encargada de proteger al grano contra insectos, el clima, enfermedades, entre otros, este elemento una vez molido, constituye al salvado, rica fuente de fibra. El germen compone la parte más pequeña del grano y contiene la información genética necesaria para seguir dando vida a la planta, además está compuesto de un alto porcentaje de azúcares, vitaminas del complejo B y los aminoácidos requeridos una proteína completa. Por último el endospermo, es la porción más grande del grano, ocupa entre un 80% a 85% del grano, utilizado para la elaboración de la harina blanca, y contiene ciertos porcentajes de materia proteica y sustancias grasas minerales (Šramková, et al., 2009).

2.1.2. Tipos de trigo

La Norma Oficial Mexicana (NOM-FF-36-1994) relacionada con la comercialización de productos alimenticios, clasifica al trigo en cinco grupos de calidad, dependiendo de la cantidad de gluten del grano, las características físicas del grano, así como el uso final del mismo, mostrado en la Tabla 2.1 (De la O, et al., 2012) (Pauly, et al., 2013).

	Clasificación	Uso
Grupo 1	Trigos fuertes	• Panificación
Grupo 2	Trigo de gluten medio fuerte y elástico	• Panificación a mano
Grupo 3	Trigos de gluten suave y extensible	• Industria de galletas • Tortillas
Grupo 4	Trigos tenaces	• Pasteles • Galletas • Donas
Grupo 5	Trigos cristalinos de gluten corto y tenaz	• Pastas • Sopas

Tabla 2.1. Clasificación de los trigos (De la O, et al., 2012).

Sin embargo, los parámetros de calidad del grano de trigo dependen en gran medida del manejo que se realice al grano una vez cosechado, principalmente ubicado en la etapa de acondicionamiento, ya que éste producirá un cambio dentro de las características del grano, mejorando de esta manera las posibilidades de separación del endospermo de las restantes capas del grano.

2.1.3. Producción de trigo en México

En México existe una gran demanda de trigos harineros de buena calidad agroindustrial, la producción de este cereal para el año 2012, fue de 3.076 millones de toneladas, sin embargo, ésta cantidad no fue suficiente para lograr abastecer las requerimientos de consumo, ya que se requirió de la importación de 4.9 millones de toneladas de trigo para solventar las necesidades de la demanda

del mercado nacional en la industria molinera (Figura 2.2), debido a esto, desde hace varios años, la industria regional ha reaccionado alentando a grupos de agricultores mantener reservas mínimas para disminuir carencia de éste grano, y evitar en lo más mínimo las compra del mercado internacional (Valenzuela-Herrera, et al., 2012; CANIMOLT, 2012; CANIMOLT, 2010).

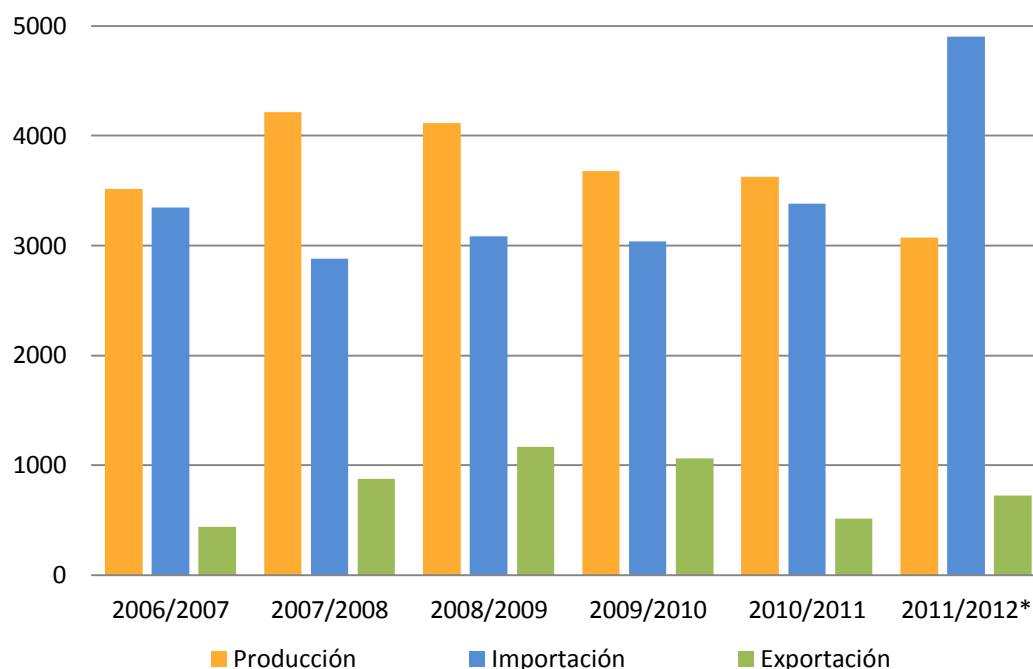


Figura 2.2. Producción, exportación e importación de trigo en México por miles de toneladas (CANIMOLT, 2010).

Para el año 2012, se puede localizar a los estados de Sonora, Guanajuato, Baja California, Michoacán, Jalisco, Chihuahua, Sinaloa y Nuevo León dentro de los principales productores de trigo en México (Figura 2.3). Por su parte, los estados de Sinaloa y Nuevo León, fueron nuevas regiones incorporadas dentro de la lista de productores en México, ya que en años anteriores solos los seis estados restantes se consideraban como prioritarios en el sector productivo de trigo y el resto de las regiones en conjunto representan la parte faltante del porcentaje de producción, debido a su baja productividad en el sector agrícola de trigo (CANIMOLT, 2010).

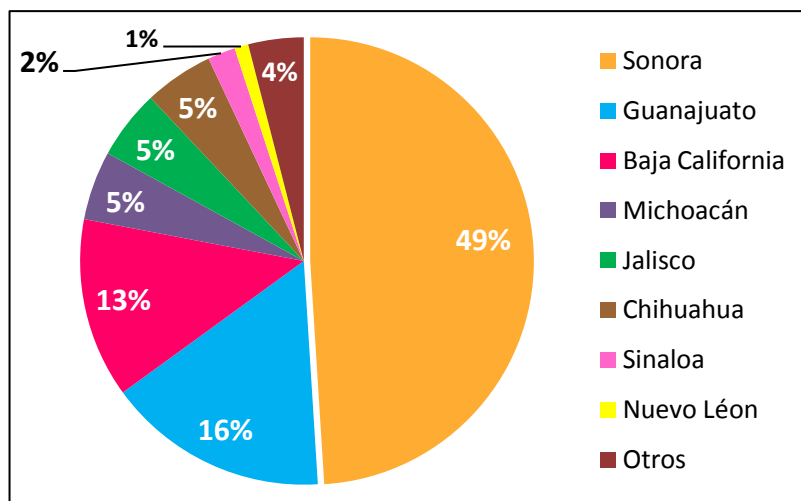


Figura 2.3. Producción nacional de trigo 2009/2010* (CANIMOLT, 2010).

Según CANIMOLT (2012) el comportamiento de la producción nacional de trigo ha ido cambiando, ya que, debido a la escases de agua en algunas regiones de los estados y sequias en algunas otras, se ha ido modificando el orden de importancia de producción de trigo por estado, y con ello, ha disminuido la producción nacional del trigo.

El estado de Sonora, representa el territorio más productivo de trigo en México, entre las regiones predominantes de este cultivo, se encuentran la región del Valle del Yaqui, Valle del Mayo, San Luis Rio Colorado, Valle de Guaymas y la Costa de Hermosillo (Félix, et al., 2009). Cabe resaltar que este estado mantiene la totalidad de su producción en zonas de riego, permitiéndole alcanzar una productividad de 6.45 ton/ha, colocándose como la primera a nivel nacional. Dentro de los principales usos del trigo en el estado de Sonora, se encuentra la industria harinera, utilizada para la industria galletera, de pan, pasteles e industria para pastas.

Así mismo, en Sonora se cuenta con una gran número de empresas dedicadas al tratamiento y elaboración de productos a base de trigo, creando suministros como harinas, alimentos para animales, y galleteras, que conforman parte fundamental de la industria en el estado. Sin embargo, se ha ido inclinando al área especializada de la producción de harina, ubicándose en la capital del estado dos molineras basadas en granos de trigo.

2.1.4. Norma Oficial Mexicana NOM-247-SSA1-2008

La Norma Oficial Mexicana establece las disposiciones y especificaciones sanitarias que deben cumplir el transporte y almacenamiento así como el proceso de las harinas de cereales tales como: trigo, maíz, arroz, avena, centeno, cebada entre otros, esta norma al igual que la AACC (Asociación Americana de Químicos Cerealistas) destacan algunas definiciones sobre la producción de harina, entre los cuales se encuentra el acondicionamiento, cuidados que debe manejarse en el grano así como actividades preliminares antes de entrar a molienda. Por ello se realiza una breve explicación del proceso de acondicionar el trigo, así como factores que aplican al realizar el mismo.

a) Acondicionamiento del trigo.

El acondicionamiento, representa una de las etapas más importantes en la elaboración de la harina, cuyo objetivo es producir un cambio en las características mecánicas de los diferentes tejidos del grano, mejorando de esta manera las posibilidades de separación del endospermo de las capas restantes del grano. El acondicionamiento influye no solo en el rendimiento de molienda sino también en la calidad de la harina obtenida (Osella, et al., 2006).

Por su parte, Ruíz (2009) establece el concepto de acondicionamiento del trigo, como la etapa que consiste en determinar el procedimiento más eficaz, rápido y económico para alcanzar el grado más ventajoso de humedad en el grano, perfectamente distribuido. Para ello ha de tenerse en cuenta la poca humedad interna o excesiva que poseen los trigos. Este acondicionamiento consiste en dejar en reposo en los tolvas de descanso, al trigo ya humedecido, entre 10 y 30 horas, para lograr que la humedad penetre a través del endospermo del grano y se difunda a través de él, logrando que el grano alcance determinadas condiciones físicas necesarias para la molienda, provocando directa e indirectamente ciertos cambios que mejoren el valor de las harinas de trigo.

b) Factores críticos al acondicionar el trigo

Valenzuela (2011) y Laurentte (2011), coinciden en que los tres factores más importantes para el acondicionamiento del trigo son la cantidad de agua aplicada

al grano, el tiempo de reposo una vez humedecido el grano y la temperatura del mismo en ciertas condiciones de temporada, y lo explican como:

- a. Cantidad de agua. La humidificación en la mayoría de los molinos se realiza en dos etapas, aunque algunos otros molinos lo realizan en tres. Las cuales consisten en lavar y dejar reposar el trigo, agregando las cantidades de agua necesarias para llevar al trigo al contenido de humedad de 16.0% esperado, sin embargo este porcentaje varia, dependiendo del tipo de grano a acondicionar. Para éstas etapas se utilizan rociadores intensivos para humedecer el grano, agregando el agua mediante chorros de presión. Una vez agregada el agua, el grano de trigo tiende a hincharse ocasionando ciertos desprendimientos necesarios por parte de la superficie. A medida que se establecen el porcentaje de agua requerido, el salvado tiende a hacerse más correoso y menos quebradizo, el endospermo se pone más viable y blando, y por último, el endospermo se puede separar con mayor facilidad del salvado, obteniendo harina más blanca y menos cantidad de ceniza.
- b. El tiempo de reposo. Este tiempo es diferente para cada una de las etapas del proceso de lavado, y depende en gran medida de la cantidad de humedad con la que entró a lavarse y la cantidad del lote en proceso. El factor del tiempo, es un elemento clave, puesto que si se deja reposar demasiado tiempo el grano de trigo, presenta problemas al momento de llevar a cabo el proceso de molienda.
- c. La temperatura. Otro factor crítico, puesto que si la temperatura es elevada, el tiempo de reposo disminuye, dado que el grano inicia con un proceso de sudoración haciendo que éste al término del reposo, logre una humedad demasiado alta, y en caso contrario, si la temperatura es baja, se tendrá que prologar el tiempo de reposo.

2.1.5. Obtención de la harina

La harina de trigo, representa al producto derivado de la molienda gradual y sistemática del cereal. El objetivo de la molienda (Figura 2.4) es separar las impurezas del grano hasta lograr un grado de extracción determinado; de manera que la harina es el resultado de la separación del salvado que representa la

cáscara del grano, y el germen, representado por el núcleo del grano, quedando únicamente el endospermo (Barrera, et al., 2012).

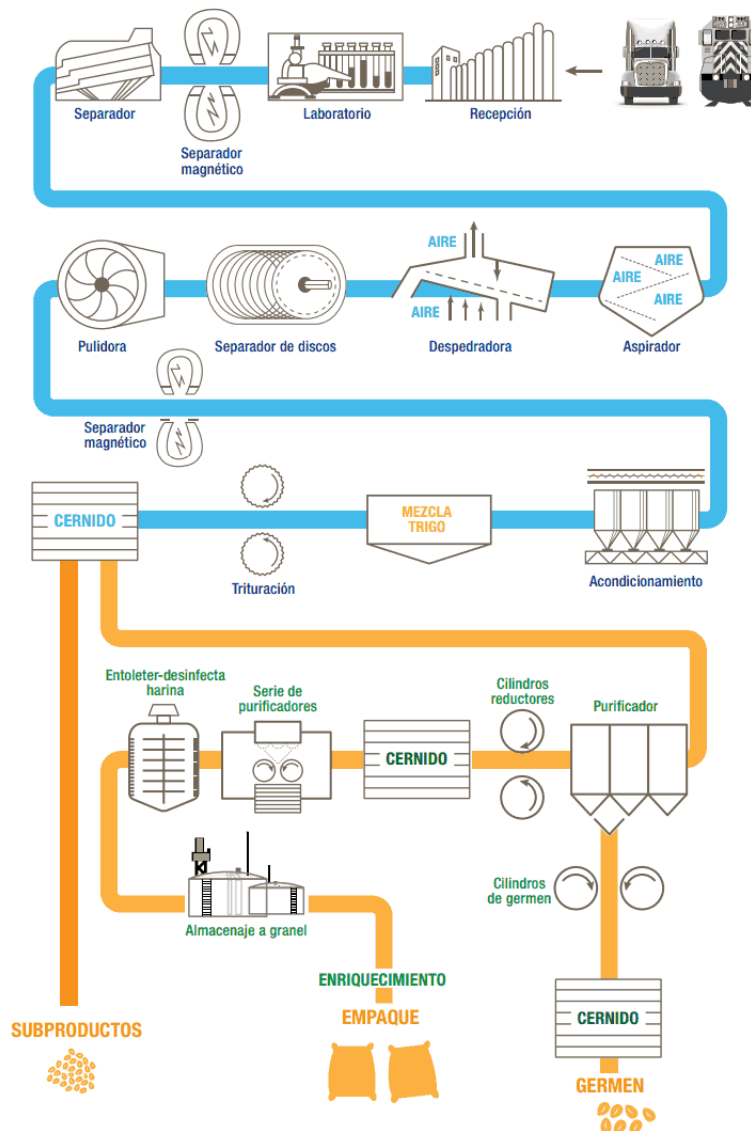


Figura 2.4. Proceso de molienda de trigo (CANIMOLT, 2012)

El proceso de producción de harina inicia con la recepción de la materia prima, el trigo se transporta via terrestre en camiones o tren, al llegar a la empresa se analiza el trigo para la aceptación o rechazo de la carga, posteriormente se almacena en cilos contenedores. Seguido, la prelimpia, encargada de retirar toda aquella materia extraña y de mayor tamaño al grano, como pedazos de madera, paja, piedras, entre otras; una vez realizada la prelimpia se estandariza al tamaño del grano, dejando pasar solo un tamaño de grano por medio de los separadores

de disco para finalmente pulir el grano, eliminando todo bello de la superficie exterior del mismo. La tercera etapa es el acondicionamiento, donde se realiza la primera limpia y la aplicación de agua, seguido se almacena el trigo humedo y reposa determinadas horas, para seguir con el segundo y tercer lavado, así como sus respectivos reposos. Posteriormente entra a molienda, cuyo objetivo es separar la cepa de salvado del endospermo y consecutivamente, transformar el endospermo en harina. En la etapa de cernido, se hace un tamizado que permita dejar pasar solamente la harina, y eliminar toda clase de impurezas, como restos de salvado o cascarillas. Seguido se purifica la harina, con la finalidad de eliminar la sección de residuos, tales como los productos de segunda calidad y separar el material de salvado del buen producto de endospermo, finalizando el proceso se empaca la harina y se almacena, para ser próxima a distribuir (Puga, et al., 2011). Barrera, et al., (2012) menciona que la composición y la calidad de la harina, depende en gran medida de las operaciones realizadas durante el proceso general de molienda y del grado de separación obtenido, posterior al acondicionamiento del trigo. Así mismo, el flujo de molienda presenta un efecto directo sobre el tamaño de la partícula molida, los niveles de cenizas obtenidos en base al salvado, el porcentaje de proteínas, la actividad enzimática y el contenido de almidos que resultó dañado.

El uso de la harina es variado, entre los principales productos se encuentra el pan, pasteles, tortillas o pastas, y productos secundarios tal como la semola, salvado, gluten. La harina para los diferentes productos es elaborada bajo el mismo proceso de molienda; sin embargo, el diferenciador importante para los mismos es su fuerte contenido de gluten y cantidad de proteína, que satisfagan las necesidades para la elaboración del producto (De la O, et al., 2012).

2.1.6. La harina y sus parámetros de calidad

Según Pauly et al. (2013), una gran variedad de productos alimenticios están hechos a base de harina de trigo, el material obtenido por la molienda de granos de este cereal.

La definición de calidad en la harina representa un elemento clave que garantiza la obtención del producto deseado, sin embargo es un concepto difícil de obtener,

dado la dificultad del trabajo requerida para llegar a implantarla. Ello se refiere a aspectos físicos-químicos en las harinas, que permitan establecer parámetros de calidad e información necesaria para el cálculo de los mismos. (De la Horra, et al., 2012).

a) Humedad en la harina

El contenido de humedad influye en las propiedades físicas de la harina: el peso, la densidad, la viscosidad, el índice de refracción, entre otras. Para determinar este contenido se utilizan técnicas químicas, termo-gravimétricas o de desecación. Este contenido de humedad en las harinas varía según la Asociación Americana de Químicos Cerealistas, estableciendo que la humedad en el grano se encuentra entre 14.5 y 15.0% dependiendo del trigo que se trabajó (De la Horra, et al., 2012).

b) Cantidad de cenizas en la harina

El contenido de cenizas es uno de los parámetros fundamentales para la tipificación comercial de las harinas. La determinación de cenizas es importante para verificar el refinamiento de la molienda, y se ve afectada directamente por la separación del endospermo del salvado (De la Horra, et al., 2012).

c) Proteínas en la harina

Según Vázquez-Lara, et al., (2009), las proteínas representan los componentes más importantes en la harina de trigo, debido a su capacidad de formar una masa visco elástica al mezclar la harina con agua. Por su parte la cantidad de proteína aplicada a la harina, será reflejada en la fuerza y en la elasticidad que presente la masa de trigo. La proteína representa al concepto que tiene mayor efecto sobre la funcionalidad y la calidad de los productos derivados del trigo, dado que factores como la absorción de agua, el tiempo necesario de trabajo en la masa (amasado) así como la estabilidad dependen en gran medida de la cantidad y de la calidad de la proteína.

d) Absorción de agua

La absorción de agua es fundamentalmente importante para la panificación (cuanto más absorba una harina, más cantidad de pan se podrá elaborar con el

mismo peso de harina), ya que depende principalmente de la calidad del gluten (De la Horra, et al., 2012).

2.1.7. Industria molinera y molino experimental

La harina es el resultado del proceso de molienda de trigo, logrando obtener una mejor separación del endospermo de otras partes de grano y reducir el tamaño del mismo (De la Horra, Seghezzi, Molfese, Ribotta y León, 2012). Actualmente, existen industrias harineras altamente tecnificadas para la elaboración de harina, que constan de edificios equipados con sistemas industriales de molienda y de cernido; sin embargo, poner en marcha estos sistemas tiene un gasto de energía de hasta el 6% del costo total de la molienda (Shekara, Kumar y Gundabhakthara, 2013). Por ello, realizar estudios en condiciones industriales, trae consigo situaciones problemáticas asociados con la producción comercial, puesto que gran parte de estos análisis resulta imprácticos para elaborar, y sumamente costoso, ya que se está hablando de grandes cantidades de trigo, energía y desgaste de maquinaria dentro de la planta molinera (Fistes, 2013). En el año 1989, Li y Posner propusieron la utilización de molinos pilotos o molinos experimentales (Figura 2.5) para realizar estudios a grandes empresas, con el claro objetivo de evaluar una pequeña cantidad de trigo, por su desempeño, reducción y separación y las cualidades de la harina.

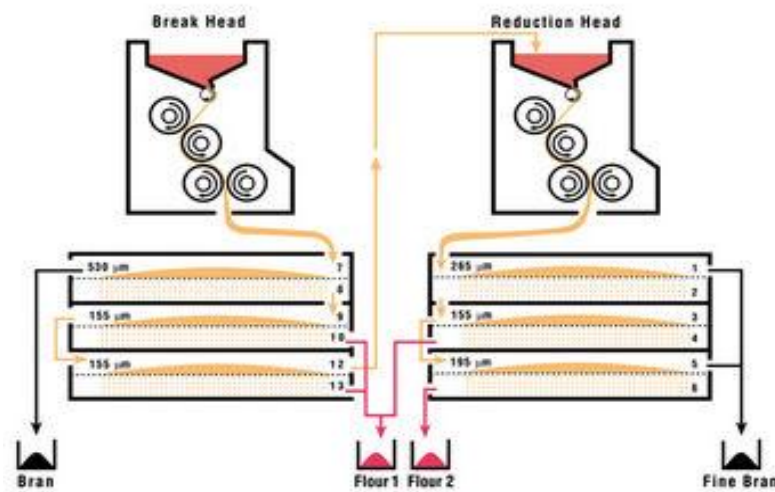


Figura 2.5. Molino experimental de laboratorio para cereales (Fistes, 2013).

Los molinos experimentales se utilizan para predecir el comportamiento que tomará el trigo durante el proceso normal de producción de la harina, puesto que, el molino experimental tiene las mismas funciones que un molino convencional, solo que con la necesidad de procesar menores cantidades de material prima, utilizando parámetros similares a los utilizados en una molienda normal, ya que cumple la misma función de triturar el trigo y, enviarlo posteriormente al cernido a fin de separar la mayor cantidad de harina del salvado y obtener un producto blanco y en su mayoría libre de impurezas (Tapia, 2012).

Para Osella, et al. (2006), el objetivo principal de una molienda experimental es producir, la harina equivalente a la producida en un molino industrial. Tomando en cuenta algunas consideraciones como el color de la harina indicado y el rendimiento de ambos molinos, se observa que estos parámetros dependen tanto del molino industrial como del experimental aunado al porcentaje de extracción que se maneje y de lo factible que resulte la molienda.

2.2. Calidad

Según Allendez (2007), la calidad representa la facultad de un conjunto de características inherentes de un producto, sistema o proceso necesarias para cumplir los requisitos de los clientes y de otras partes interesadas; ciertamente, la calidad ha logrado posicionarse como un concepto tan importante que a nivel internacional se empieza a tornar como una sola cualidad estándar; debido a ello, muchas organizaciones son distinguidas por la alta calidad que brindan en sus productos, servicios y procesos; representando a su vez, al componente más importante y complejo de la estrategia empresarial (Chikuku, et al., 2012).

Para que las empresas cumplan ampliamente con los objetivos de mejorar la calidad de sus productos y servicios, orientados a la satisfacción del cliente, es necesario que se realice un estudio a fondo y posiblemente, un rediseño del sistema; este estudio debe garantizar a todas las etapas del proceso, iniciando desde el suministro de material hasta el producto terminado y entrega al cliente, implicando a su vez una multitud de factores que interactúan tales como la organización, el personal, la mejora continua, tecnología y la producción; a fin de

satisfacer mejor las necesidades de sus clientes, reducir costos, e incrementar la productividad (Michelena-Fernández & Cabrera-Monteangudo, 2011; Toliuisiené, et al., 2013).

2.2.1. La estandarización

Con base a la necesidad de normalizar los requerimientos de pedidos por los clientes, surge la estandarización, la cual se presenta como un concepto afín a la calidad de un producto, definida como el proceso mediante el cual se regulan las actividades desempeñadas por los sectores tanto privado como público, debido a que si se desean obtener resultados esperados según los requerimiento y necesidades, es ineludible estandarizar las condiciones, incluyendo materiales, maquinaria y equipo, métodos y procedimientos, el conocimiento y la habilidad de las personas, así como también es necesaria la colaboración de todos los miembros del sistema (Blind y Hipp, 2006).

En el 2011, Manghani define a la estandarización como aquellas actividades orientadas a brindar soluciones a repetitivos problemas presentados, con el firme propósito de alcanzar un grado óptimo de orden. Si bien, las actividades relacionadas con la estandarización son la determinación, formulación y emisión así como la aplicación de estándares. Entonces, se tienen dos conceptos, el estándar, el cual representa la regulación hecha entre los errores y conceptos repetitivos, mientras que la estandarización, unifica las cosas y conceptos repetitivos a través del desarrollo, publicación y aplicación de los estándares, a fin de obtener el mejor orden.

Por lo tanto, los estándares son el resultado final de una actividad de estandarización, y en el contexto de sistemas de calidad consisten en documentos de calidad o documentos relacionados con los sistemas de calidad (Yongyi & Yan, 2012).

2.2.2. Control de la calidad

El control de calidad permite medir las características de un producto, comparar valores con lo establecido para posteriormente adoptar medidas correctivas. Este concepto se centra en el cumplimiento de los requisitos de la calidad, en el cual se

involucran tanto las técnicas como las actividades operacionales que se realizan desde un sistema de aseguramiento, a fin de verificar que se han cumplido los requisitos de las actividades relacionadas con el estudio (Xiuxi, 2011).

De acuerdo a Manghani (2011) y Toliusioné, et al. (2013), el control de calidad representa la responsabilidad de las unidades operativas, y que la calidad se promueve en las salidas cuando se hace uso de la inspección. En la fabricación ágil, la inspección en la empresa se lleva a cabo de acuerdo con la información del plan de calidad. El elemento principal de la verificación es el control de la calidad, que se genera antes del inicio de la producción, presentando parámetros evaluados como órdenes de control de calidad en función de volumen de producción, información sobre la inspección así como el ciclo entre la detección de productos no conformes.

Las funciones básicas del control de la calidad, mencionadas por Toliusioné, et al. (2013), sugieren una ayuda para reducir los defectos en la producción, a fin de lograr el control en los procesos y la mejora de los mismos. Dichas funciones son:

1. Planificación de la calidad. Establece los valores de los atributos de calidad y el desarrollo de los planes de inspección detallados para cumplir con estos atributos.
2. Control de calidad. Inspección de las características de calidad de los requisitos, contemplando desde el diseño del producto hasta la entrega al cliente.
3. Gestión de la calidad. Validación de los parámetros de calidad del producto y acciones sobre la mejora.
4. Promoción de la calidad. Impulso de que cada empleado mejore sus actividades y tenga conciencia de que cada una de estas actividades ayudan al rendimiento empresarial de alta calidad.

Por lo tanto, el control de calidad es una parte integral de las actividades diarias que se producen dentro de cada unidad operativa, que conllevan a generar un ambiente de trabajo más seguro y que ayudan de alguna manera, a reducir defectos y errores durante el proceso.

2.2.3. Aseguramiento de la calidad

El aseguramiento de la calidad presenta un enfoque de procesos, cuya finalidad es asegurar que una organización se encuentre trabajando de la mejor manera posible. Comprendiendo a su vez actividades tales como el diseño, el desarrollo, la producción, instalación, mantenimiento y la documentación. Así mismo, el aseguramiento de la calidad requiere que se estandarice la calidad de las materias primas, la producción y la inspección, la maquinaria, el equipo, los métodos y los procedimientos, el conocimiento y la habilidad de las persona (Kiss, 2012; Agbenorku, 2013).

Manghani (2011) menciona que el departamento de control de calidad, es el encargado de asegurar la misma dentro de la organización, además de argumentar algunos aspectos que intervienen en al aseguramiento de la calidad:

- Adecuada calidad global
- Descripciones claras de trabajo
- Plan de auditorias
- Enlace para promover la estandarización, la comunicación, y para mejorar la eficiencia de la calidad.
- Iniciativas de mejora continua (Plan-Do-Check-Act, Benchmarking)
- Asesoría por parte de los encargados del aseguramiento de la calidad.

2.2.4. Seis Sigma

La filosofía de Seis Sigma es introducida por Motorola en los años 80, como una estrategia de negocios y de mejoramiento de la calidad, de esta manera comienza a influenciar a las organizaciones a que estudien la variación presente en los procesos como un modo de mejorar los mismos. En general los procesos suelen encontrarse entre un nivel tres sigma, lo que equivale a un número de defectos de aproximadamente 67000 por millón de oportunidades (DPMO) (tabla 2.2), sin embargo un proceso con una curva de capacidad de seis sigma es capaz de producir hasta un mínimo de 3.4 defectos por millón de oportunidades, lo que equivale a un nivel de calidad de 99.9996% (Galicia, 2008; Manepatil, 2012).

Valor Sigma	DPMO	Rendimiento
0	933200	6.68
1	691500	30.85
2	308500	69.15
3	66800	93.32
4	6200	99.38
5	230	99.9976
6	3.4	99.9996

Tabla 2.2. Niveles sigma (Manepatil, 2012).

Así es como Seis Sigma representa la implementación rigurosa de los principios efectivos y técnicas de la calidad. Esta filosofía ayuda a las empresas a lograr desempeñar un papel importante en relación a la calidad, logrando con ello minimizar los defectos en sus procesos, relaciona a todo el proceso y brinda medidas de calidad de alto nivel mediante la aplicación eficaz de las herramientas y las técnicas estadísticas.

1. Metodología de resolución de problemas en Seis Sigma DMAIC

Se ha desarrollado como sistema para la resolución de problemas el método DMAIC (por sus siglas en inglés) el cual consiste de cinco fases, conocidas como Definir-Medir-Analizar-Mejorar-Controlar como lo muestra la figura 2.6. Estas fases encuentran sus orígenes en el modelo de Planificar-Hacer-Verificar-Actuar. Este ciclo de mejora se ha convertido en algo cada vez más común en las organizaciones Seis Sigma, para aplicarlo al diseño o rediseño de procesos (Aguilar, 2010).

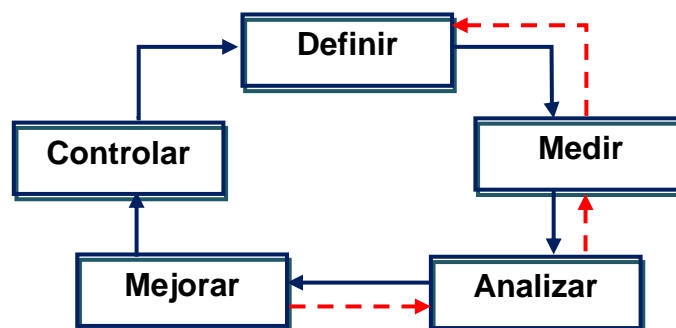


Figura 2.6. Proceso interactivo DMAIC.

- Definir. Es la fase inicial de la metodología en la cual se identifican proyectos de mejora dentro de la organización; para ello se deben definir bien estas preguntas: ¿por qué es necesario resolver esto ahora? ¿Qué se necesita para lograr completar el proyecto exitosamente?
- Medir. Se debe establecer qué características determinan el comportamiento del proceso, para esto es necesario identificar cuáles son los requisitos y/o características en el proceso o producto que el cliente percibe como clave (variables de desempeño), y qué parámetros (variables de entrada) son los que afectan este desempeño, para ello se define: ¿Cuál es el proceso y como se desarrolla?, ¿Cómo funciona el proceso actualmente?
- Analizar. Se tiene como objetivo analizar los datos obtenidos del estado actual del proceso y determinar las causas de este estado y las oportunidades de mejora. En esta etapa del desarrollo del método se deben de entender los problemas para poder luego formular las soluciones susceptibles de llenar la separación entre la situación actual y los objetivos clientes, aquí se cuestiona: ¿Qué variables de proceso afectan más la calidad (variabilidad del proceso) y cuales se pueden controlar?
- Mejorar. Identificación y puesta en práctica de las soluciones para eludir los susodichos problemas. Esto con el fin de tomarse el tiempo de someter a prueba y de validar las soluciones más adecuadas: ¿Cuáles de las opciones parecen tener mayor posibilidad de éxito? ¿Cuál es el plan para implementar el nuevo proceso?
- Controlar. Finalmente una vez encontrada la manera de mejorar el desempeño del sistema, se necesita determinar cómo asegurar que la solución pueda sostenerse sobre un período largo de tiempo. Para esto debe de diseñarse e implementarse una estrategia de control que asegure que los procesos sigan corriendo de forma eficiente: ¿Cómo pueden los equipos de trabajo mantener los defectos controlados? ¿Cómo se puede monitorear y documentar el proceso?

2. Herramientas básicas para Seis Sigma

Para cada fase de la metodología DMAIC, se proponen ciertas herramientas a fin de dar solución a cada una de las interrogantes planteadas durante el método:

- Project Charter (Carta de proyecto)

Esta es una herramienta que permite crear una visión macro del proyecto, así como dar a conocer al equipo de Seis Sigma los objetivos del mismo. Así mismo ayuda a guiar al equipo sobre la metodología que se adoptará para medir el progreso (Aguilar, 2010).

- SIPOC (Proveedores, Insumos, Procesos, Salidas y Cliente)

Esta herramienta permite identificar todos los elementos relevantes de un proyecto de mejora de proceso antes de comenzar el trabajo, en la tabla 2.3 se establece los elementos del SIPOC:

Elemento	Propósito
S (suppliers – proveedores)	Proporcionan los insumos necesarios para que comience el proceso.
I (Input – insumos)	Materia prima o información que entra al proceso.
P (Process – proceso)	Conjunto de pasos llevados a cabo para convertir la materia prima en producto.
O (Output – salidas)	Lo que se entrega, según los requerimientos.
C (Costumer – cliente)	Para quien se ha fabricado el producto.

Tabla 2.3. Elementos del SIPOC

- Mapeo del Proceso

Un mapa de proceso debe mostrar donde se pueden hacer mejoras (figura 2.7). El mapa debe ser el primer acto que una empresa lleve a cabo cuando se trata de hacer mejoras en el proceso (Hkrita, 2009).

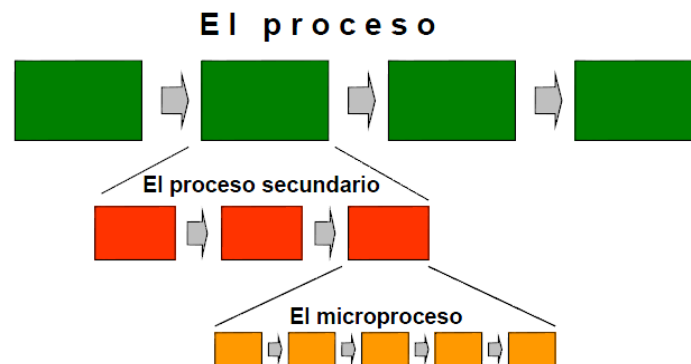


Figura 2.7. Mapeo general del proceso (Aguilar, 2010).

- Capacidad del proceso

La capacidad potencial del proceso o Cp se define como la relación entre los límites de especificación o tolerancia y la variabilidad total del proceso dada por el cálculo de la desviación estándar. Matemáticamente se expresa (Aguilar, 2010):

$$Cp = \frac{\text{Especificación Superior} - \text{Especificación Inferior}}{6 \text{ veces la desviación estándar}}$$

Para considerar una situación en específico, se usa un índice más significativo que toma en cuenta la posición del centro de la distribución con respecto a la de la especificación, que llamamos Habilidad de Proceso (Cpk), matemáticamente se expresa como:

$$Cpk = \frac{\text{Especificación Superior} - \text{promedio}}{3 \text{ veces la desviación estándar}}$$

- DOE (Diseño de experimentos)

El diseño de experimentos ayuda a identificar la relación existente en todos aquellos factores que afectan al rendimiento deseado durante el desarrollo del proceso bajo investigación. Esta herramienta maximiza la cantidad de información, identificar los factores que afectan a la respuesta promedio, a la variabilidad y aquellos que no contribuyen significativamente; además ayuda a identificar el modelo matemático que relaciona la respuesta con factores, permitiendo obtener valores óptimos para aquellos que sí son representativos (Hkrita, 2009).

Dentro del diseño de experimentos existen diferentes herramientas capaces de establecer el grado de afectación de los factores bajo estudio, así como encontrar parámetros óptimos de trabajo; dentro de estas se encuentra la metodología de superficie de respuesta, que para Gamboa et al, (2010) es un instrumento que permite crear prototipos de productos en los cuales es posible modelar los efectos que tendrán los niveles de ciertos factores. El objetivo de esta herramienta es economizar dentro de las empresas y disminuir el tiempo de pruebas al reducir el número de ensayos que podrían incrementar los experimentos.

- Gráficos de contorno y superficie de respuesta

Por su parte Chávez-Valencia et al, (2011) menciona que la superficie de respuesta es una de las metodologías empleadas en la investigación científica y

en el desarrollo tecnológico, que combina el uso de los diseños experimentales, modelaciones y optimización. Auxiliándose de gráficos como por ejemplo el de la Figura 2.8 que permitan limitar los valores de los parámetros deseados, así como explorar y experimentar sobre la región cercana al valor óptimo estimado.

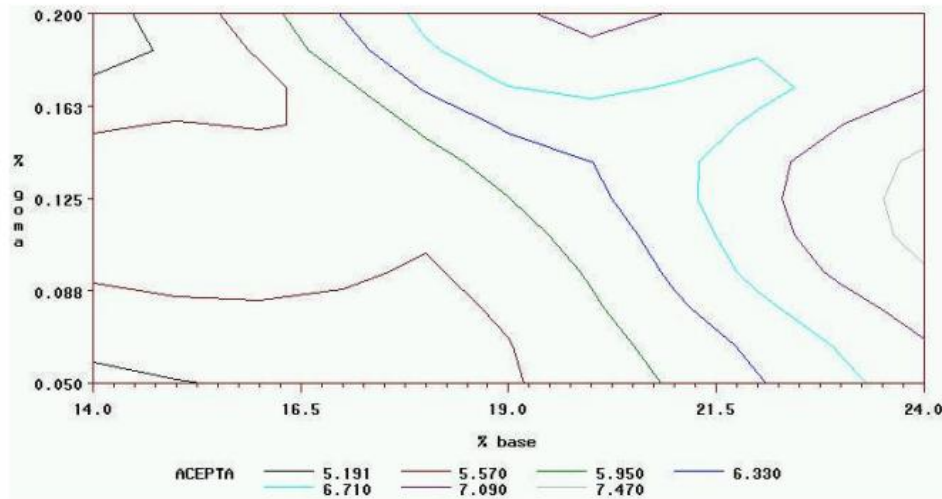


Figura 2.8. Gráfica de contorno (Gamboa et al, 2010).

2.2.5 Sistema de Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control

El sistema de análisis de peligros y puntos críticos de control (HACCP, por sus siglas inglés), representa un sistema de gestión para la inocuidad de los alimentos, aplicable mediante una serie de prácticas de higiene y operativas que comprenden a todo el sistema productivo dentro de una organización. La implementación del HACCP incluye la profesionalidad del personal, materias primas de calidad, y ayudando a la reducción de agentes microbiológicos, físicos y químicos que puedan estar afectando la inocuidad durante la preparación de alimentos (Gutiérrez, et al., 2011) (Kokkinakisa, et al., 2011).

a) Guía de aplicación al sistema HACCP

Para Mosquera, et al. (2008) y Stanley, et al. (2011) el uso e implementación de un sistema HACCP, mediante los siete principios básicos mostrados en la Tabla 2.4, constituye un sistema preventivo que identifica, evalúa y controla los peligros que son significativos para la inocuidad de los alimentos, desde el suministro de materia prima hasta el consumidor.

Principios	Propósito
Principio 1	Elaborar un análisis de los riesgos y el diagrama de flujo del proceso; identificar los riesgos y las medidas de prevención.
Principio 2	Determinar los puntos críticos de control, y las medidas preventivas a aplicar. Un diagrama de árbol puede ser útil.
Principio 3	Especificar los límites críticos de control, que indican si una operación está bajo control en un determinado punto crítico.
Principio 4	Establecer y aplicar el monitoreo para comprobar que cada punto crítico de control identificado, esté funcionando correctamente.
Principio 5	Establecer las medidas correctivas a tomar cuando se identifica una desviación en un determinado punto crítico de control.
Principio 6	Establecer procedimientos de verificación para confirmar que el sistema HACCP está funcionando eficazmente.
Principio 7	Establecer un sistema de documentación de los procedimientos y los registros apropiados para estos principios y su aplicación.

Tabla 2.4. Los siete principios del HACCP (Stanley, et al., 2011).

b) Implementación de un plan del HACCP

Para el desarrollo de un plan del HACCP se considera en primer lugar un análisis exhaustivo sobre las deficiencias que presenta actualmente la organización y sobre la situación actual de las buenas prácticas de fabricación. Llanes, et al. (2010) y Bansal, et al. (2013) hacen referencia sobre los doce pasos que hay que seguir para implementar un plan HACCP, los cuales se describen en la Tabla 2.5.

Función	Descripción
Pasos preliminares	1. Formación de un equipo HACCP
	2. Descripción el producto.
	3. Identificación del uso previsto
	4. Elaboración de un diagrama de flujo
	5. Verifique que el diagrama de flujo sea in situ al HACCP
Principios del HACCP	6. Análisis de riesgos
	7. Determinación de los puntos críticos de control

Continuación

- | |
|---|
| 8. Establecimiento de límites críticos para cada |
| 9. Establecer un sistema de monitoreo para cada punto crítico de control. |
| 10. Establecer acciones correctivas |
| 11. Establecer procedimientos de verificación y validación |
| 12. Establecer documentación y mantenimiento de registros |

Tabla 2.5. Los 12 pasos para la implementación del HACCP (Bansal, et al. 2013).

Como menciona Gutiérrez en el 2010, el HACCP representa un protocolo de referencia cuando se trata de asegurar la inocuidad de los alimentos, por lo que se ha ido adoptando como un programa obligatorio en muchas partes del mundo. Sin embargo, para que la implementación del sistema HACCP sea efectiva, el organismo debe de operar bajo normas estrictas de seguridad, buenas prácticas de higiene y de operación desde la recepción del materia prima hasta la entrega al consumidor.

2.3. Análisis de los datos

Para el análisis de los datos es necesaria la aplicación de herramientas con base a métodos y controles estadísticos, las cuales según Ishikawa resuelven el 95% de los problemas que se presentan en una empresa (Aguilar, 2010).

2.3.1. Diagrama causa – efecto

El diagrama causa-efecto es una herramienta gráfica que se utiliza para identificar causas posibles para un efecto. Mediante este diagrama se visualiza de una manera sistemática las relaciones entre los efectos y las causas que contribuyen a los mismos. Se utiliza para explorar todas las causas potenciales o reales (entradas) que se traducen en un solo efecto (salida) (Figura 2.9). La herramienta puede ayudar a identificar las causas raíces y las posibles áreas donde se ubica la problemática (materiales, maquinaria, medición, personal, método y medio ambiente) que deberían ser gestionadas para lograr encontrar el efecto (Shan-Shan & Ling-Chu, 2011).

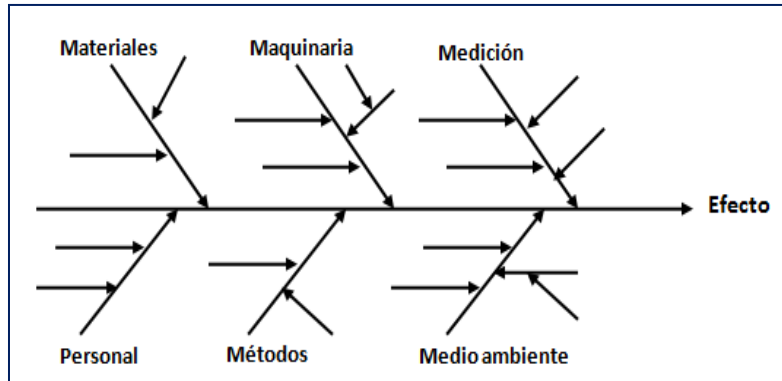


Figura 2.9. Diagrama de causa y efecto (Gray & Gray, 2011)

La aplicación o funcionalidad de esta herramienta es muy diversa, ya que se puede utilizar en áreas de estudio como campos de la gestión, la medicina, la ingeniería, las ciencias puras, en la fabricación, en la tecnología de la información, entre otros (Gray y Gray, 2011).

2.3.2. Estratificación

Aguilar en el 2010, explica que el objetivo de la herramienta de estratificación es facilitar el análisis de los datos identificando el grado de influencia que determinados factores tienen sobre el proceso, por ejemplo fecha y hora de almacenamiento de los datos, turno, edad o sexo de los operarios, entre otros. Si los datos se toman de manera global sin utilizar ningún criterio de clasificación, la información obtenida será de poca utilidad y no permitirá establecer cuáles son las causas aleatorias y las asignables de la variación del proceso. Se utiliza como base para la elaboración de gráficos de control e histogramas (Figura 2.10).

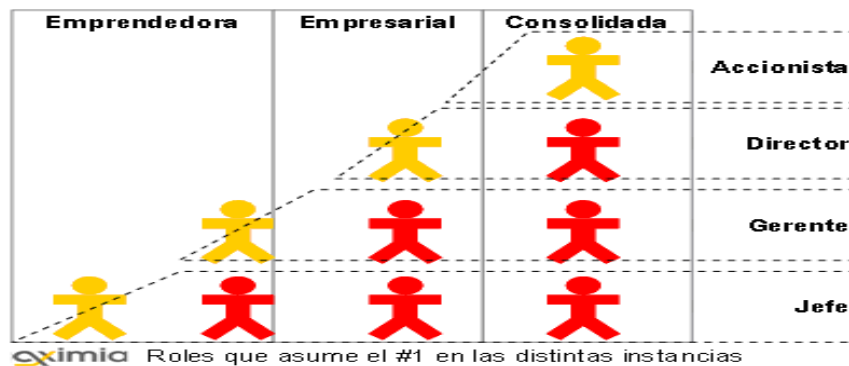


Figura 2.10. Estratificación (Aguilar, 2010).

2.3.3. Histograma

Un histograma es un resumen gráfico de la variación de un conjunto de datos (Figura 2.11). La naturaleza gráfica del histograma permite ver criterios o situaciones que son difíciles de observar en una simple tabla numérica.

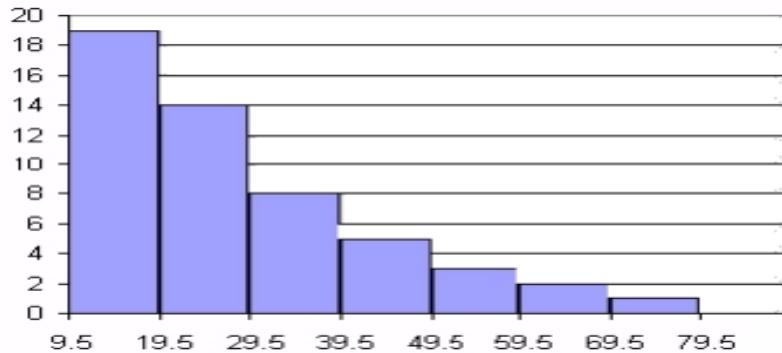


Figura 2.11. Histograma

Por lo general se usa para minimizar el error de estimación causada por la discrepancia entre el histograma construido y la distribución de datos reales. En otras palabras, el objetivo es hacer que el histograma esté lo más cerca posible a la distribución de los datos reales. Así también permite ver si existen anomalías en el proceso o si está dentro de los límites establecidos para el mismo (Lu y Guan, 2009).

2.3.4. Diagrama de dispersión

El diagrama de dispersión es una de las herramientas gráficas más usadas, sencillas y potentes para analizar la relación que puede existir entre dos variables. Éste diagrama sugiere la manera en que se relacionan las mismas, es decir, si es lineal, cuadrática o de otro tipo (Figura 2.12). Esto permite la interpretación de los coeficientes de correlación o el modelo de regresión que pueden asociarse a los datos. Mediante el gráfico se pueden identificar patrones, tendencias o clusters (Estepa, 2008).

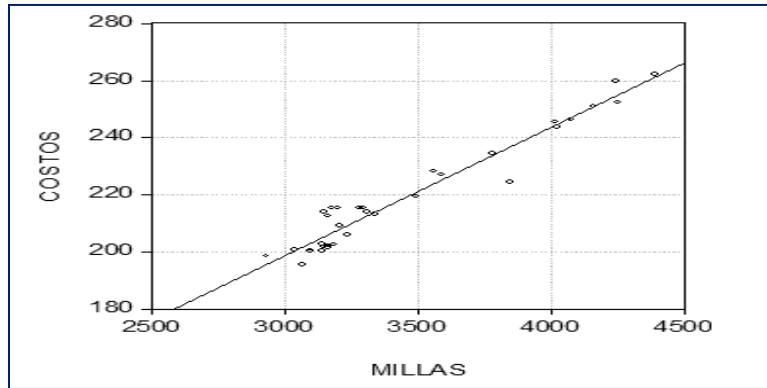


Figura 2.12. Diagrama de dispersión (Aguilar, 2010).

2.3.5. Gráfico de control

Es una técnica del control estadístico de procesos que permite observar y controlar una característica de calidad. Su función es evaluar la estabilidad de un proceso así mismo lograr distinguir las causas de variación del mismo. En la base de los gráficos de control existe la idea de que la variación de una característica de calidad puede cuantificarse obteniendo muestras de las salidas de un proceso y estimando los parámetros de su distribución estadística. La representación de esos parámetros en un gráfico en función del tiempo, permitirá la comprobación de los cambios en la distribución. Por su parte, los límites de control sirven como guías para controlar el estado del proceso, distinguiendo las causas aleatorias de variación de las causas específicas que deben ser investigadas. Si los puntos que se han graficado expresan la condición de un proceso, se encuentran dentro de los límites de control y no existen tendencias críticas se considera que la variación procede de causas aleatorias y el proceso es estable. Los puntos graficados que están fuera de los límites de control o que tienen una pauta de distribución anormal, significan que el proceso es inestable, estando fuera de control. Esto funciona de apoyo para el especialista, identificando y eliminando la causa del problema y tomando medidas para evitar que ocurra nuevamente (figura 2.13) (Martínez & Pérez, 2010).

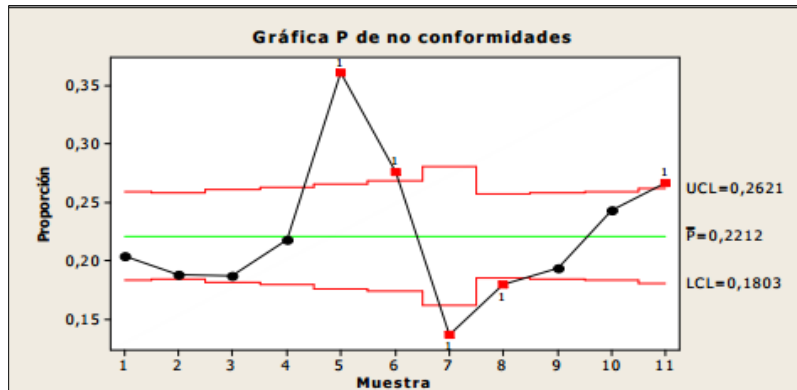


Figura 2.13. Gráfico de control (Martínez & Pérez, 2010)

2.4. Herramientas tecnológicas

En la actualidad existe un gran número de herramientas tecnológicas capaces de apoyar en procesos de enseñanza y aprendizaje, junto con el desarrollo de software especializados, se ha logrado una revolución en los campos asociados a la transmisión y tratamiento de los datos, de ésta manera es más frecuente la necesidad de analizar los mismos, a fin de obtener información y eventualmente el conocimiento, para estos análisis resulta indispensable el uso de paquetes estadísticos (Alpízar, 2007).

2.4.1. Minitab

Representa un paquete estadístico que incluye aquellos aspectos necesarios para aprender y aplicar la estadística en general. El programa incorpora opciones relacionadas a las principales técnicas del análisis estadístico como lo son el análisis descriptivo, contrastes de hipótesis, regresión lineal y no lineal, series temporales, análisis de tiempos de fallo, control de calidad, análisis factorial, ANOVA, análisis cluster, entre otros, además de ofrecer diversas opciones de edición así como proporcionar un entorno gráfico y una compatibilidad con los editores de texto, hojas de cálculo y bases de datos más usuales (Juan, 2006).

2.4.2. Statgraphic

Statgraphics es un software diseñado para facilitar el análisis estadístico de datos, el cual integra una gran variedad de análisis estadísticos y gráficos de alta resolución. Esta herramienta permite realizar el estudio descriptivo de una o más

variables mediante medidas características y gráficos específicos, trabajar con modelos de distribución de probabilidad, realizar intervalos de confianza para parámetros como la media, varianza, proporciones; además permite realizar contraste de hipótesis, aplicaciones del control de calidad, diseño de experimentos, modelos de regresión, aplicaciones de análisis multivalente, análisis de series temporales, entre otras funciones.

2.4.3. SAS

Statistical Analysis System (SAS) es un paquete versátil de amplia aplicación es un programa aplicado al análisis y reportes escritos. Éste paquete comprende un conjunto de programas de computadora útiles en el análisis estadístico de datos, logrando realizar diferentes trabajos, tales como: almacenar y recuperar información, diferentes tipos estadísticos de datos, que maneja grandes cantidades de datos, y es a veces mejor para los análisis complejos (Stahel, 2009).

2.5. Estudios previos

Se mencionan algunos estudios previos a la aplicación de estas herramientas en el campo laboral, en algunos aspectos donde la humedad es un factor crítico para la calidad del producto.

2.5.1. Análisis del proceso de freído en una empresa elaboradora de frituras de harina de la región.

En esta investigación se realizó un análisis del proceso de freído en una empresa elaboradora de frituras de la región del Yaqui el cual había estado presentando variaciones en la humedad final del producto, previo al empaque, por lo que se planteó el objetivo de determinar la humedad final del producto “A”, dentro los rangos propuestos de 1.2% a 1.45%, para así mantener la calidad y vida útil del producto. Se realizó una toma de 40 muestras al producto “A” durante tres meses y se midió la humedad final de la muestra, humedad ambiente, temperatura ambiente, velocidad de entrada de la banda, velocidad de la sumergidora, velocidad de salida.

El análisis de la humedad final de las muestras de frituras que el departamento de calidad llevaba como registro en su bitácora, se pudo observar que no se estaba cumpliendo con los parámetros establecidos por la empresa de 1% a 1.8%, donde los cuales normalmente se trabajaba con porcentajes superiores de 1.8%, con el cual se pone en riesgo de subir la humedad final, si no se realizaba un monitoreo constante del producto. Esta situación puso en riesgo la calidad del producto ya que se presentaba dos cuestiones un aspecto aceitoso por la humedad que presentaba o que esté bastante freído y se obtenga un producto quemado. Para llevar a cabo esta investigación y lograr el objetivo planteado de cómo lograr mantener la humedad de los productos de frituras de harina dentro de los rangos de 1.2% a 1.45% fue necesario obtener parámetros que ayudaran a realizar los ajustes más rápidos y precisos el menor tiempo. Para lograrlo se necesitó aplicar la metodología Seis Sigma debido a sus características de análisis estadísticos se consideró la mas apropiada y con base a sus cinco fases que son Definir, Medir, Analizar Mejorar Controlar, la cuales ayudaran a obtener los resultados óptimos para esta investigación, con lo cual se concluye que el objetivo se cumplió debido a que se encontraron los parámetros a manipular tales como humedad ambiental, temperatura del aceite, velocidad de entrada de la banda y velocidad de la sumergidora los cuales al controlarse lograron brindar al proceso un alto nivel sigma (Aguilar, 2010).

2.5.2. Análisis y estudio del contenido de humedad final de la madera.

La finalidad de esta investigación fue analizar el proceso de secado industrial del Pino Radiata originaria de Chile, tomando como variable el contenido de humedad final de la madera. En términos generales esta investigación sería útil para negociar y tomar decisiones frente a clientes que demandan productos con ciertas especificaciones técnicas, cuantificando además los costos en que se incurre por estar fuera de los parámetros solicitados.

La primera parte de este trabajo consistió en la recolección de datos del contenido de humedad final de los principales productos de la empresa Aserraderos Arauco S.A., los cuales fueron tomados manualmente por personal de la empresa con los

equipos de xilohigrómetros y medidores automatizados en línea Brookhuis. Una vez recopilados estos datos, se utilizó el histograma, herramienta gráfica que permitió el ajuste de curvas de las distribuciones de probabilidad de cada producto mediante el software @Risk 4.5. Con esta información se procedió a buscar las funciones de probabilidad acumulada respectivas y además aproximaciones matemáticas que permitieran el cálculo de éstas para conocer la probabilidad de estar entre un mínimo y un máximo de contenido de humedad.

Para evaluar la variabilidad y tendencia central del contenido de humedad se procedió a calcular los índices de la capacidad del proceso mediante el C_p y C_{pk} para determinar si el proceso de secado era capaz de cumplir con las especificaciones solicitadas por el cliente. Otro aspecto importante considerado en esta investigación fue la incorporación de la función de costo de calidad en la cual se evalúa monetariamente todos los costos en que se incurre cuando el producto no satisface las especificaciones del cliente, ya sea productos demasiado húmedos a veces atacados por hongos o por el contrario demasiado secos con problemas de grietas y alabeos.

Finalmente toda esta información se incorporó a una base de datos desarrollada en Excel, en la cual se ingresaban las especificaciones técnicas de un pedido y el programa entregaba información que permitía al usuario evaluar la conveniencia de aceptar el pedido o la necesidad de negociar con las especificaciones técnicas. Además el programa logró ser utilizado para capacitar al personal sobre el proceso de secado y explicar el comportamiento que siguió el contenido de humedad final en los productos (Ihmaidan, y Monardez, 2006).

3. METODOLOGÍA

En el capítulo anterior se expuso el estado actual en relación a la producción de trigo y medidas de control sobre la productividad del sector harinero; en este capítulo se muestran los pasos a seguir para la realización del proyecto, mediante la elaboración de una propuesta de solución. El enfoque dado a esta investigación es de tipo mixto, puesto que hace una combinación del enfoque cuantitativo y el enfoque cualitativo, además este tipo de investigación es descriptiva, experimental y evaluativa. Descriptiva ya que tiene como objetivo analizar la incidencia y los valores que manifiestan las variables estudiadas, que pueda constituir una solución al problema planteado; experimental puesto que hay manipulación de las variables, razón por lo cual el proceso es observado tal y como se presenta en la realidad, para luego ser analizado, y evaluativa, ya que se tiene que evaluar las deficiencias encontradas y como cambiar éstas para tener mejores resultados.

La metodología propuesta se muestra en la figura 3.1 que consiste en el ciclo de mejoramiento de DMAIC, en la cual las fases no ocurren de manera secuencial, puesto que frecuentemente el equipo de trabajo requiere hacer una retroalimentación y volver a tomar algunos datos necesarios para seguir con el ciclo. Esta metodología permitirá dar un análisis a la situación y poder reducir la variación presentada en el proceso de acondicionamiento de trigo, previo al proceso de molienda. Dentro modelo DMAIC, se propone la implementación de algunos de los principios de HACCP, puesto que se está trabajando con productos alimenticios, es un punto crítico trabajar bajo inocuidad de los mismos, con esta filosofía de combinaron algunas de las herramientas aplicables a DMAIC propuestas en cada una de las etapas, adecuando los principios de inocuidad en de definir, analizar, mejorar y controlar, las cuales requieren de medidas estrictas de elaboración dada la situación de producción de alimentos.

La filosofía inicia con definir, la cual permite entender la problemática e identificar áreas de interés para la mejora de la investigación; en la fase medir, se permite recolectar los datos representativos e identificar las zonas de mejora; la fase de análisis permite mediante la utilización de las herramientas analíticas y

estadísticas, identificar las causas de los problemas; la fase de mejora ayuda a identificar y poner en práctica las soluciones para minimizar los problemas y finalmente, el control permite dar seguimiento a las propuestas de soluciones establecidas. A continuación se explica a detalle cada una de las fases.

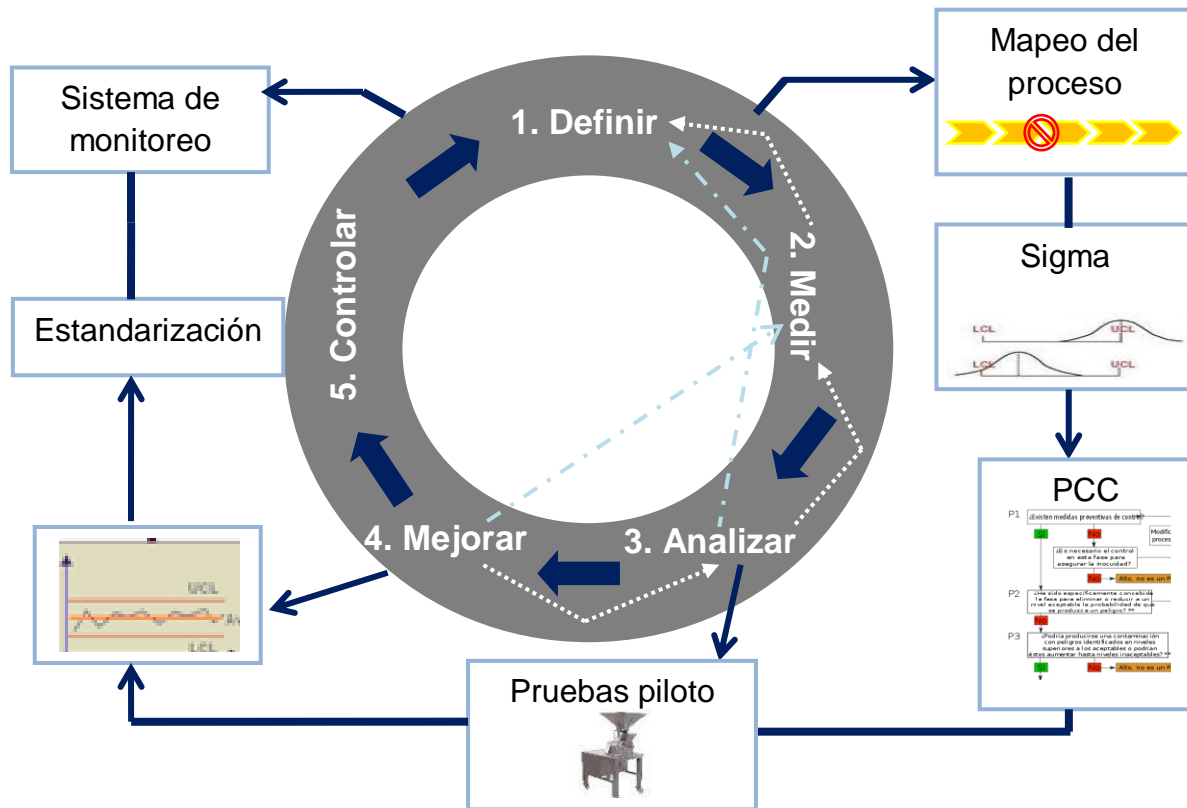


Figura 3.1. Modelo de mejoramiento DMAIC.

3.1 Fase 1: Definir

Consiste en precisar la situación actual del área donde se encuentra la problemática a fin de seleccionar las características de desempeño que son críticas para satisfacer las expectativas de la empresa. Para esta etapa se requiere la realización de un diagrama de flujo in situ al HACCP, a fin de identificar las operaciones llevadas a cabo durante el proceso, posteriormente la realización de un SIPOC para identificar los elementos clave del sistema productivo. Ver Figura 3.2.

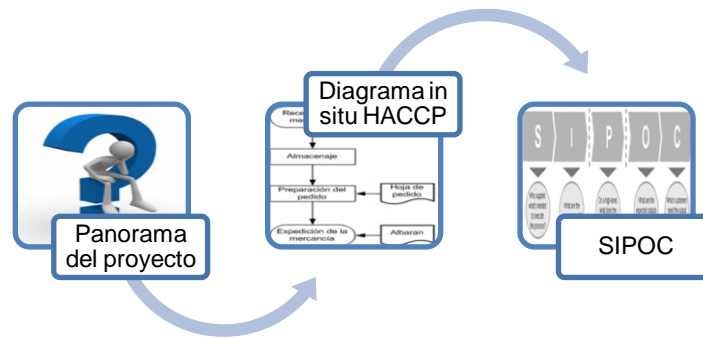


Figura 3.2. Acciones a realizar en la fase 1

3.2 Fase 2: Medir

En esta fase se establecen los pasos a seguir para la identificación y validación de actividades e instrumentos claves en el proceso. Se utiliza el diagrama causa-efecto para aclarar los posibles factores críticos, así como realizar un análisis de los mismos y lograr determinar los puntos críticos de control. Ver Figura 3.3.

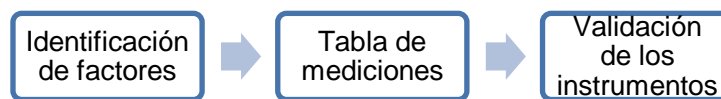


Figura 3.3. Acciones a realizar en la fase 2

3.3 Fase 3: Analizar

Se analizan y evalúan las muestras obtenidas para identificar las fuentes de variación a partir de los objetivos de desempeño, posterior se realizará un experimento para lograr obtener los parámetros óptimos requeridos al acondiciona y finalmente se realizarán pruebas piloto, que permitan simular los efectos que tendrán los parámetros obtenidos. Ver Figura 3.4.



Figura 3.4. Acciones a realizar en la fase 3.

3.4 Fase 4: Mejora

En esta etapa se genera una tabla con los valores que están cumpliendo con los rangos propuestos y la validación de los mismos, con el fin de tener bases de cómo manejar el proceso bajo condiciones estables. Esta fase representa el descubrimiento de las relaciones del proceso y el establecimiento de nuevos procedimientos que beneficien a la empresa. Ver Figura 3.5.

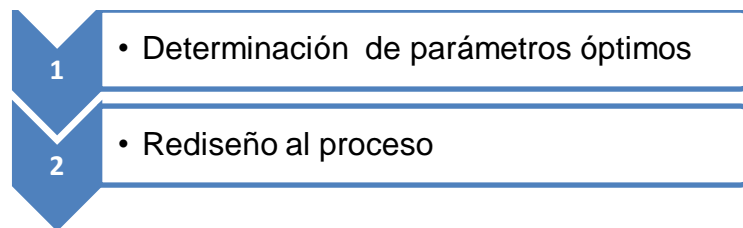


Figura 3.5. Acciones a realizar en la fase 4.

3.5 Fase 5: Control

Es esta fase se lleva a cabo un plan de control del proceso basado en el análisis que se realizó en la fase cuatro, a fin de controlar la mejora de proceso. Es necesario asegurar que se tomen las medidas correctivas cuando sea necesario. Durante esta fase se logrará la estandarización del proceso así como tener la documentación y mantenimiento requerido para que las propuestas de mejora permanezcan y se logre la retroalimentación de la investigación.

4. IMPLEMENTACIÓN

En este capítulo se presentan los resultados de la aplicación de la metodología, utilizando diferentes herramientas propias de la metodología DMAIC de Seis Sigma y otras en conjunto al HACCP.

4.1. Fase 1: Definir

Para esta primera fase se utilizó el concepto de trazabilidad, que permite determinar la causa raíz del fallo de calidad; así mismo se han realizando algunos análisis al proceso de acondicionamiento de trigo así como los demás procesos de la producción de harina.

4.1.1. Panorama de la investigación

El panorama del proyecto permitió dar a conocer acerca de los objetivos que pretende, crear una visión a nivel general del proyecto así como permitir la gestión centrada del equipo de trabajo acerca del rumbo de la investigación.

- Característica crítica de calidad. La característica crítica en este estudio es el porcentaje de humedad final del grano, previo al proceso de molienda, y el porcentaje de cenizas reflejado en el producto terminado, la harina; por su parte, el porcentaje de humedad en el grano en su mayoría no está cumpliendo con los porcentajes de humedad requeridos, los cuales dependen de la temporada del año, como se muestra en la Tabla 4.1 y en el Anexo 1:

Fase	Humedad en invierno	Humedad en verano
Primer reposo	12% – 13.5%	12% – 13.5%
Segundo reposo	15% – 16%	15% – 15.6%
Tercer reposo	16.5% - 17.5%	15.9% - 16.2%

Tabla 4.1. Requerimientos para el acondicionamiento de trigo. (DATOS PROPORCIONADOS POR LA EMPRESA)

El porcentaje de humedad representa la cantidad de agua que contiene el grano. Por ejemplo actualmente se entrega una grano con 8% de humedad, lo que indica que por cada 100 kg de trigo, se tiene 92 kg de materia seca y 8 kg de agua. Por

su parte las cenizas representan la cantidad de residuos inorgánicos que quedan después de la calcinación completa de la materia orgánica de un alimento.

Para determinar el porcentaje de humedad existen distintos métodos, sin embargo hay un método oficial avalado por la Sociedad de Químicos Cerealistas “el secado al horno”, que consiste principalmente en calentar la muestra bajo condiciones específicas y la pérdida de peso de la muestra se utiliza para calcular el contenido de humedad de la misma.

Para la determinación de las cenizas, se utiliza un método similar, llamado “cenizas en seco”, que consiste en quemar la muestra al aire y posteriormente en una mufla eliminar todo el material orgánico.

- Oportunidad. Dada la variabilidad de los porcentajes de humedad en el grano, se tiene un porcentaje de lotes rechazados, tanto internos como externos, ya que esto conduce a que se encuentre variación en el porcentaje de humedad en la harina y/o nivel de cenizas elevado.
- Descripción del objetivo. Determinar los parámetros óptimos para el acondicionamiento, tomando en cuenta diferentes factores como: humedad final, humedad ambiental, temperatura ambiental, temperatura del agua, tiempo de reposo, cantidad de agua.

4.1.2. Mapa del proceso

Mediante esta herramienta, se realizó una visión general al proceso estableciendo tres componentes importantes por cada subproceso: aspectos microbiológicos, físicos y químicos, que afectan la inocuidad de la elaboración de este alimento; por ejemplo para el proceso de recepción, algunos de los factores físicos sería metales, piedras que pudieran llegar con el trigo, y dentro de los factores químicos, posiblemente algunos insecticidas o medidas de control de plagas, que requieran de compuestos químicos. Sin embargo no presenta aspectos microbiológicos, puesto que no hay manera de que exista la presencia de algunos hongos u otros organismos mientras se recibe el trigo. Para el caso del acondicionamiento es diferente, ya que en este proceso sí afectan los tres

factores, el físico por que el trigo no está libre de contener piedras, metales o basura; factores químicos por la aplicación de desinfectantes al agua y microbiológicos, puesto que se trabaja en un ambiente húmedo por lo que está expuesto a adquirir hongos u otros microorganismos de peligro. El proceso productivo se presenta en la Figura 4.1 en la que se señala de manera general las afectaciones posibles.

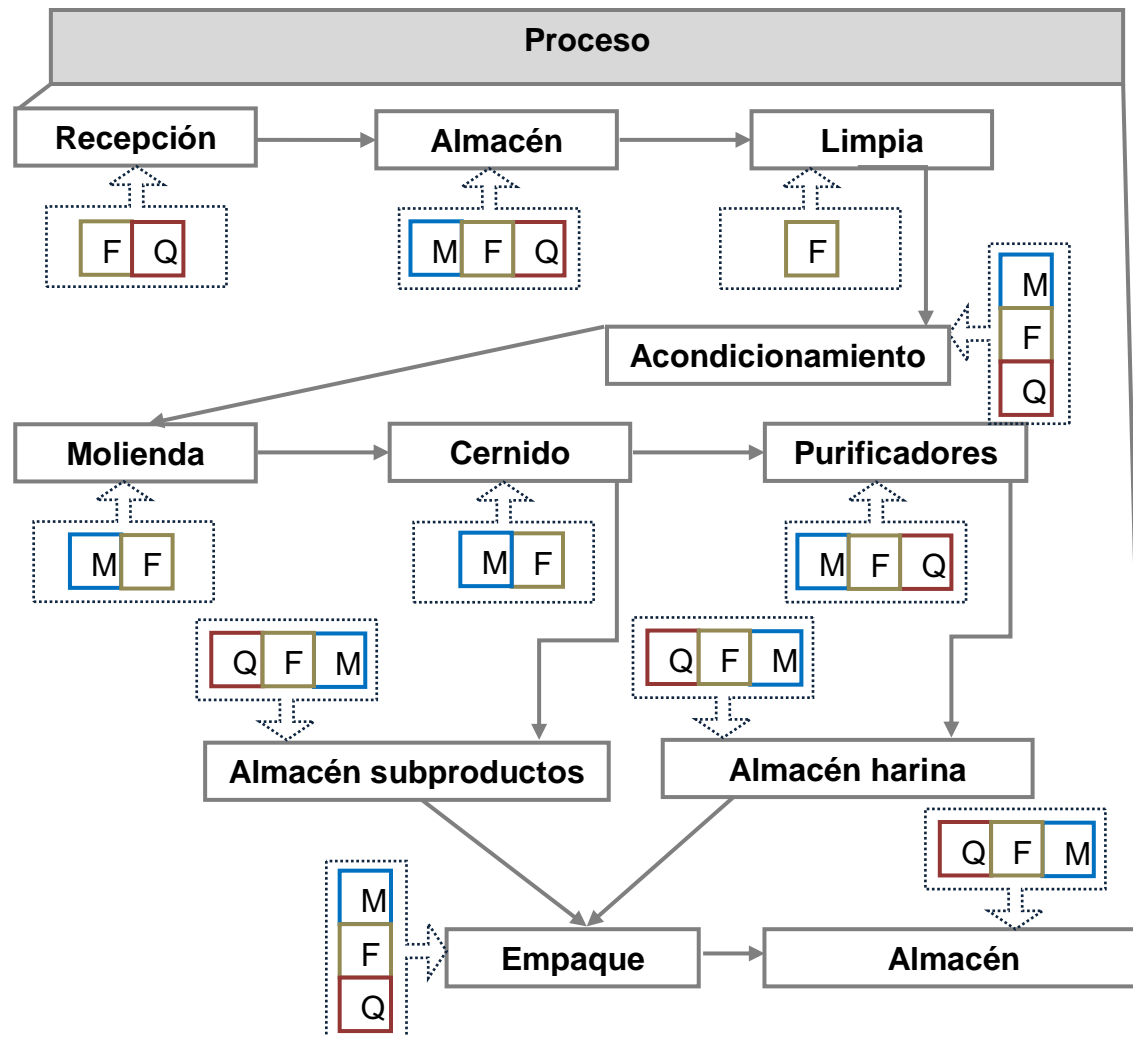


Figura 4.1. Diagrama in situ HACCP del proceso productivo de harina. (F: factores físicos, M: factores microbiológicos, Q: factores químicos).

Dentro de cada uno de los subproceso de la elaboración de la harina, se realizan distintas actividades propias para lograr los objetivos de los departamentos, las cuales se describen en la Tabla 4.1.

Subproceso	Actividad	Descripción
Recepción	1. Descarga de materia prima	El trigo es vaciado mediante una rampa a caída por gravedad.
	2. Inspección en laboratorio	El encargado del laboratorio, toma muestras del trigo para ver su contenido de proteína y calidad del grano.
Almacén	1. Transporte del material.	Se envía el trigo al contenedor indicado según los resultados de la inspección del laboratorio.
	2. Almacén	Se almacena en silos fuera y dentro de la planta.
Limpia	1. Scarpel	Es el encargado de quitar todas aquellas impurezas grandes del trigo, tales como espiga, tablas, rocas, entre otras.
	2. Cribadora	En esta parte, el objetivo es eliminar los restos de cascarilla del trigo y pequeños palillos de la espiga, mediante aire, el cual se lleva lo de menos peso como dichas impurezas.
	3. Despedregadora	Encargada de retirar aquellas pequeñas piedras que se confunden con el trigo, a fin de enviar trigo puro para el siguiente proceso.
	4. Carter	Su función es estandarizar el tamaño de los granos, sirve como tamizador en el cual solo deja pasar ciertos granos de un tamaño en especial, para que estén uniformes.
	5. Pulidora	Encargada de retirar los bellos ubicados en la cabeza del grano.
Acondicionamiento	1. Lavados	Se acondiciona el trigo agregando la cantidad de agua requerida para cierto % de humedad de entrada.
	2. Reposos	Reposa el trigo por 6 horas hasta obtener un % de humedad de $13\% \pm 0.5\%$, % de humedad de $15\% \pm 0.5\%$ y % de humedad de $16\% \pm 0.5\%$
Molienda	1. Descarga materia prima.	El trigo es vaciado mediante un tubo a caída por gravedad.

Subproceso	Actividad	Descripción
	2. Trituración	El trigo es molido mediante rodillos de compresión
Cernido	1. Cernido	El trigo pasa por diferentes filtros a fin de colar la harina, e ir separando las partículas más finas, llamadas harina de primera, así como separar por distintos ductos los sub productos, como salvadillo, salvado y restos de harina de mala calidad, para que esta ultimar sea reprocesada de nuevo y obtener harina fina.
Almacén subproductos/ Almacén harina	1. Transporte del material.	Se envía la harina al contenedor indicado según el tipo de producto
	2. Almacén	Se almacena en silos dentro de la planta.
Empaque	1. Transporte del material.	Se envía el material área de empaque mediante, referente a cada producto.
	2. Empaque	Se empaca en distintas presentaciones, según el trigo de producto.
Almacén	1. Transporte del material.	Se envía la harina al área de descarga
	2. Almacén	Se almacena en tarimas en el piso, dentro de la planta, logrando acumular hasta tres tarimas del piso hacia arriba.

Tabla 4.2. Operaciones realizadas en cada subproceso de la elaboración de harina.

4.1.3. SIPOC

Una vez aplicado el mapa del proceso se continuó con el SIPOC (Figura 4.2) (Proveedores, Entrada, Proceso, Salida, Cliente), el cual sirvió para dar una visión global del proceso desde proveedores, entradas y salidas para únicamente el proceso de acondicionamiento al trigo, que es la base de este proyecto.

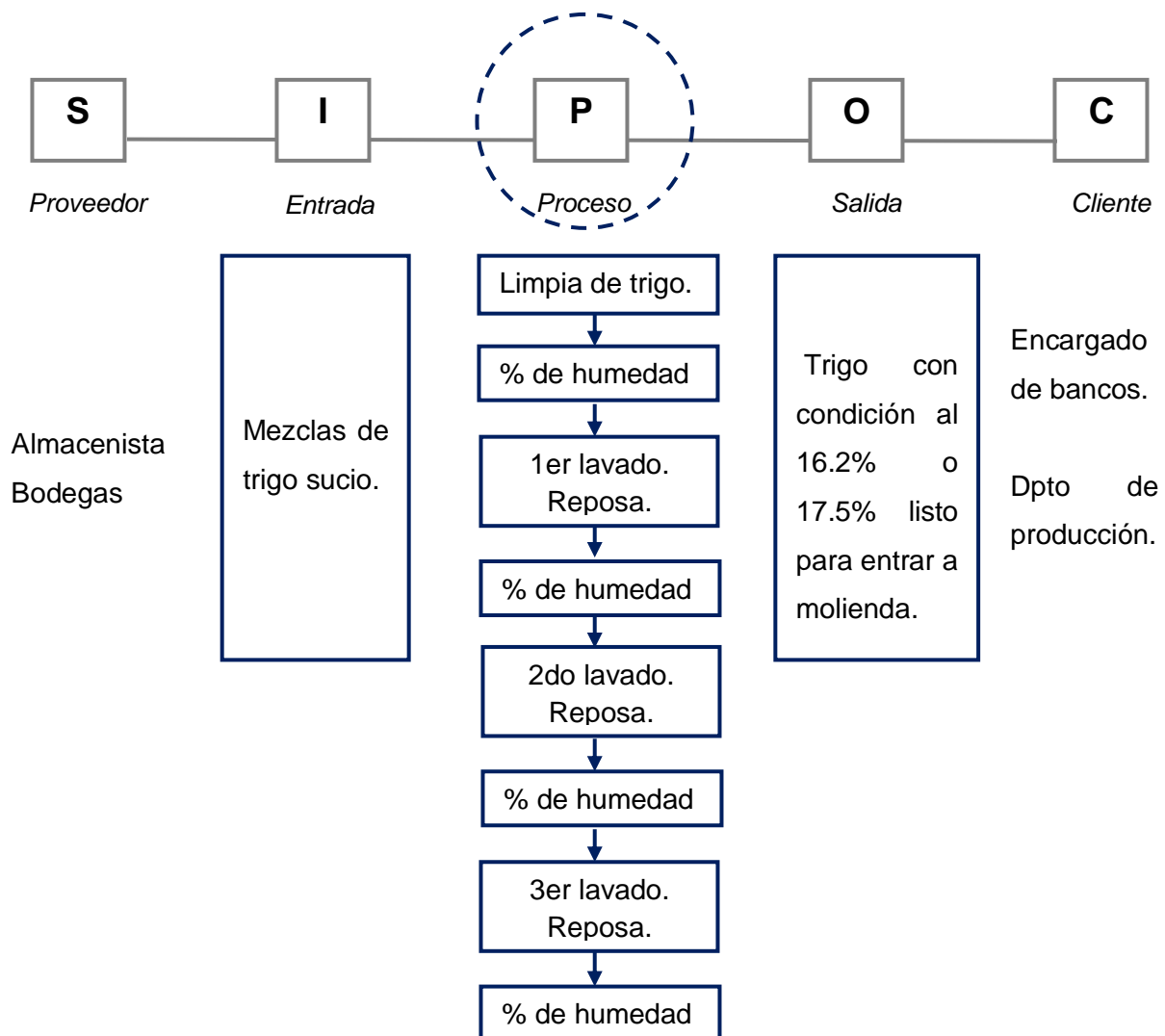


Figura 4.2. SIPOC aplicado al proceso de acondicionamiento al trigo.

Para este proceso es indispensable tomar en cuenta los porcentajes de humedad de entrada y los de salida, que son requeridos para mantener en control el proceso. Debe puntualizarse que el objetivo es lograr un porcentaje de humedad de 16.2% para verano o 17.5% para invierno, con la finalidad de realizar una molienda adecuada.

4.2. Fase 2: Medir

Se presentó una lluvia de ideas de las posibles variables que se tienen en consideración al momento de acondicionar el grano de trigo, además en esta fase se establece qué se va a medir para la realización del estudio, cómo se va a medir el factor resultante así como la maquinaria y equipo necesario para la realización de las lecturas del experimento.

4.2.1. Identificación de factores

Una vez analizados los factores que la empresa toma a consideración al momento de acondicionar, se vio en la necesidad de encontrar otras alternativas que logran explicar el comportamiento del grano al momento de ser lavado, para ello se requirió de la realización de un diagrama de Ishikawa al proceso de acondicionamiento, plasmado en un diagrama causa-efecto con base a la lluvia de ideas por parte del equipo de trabajo del área de lavado, así como dos maestros del Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos (DIPA) M.C. Refugio Ortega y el M.C. Ignacio Morales, que permitiera identificar las posibles variables que afectan al porcentaje inestable de humedad tanto para el primer, segundo o tercer lavado así como sus respectivos reposos (Figura 4.3).

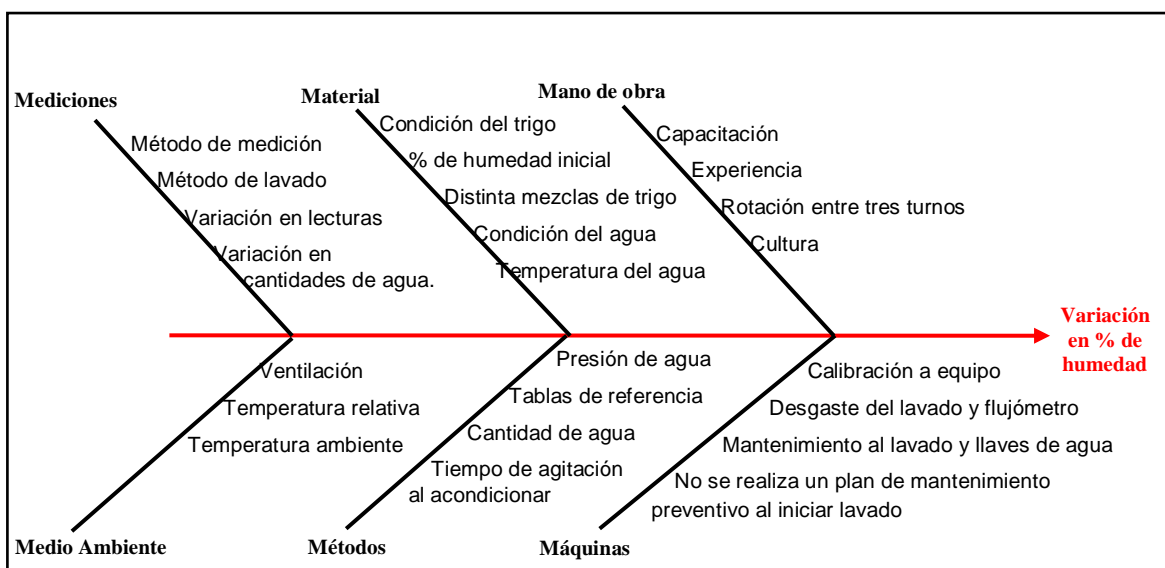


Figura 4.3. Diagrama causa-efecto de las posibles causas que afectan al porcentaje de humedad en el trigo.

Se realizó un estudio a las causas encontradas del diagrama causa-efecto, logrando identificar aquellas potencialmente prioritarias que podrían estar afectando al porcentaje de humedad final del grano. Dentro del apartado de medición se encuentra la posible causa del método de medición así como el método de lavado. En material se ubica al porcentaje de humedad de entrada del trigo así como la mezcla de trigos, ya que para un lote es necesario mezclar diferentes tipos de trigo a fin llegar al contenido de proteína y características especiales del producto requerido. En el método se encuentra la cantidad de agua así como la inspección y, finalmente dentro del apartado de maquinaria se sitúa el mantenimiento al lavado, las llaves y el desgaste de las mismas, así como la falta de un plan de mantenimiento preventivo previo al inicio del lavado. Una vez estudiadas las posibles causas se concluyeron que éstas forman parte del sistema de acondicionamiento y se delimitó el estudio a aquellas únicas que se pueden monitorear y manipular a nivel industrial dentro del molino. Los factores principales que se tomaron en cuenta para explicar la investigación son: mezcla del trigo, la temperatura del agua y por último el tiempo de acondicionamiento.

4.2.2. Tabla de medición

Es indispensable tener establecidos los elementos necesarios para realizar las mediciones, así como también los factores señalados en el apartado 4.2.1 para cada uno de ellos se generaron criterios de medición mostrados en la Tabla 4.3 a fin de definir dichos parámetros buscados y tener un panorama más amplio sobre los análisis próximos a realizar.

Criterios	Descripción
¿Qué medir?	La humedad final la cual representa al porcentaje de humedad que se tiene después de acondicionar las muestras de trigo.
Definición operativa	La humedad del trigo es la cantidad de agua que se aplica uniformemente al grano para que sea absorbida durante un lapso determinado de tiempo.
Fuente de los datos	Mediante el desarrollo de un diseño de experimentos, realizando las muestras experimentales en un molino piloto Quadrumat junior.

Continuación

¿Cómo se unirán los datos?	Se llevará el registro de cada muestra producida, el cual dura aproximadamente 24 horas en ser acondicionado.
¿Cómo se usarán los datos?	<ul style="list-style-type: none"> • Identificar factores críticos • Reducir variación de porcentajes de humedad • Identificar condiciones de adecuadas de operación del proceso

Tabla 4.3. Mapeo del proceso.

Una vez concluida la tabla de medición se muestran los parámetros tomados por parte de la empresa en la Tabla 4.4 que permiten realizar un análisis previo sobre nivel sigma que están manejando actualmente en sus lavados así como en los respectivos reposos.

Temperatura en tolva	Temperatura ambiente	Humedad relativa	% humedad de entrada	Lts/hr Agua aplicada	Horas de reposo	% humedad final
37.5	21.1	23	8.3	800	15.5	13.8
29	24.5	20	8.2	850	15.5	14.3
30	25.4	18	8.1	850	23.5	14.5
25.5	22.2	24	9	800	8	14.3
28.8	24.7	21	8.8	800	14	14.2
27.9	24	23	9.1	800	8	13.8
30	25.5	20	9.4	800	11	13.5
28.9	25.6	20	9.3	800	13.5	13.8
29.1	25.5	20	9.3	800	12.5	14.1
.
.
.
29.5	27.1	18	8.2	850	14	14.6
25	20.8	18	8.4	800	11.5	13.3

Tabla 4.4. Ejemplo de la recopilación de datos del primer lavado

De la fórmula 4.1 se logra obtener el nivel sigma actual de la empresa con el que se encuentra trabajando el área de acondicionamiento de acuerdo a los parámetros buscados por la empresa:

$$DPMO = \frac{\text{Total de defectos observados}}{\text{Oportunidades totales}} (1,000,000) \quad (4.1)$$

Con base a la recopilación de datos del primer, segundo y tercer lavado, asociado a los parámetros establecidos por la empresa (Tabla 4.1), se determinaron los niveles de defectos producidos por millón de oportunidades, para después mediante la Tabla 2.2. Niveles Sigma se estableció la conversión de DPMO a nivel sigma resultando:

1. Para verano:

a) Primer lavado $DPMO = \frac{31}{58} (1,000,000) = 534,482 \rightarrow \text{Sigma de 0.8}$

b) Segundo lavado $DPMO = \frac{33}{58} (1,000,000) = 568,966 \rightarrow \text{Sigma de 0.8}$

c) Tercer lavado $DPMO = \frac{4}{121} (1,000,000) = 916,667 \rightarrow \text{Sigma de 0.8}$

2. Para invierno:

a) Primer lavado $DPMO = \frac{78}{123} (1,000,000) = 634,146 \rightarrow \text{Sigma de 0.8}$

b) Segundo lavado $DPMO = \frac{69}{123} (1,000,000) = 560,976 \rightarrow \text{Sigma de 0.8}$

c) Tercer lavado $DPMO = \frac{4}{121} (1,000,000) = 33,058 \rightarrow \text{Sigma de 3}$

4.2.3. Validación de los equipos

Para la realización de las pruebas piloto se requirió de cierta maquinaria y equipos, que en su caso necesitaban estar calibrados y certificados, para asegurar la confiabilidad y la calidad de los resultados obtenidos durante la investigación. A continuación se enlistan los equipos que se utilizaron en la Tabla 4.5.

Maquinaria	Función
	<p data-bbox="959 300 1141 329">Molino Perten</p> <p data-bbox="781 348 1318 430">Trituración de pequeñas cantidades de trigo seco.</p> <p data-bbox="760 449 1292 478">CALIBRACIÓN OMG, INTERNACIONAL</p> <p data-bbox="841 497 1214 527">12 abril 2013 – 12 abril 2014</p>
	<p data-bbox="987 653 1117 682">Inframatic</p> <p data-bbox="781 701 1318 783">Determinación de proteína, porcentaje de humedad y ceniza en granos.</p> <p data-bbox="760 802 1292 831">CALIBRACIÓN OMG, INTERNACIONAL</p> <p data-bbox="841 850 1214 879">12 abril 2013 – 12 abril 2014</p>
	<p data-bbox="932 989 1122 1018">Termobalanza</p> <p data-bbox="781 1058 1318 1140">Determinación de porcentaje de humedad en granos molidos.</p> <p data-bbox="760 1159 1292 1188">CALIBRACIÓN OMG, INTERNACIONAL</p> <p data-bbox="816 1207 1239 1236">10 Marzo 2013 – 10 Marzo 2014</p>
	<p data-bbox="914 1316 1141 1346">Quadrumat junior</p> <p data-bbox="781 1386 1292 1415">Molino experimental a pequeña escala.</p> <p data-bbox="760 1455 1292 1484">CALIBRACIÓN OMG, INTERNACIONAL</p> <p data-bbox="781 1503 1187 1533">23 Mayo 2013 – 23 Mayo 2014</p>

Tabla 4.5. Equipo de medición

4.3. Fase 3: Análisis

Se estableció el plan de trabajo a realizar para las pruebas piloto en el molino experimental así como la evaluación y análisis de las mismas.

4.3.1. Planeación y diseño del experimento

Es necesario establecer qué elementos se usarán para un buen diseño, por ello se crea una tabla de componentes del DOE que establecen las etapas que deben seguirse para una correcta planificación de un diseño experimental (Tabla 4.6).

Componentes de DOE	Representación																
Respuesta de salida: mide como resultado del experimento y se usa para juzgar los efectos de los factores	Porcentaje de humedad final																
Factores: representan las variables de entrada del proceso establecidas a diferentes niveles para observar su efecto de salida.	A. Mezclas de trigo B. Temperatura del agua C. Tiempo de agitación																
Niveles: Los valores establecidos para cada factor.	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Factor</th> <th colspan="3">Nivel</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mezcla de trigo</td> <td>Tipo 1</td> <td colspan="2">Tipo 2</td> </tr> <tr> <td>Temp. agua</td> <td>15°C</td> <td colspan="2">30°C</td> </tr> <tr> <td>Tiemp. agitación</td> <td>1min</td> <td>10min</td> <td>20min</td> </tr> </tbody> </table>	Factor	Nivel			Mezcla de trigo	Tipo 1	Tipo 2		Temp. agua	15°C	30°C		Tiemp. agitación	1min	10min	20min
Factor	Nivel																
Mezcla de trigo	Tipo 1	Tipo 2															
Temp. agua	15°C	30°C															
Tiemp. agitación	1min	10min	20min														
Pruebas o corridas experimentales: las combinaciones de pruebas específicas de factores y niveles que se corren durante el experimento.	Diseño Factorial General 2x2x3 Doble réplica																

Tabla 4.6. Planeación del DOE

4.3.2. Ejecución del trabajo experimental

Sé solicitó trigo directamente de las bodegas con la finalidad de que éste no posea ningún tratamiento inicial, se limpió el grano y se crearon las mezclas de cuatro variedades distintas de trigo considerando dos de las fórmulas utilizadas para ciertas harinas, después se hicieron pequeñas muestras de 1100 gramos aproximadamente. Se molió una pequeña cantidad de trigo de aproximadamente 20 gr (Anexo 2) en un molino Perten, para determinar el porcentaje de humedad inicial de las muestras mediante una Inframatic ideal para muestras secas y además logró minimizar el tiempo en el desarrollo de esta operación, y las

muestras posteriores se tomaron mediante una termobalanza, ya que esta logra determinar en 5 minutos la humedad requerida, se omitió el método de la estufa, ya que este requiere de 1 hora y 40 minutos para determinar la humedad. Además que la termobalanza según estudios está aprobada, puesto que es un método automático, la muestra no es removida y por tanto el error de peso es mínimo y recomendable para la investigación. Una vez identificado el porcentaje de humedad se acondicionó el trigo utilizando la fórmula oficial de la AACC (Asociación Americana de Químicos Cerealistas) indicada en la ecuación 2:

$$\text{Cantidad de agua} = \frac{(X-Y)*W}{X-100} \quad (2)$$

Donde:

X = humedad que se requiere alcanzar.

Y = Humedad de la muestra a acondicionar.

W = Peso de la muestra a acondicionar, en gramos.

Posteriormente el trigo se acondiciona para alcanzar una humedad de 15.5% y se almacena durante 24 horas en frascos de polietileno transparentes (24 frascos) (Figura 4.4). Cada seis horas se tomó una pequeña muestra de 10 gramos de trigo para determinar el porcentaje de humedad mediante la utilización de un molino y una termobalanza.

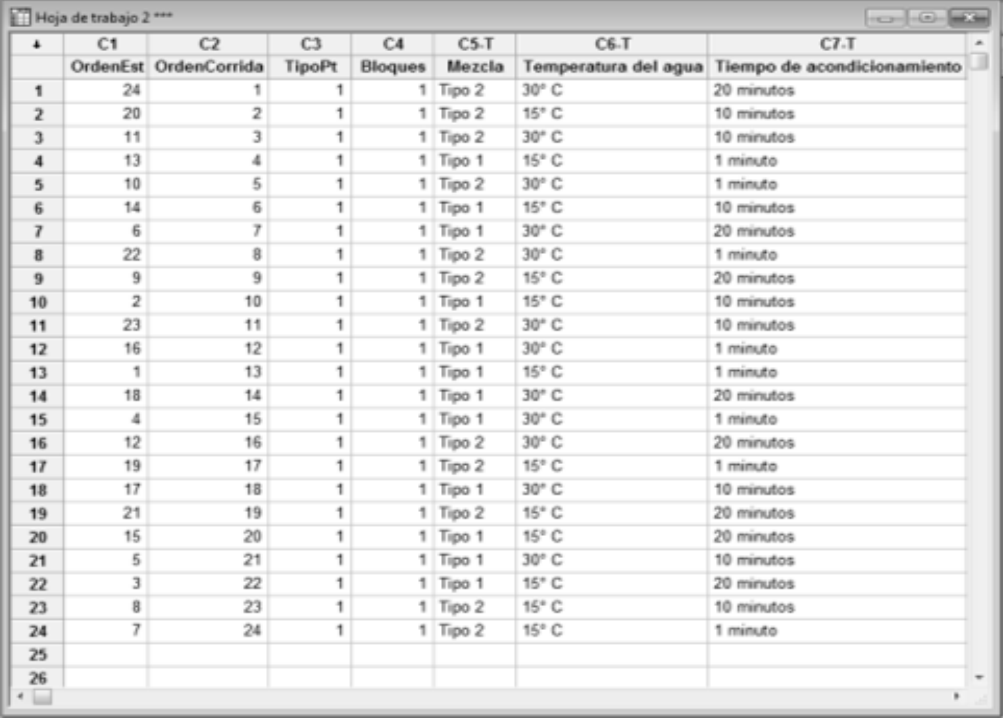


Figura 4.4. Simulación de almacén en frascos de polietileno transparente.

Una vez acondicionada la muestra y registrado la información sobre el proceso de absorción de agua, las muestras se molieron en un molino experimental Quadrumat junior, el cual separa la harina del salvado. Seguido se realizaron las pruebas químicas, como son el porcentaje de humedad y el porcentaje de cenizas en la harina.

4.3.3. Análisis de los resultados

En la Figura 4.5 se puede observar la tabla de combinaciones de los niveles tomados en cuenta para los tres factores (mezclas, temperatura del agua y tiempo de acondicionamiento), así como el orden aleatorio de las corridas creadas en Minitab 16.



	C1	C2	C3	C4	C5-T	C6-T	C7-T
	OrdenEst	OrdenCorrida	TipoPt	Bloques	Mezcla	Temperatura del agua	Tiempo de acondicionamiento
1	24	1	1	1	Tipo 2	30° C	20 minutos
2	20	2	1	1	Tipo 2	15° C	10 minutos
3	11	3	1	1	Tipo 2	30° C	10 minutos
4	13	4	1	1	Tipo 1	15° C	1 minuto
5	10	5	1	1	Tipo 2	30° C	1 minuto
6	14	6	1	1	Tipo 1	15° C	10 minutos
7	6	7	1	1	Tipo 1	30° C	20 minutos
8	22	8	1	1	Tipo 2	30° C	1 minuto
9	9	9	1	1	Tipo 2	15° C	20 minutos
10	2	10	1	1	Tipo 1	15° C	10 minutos
11	23	11	1	1	Tipo 2	30° C	10 minutos
12	16	12	1	1	Tipo 1	30° C	1 minuto
13	1	13	1	1	Tipo 1	15° C	1 minuto
14	18	14	1	1	Tipo 1	30° C	20 minutos
15	4	15	1	1	Tipo 1	30° C	1 minuto
16	12	16	1	1	Tipo 2	30° C	20 minutos
17	19	17	1	1	Tipo 2	15° C	1 minuto
18	17	18	1	1	Tipo 1	30° C	10 minutos
19	21	19	1	1	Tipo 2	15° C	20 minutos
20	15	20	1	1	Tipo 1	15° C	20 minutos
21	5	21	1	1	Tipo 1	30° C	10 minutos
22	3	22	1	1	Tipo 1	15° C	20 minutos
23	8	23	1	1	Tipo 2	15° C	10 minutos
24	7	24	1	1	Tipo 2	15° C	1 minuto
25							
26							

Figura 4.5. Combinaciones de los niveles

Se analizaron y registraron las muestras (Tabla 4.7) por medio de Excel y Minitab 16, estudiando y evaluando la información obtenida y así poder establecer aquellos factores críticos que influyen en el acondicionamiento y poder conocer el comportamiento del mismo sistema.

Los valores del porcentaje de humedad representan las 24 corridas realizadas mediante las pruebas experimentales, las cuales fueron registradas cada seis horas, las 0 horas fue la humedad de entrada, siendo estas las variables de repuesta. Así mismo se monitoreó el porcentaje de humedad que se obtiene en el transcurso del tiempo teniendo en cuenta que 24 horas es el tiempo ideal para que el grano de trigo absorba el agua agregada.

Orden	0	6	12	18	24	% HUMEDAD	% CENIZAS
24	8.99	15.4	15.47	15.1	15.05	14.72	0.585
20	8.99	14.85	15.18	14.49	14.89	15.04	0.549
11	8.99	14.47	14.97	14.97	14.58	15.06	0.531
13	8.3	14.5	14.56	15.02	14.28	14.78	0.494
10	8.99	14.25	14.50	14.77	13.83	15.04	0.517
14	8.3	14.53	14.82	15.09	14.34	14.22	0.519
6	8.3	14.81	14.73	14.68	14.63	15.07	0.497
22	8.99	14.69	14.56	14.44	14.24	14.35	0.554
9	8.27	14	14.17	13.26	13.9	15	0.489
2	8.69	13.34	14.67	14.1	14.43	15.1	0.523
23	8.27	14.41	13.82	14.14	14.07	14.87	0.49
16	8.69	14.25	15.19	14.41	13.7	15.22	0.501
1	8.69	14.1	14.57	14.85	14.25	15.13	0.492
18	8.52	13.16	14.7	13.57	13.9	14.49	0.508
4	8.52	13.21	14.61	13.29	13.32	14.4	0.496
12	8.27	13.85	14.14	14.1	13.47	14.64	0.487
19	8.39	12.7	14.69	13.98	13.18	14.69	0.528
17	8.56	13.56	14.78	13.9	13.83	15.01	0.494
21	8.33	13.6	14.81	14.19	13.96	14.74	0.504
15	8.56	13.1	14.44	14.86	14.13	14.31	0.496
5	8.28	13.61	14.8	14.14	14	15.18	0.478
3	8.28	13.74	15.16	14.63	14.18	15.39	0.476
8	8.27	13.36	15.01	13.86	13.63	15.17	0.49
7	8.27	12.76	14.28	13.67	13.09	14.99	0.497

Tabla 4.7. Resultados del primer diseño experimental

En la Figura 4.6 se muestra el comportamiento del porcentaje de humedad con base a los dos mezclas utilizadas en el experimento con un tiempo de absorción similar de aproximadamente 12 horas, durante el cual el trigo alcanzó su máxima humedad y posterior a ello empezó a decrecer el porcentaje.

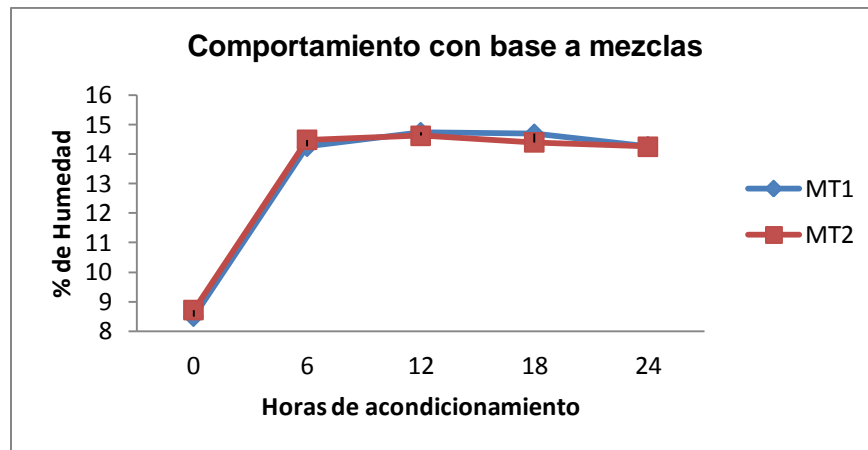


Figura 4.6. Gráfico curva de absorción de agua mediante las mezclas.

Así mismo se analizó el comportamiento del trigo para el periodo de absorción de agua con respecto a la temperatura de la misma mostrado en la Figura 4.7, para la cual se utilizaron dos temperaturas: un acondicionamiento a 15°C y uno a 30°C al momento de lavar el trigo, donde se observó que al igual que en las mezclas el rango de absorción similar máxima oscilaba entre las 6 a 12 horas.

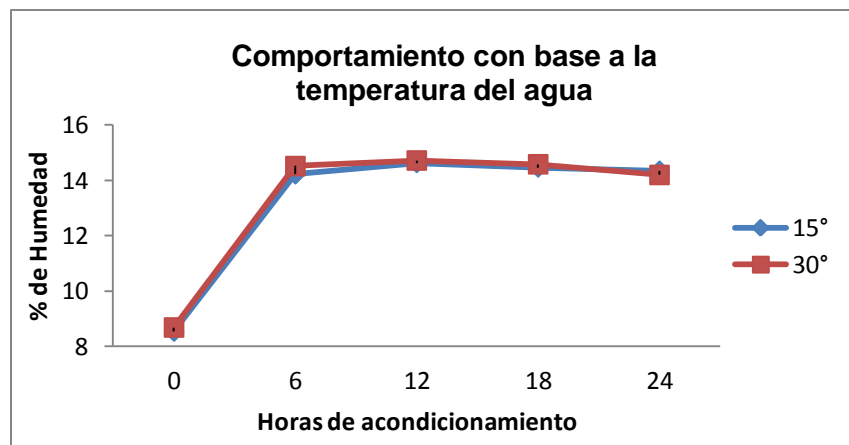


Figura 4.7. Gráfico curva de absorción mediante la temperatura del agua.

Por último se realizó un análisis para el comportamiento del trigo en relación a la cantidad de agua absorbida, pero por grupos con base al tiempo de agitación (Figura 4.8), teniendo en cuenta que para 1 minuto de agitación, entre seis a 12 horas el trigo llegó a su humedad máxima, sin embargo al transcurrir las 24 horas el porcentaje de humedad tendía a disminuir. Similar pasa para los 10 minutos el trigo alcanzó los niveles requeridos de humedad, además de que permaneció

constante; por su parte cuando el tiempo de agitación fue de 20 minutos, el trigo se agitó demasiado y no tuvo buenos efectos sobre la humedad final.

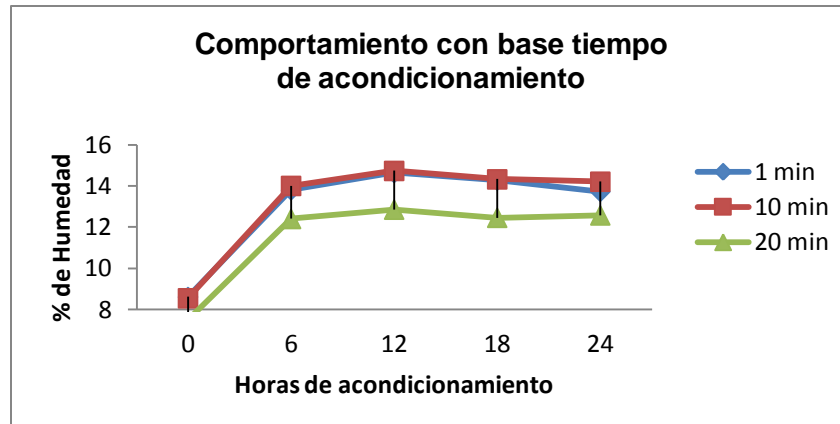


Figura 4.8. Grafica curva de absorción con base al tiempo de acondicionamiento.

Posteriormente se realizó un análisis estadístico, haciendo la recopilación de la información con base a los experimentos realizados en el molino piloto. Se realizó una validación de los supuestos del modelo en el ANOVA para igualdad de varianzas y pruebas de normalidad. Para la igualdad de varianzas se utilizó la prueba de Bartlett (Figura 4.9), en la cual se comprobó que todas las muestras provienen de una población con una varianza similar, dado que valor P resultó ser mayor a 0.05.

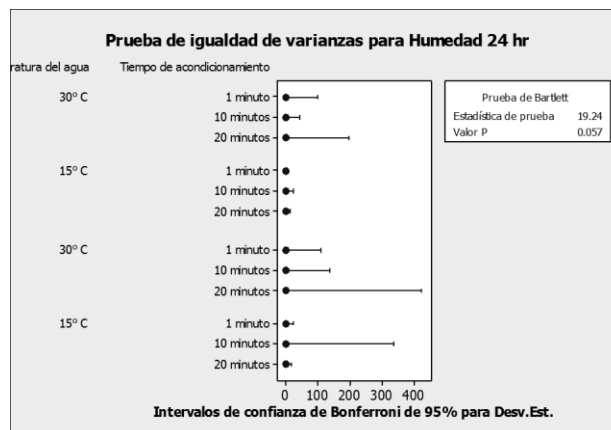


Figura 4.9. Prueba de igualdad de varianza para 24 horas de acondicionamiento.

Otro supuesto es el de normalidad la de los datos la cual se realizó mediante la prueba de Anderson Darling con un nivel de confianza de 95% (Figura 4.10), en la cual se comprobó que no se puede rechazar la hipótesis de normalidad.

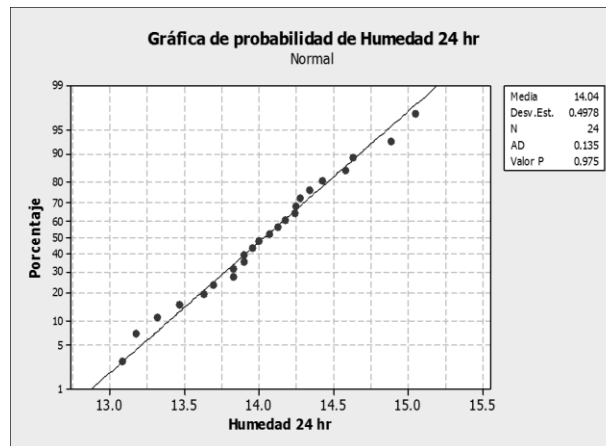


Figura 4.10. Análisis de normalidad para 24 horas de acondicionamiento

Una vez establecidos los supuestos de igualdad de varianza y normalidad, se realizó un análisis formal a través del ANOVA (Tabla 4.8) a fin de verificar estadísticamente con un nivel de confianza de 95% los efectos que influyen significativamente en la respuesta. Las réplicas realizadas sobre las interacciones permitirá calcular el error; considerando un efecto estadísticamente significativo cuando el valor P del factor es menor a 0.05.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Suma de cuadrados ajustada	Promedios cuadrados ajustados	Valor F	Valor P
Mezcla	1	0.0504	0.0504	0.0504	0.23	0.640
Temperatura del agua	1	0.0054	0.0054	0.0054	0.02	0.878
Tiempo de acondicionamiento	2	1.1019	1.1019	0.5510	2.52	0.122
<i>Mezcla*Temperatura del agua</i>	1	0.9680	0.9680	0.9680	4.43	0.057
Mezcla*Tiempo de acondicionamiento	2	0.1997	0.1997	0.0998	0.46	0.644
Temperatura del agua*Tiempo de acondicionamiento	2	0.1839	0.1839	0.0920	0.42	0.666
Mezcla* Temperatura del agua*Tiempo de acondicionamiento	2	0.5688	0.5688	0.2844	1.30	0.308
Error	12	2.6208	2.6208	0.2184		
Total	23	5.6989				

Tabla 4.8. Análisis de varianza de los datos de 24 horas de reposo

El análisis muestra que la mezcla, la temperatura del agua y el tiempo de acondicionamiento no presentan un efecto relevante sobre el acondicionamiento, es decir, no tiene un impacto para el comportamiento de la humedad final, transcurridas las 24 horas de reposo; sin embargo se tiene que analizar a detalle para ver cuál podría ser un fuente de variación que presente mayor impacto en este proceso. Así mismo dentro de las combinaciones, la referente a la mezcla y temperatura del agua presenta un efecto importante, por tanto se debe estudiar a detalle estos factores.

Con base a los resultados obtenidos en los experimentos se propuso la planeación y ejecución de un segundo diseño experimental, que permitiera evaluar el comportamiento y ver el grado de afectación de tres variables. Para este segundo diseño no se tomó en cuenta la variable mezcla, puesto que es un factor que no se podía controlar, mediante platicas informales con el encargado del departamento de calidad se llegó a la conclusión de que las mezclas de trigo sería una variable omitida, puesto que existe un sin número de combinaciones posibles para realizar el producto, las cuales dependen en gran medida de las características del trigo entrante; y por ello no se podía establecer una mezcla en específico para trabajar con ella, así como tampoco una mezcla parecida o muy similar ya que no siempre se encuentran disponibles las cantidades exactas de las variedades de trigo para elaborar un producto y estas mismas mezclas cambian en función a los requerimientos del cliente. Sin embargo, existía dos variables que sí se podría controlar, que era la temperatura del agua y el tiempo de agitación que se le daba al trigo ya acondicionado, por tal motivo para el segundo diseño se siguió con estas últimas variables.

4.3.4. Planeación y diseño del segundo DOE

Una vez analizados los resultados según el análisis de los factores importantes o claves dentro del proceso de acondicionamiento de trigo, se tiene al tiempo de reposo y al tiempo de agitación, las mezclas fueron parámetros omitidos puesto que siempre se está trabajando con las mismas en constante cambio según las características del trigo entrante, llegando a un punto donde no se pueden fijar.

Con base a los resultados obtenidos es necesario realizar otro análisis a los factores de mayor incidencia creando un segundo diseño experimental, el cual se planeó en la Tabla 4.9.

Componentes de DOE	Representación								
Respuesta de salida: mide como resultado del experimento y se usa para juzgar los efectos.	Porcentaje de humedad final								
Factores: representan las variables de entrada del proceso a diferentes niveles.	A. Tiempo de reposo B. Temperatura del agua C. Tiempo de agitación								
Niveles: Los valores establecidos para cada factor.	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Factor</th> <th>Nivel</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Tiemp. reposo</td> <td>6hrs 12hrs</td> </tr> <tr> <td>Temp. agua</td> <td>15°C 30°C</td> </tr> <tr> <td>Tiemp. agitación</td> <td>10min 20min</td> </tr> </tbody> </table>	Factor	Nivel	Tiemp. reposo	6hrs 12hrs	Temp. agua	15°C 30°C	Tiemp. agitación	10min 20min
Factor	Nivel								
Tiemp. reposo	6hrs 12hrs								
Temp. agua	15°C 30°C								
Tiemp. agitación	10min 20min								
Pruebas o corridas experimentales: las combinaciones de pruebas específicas de factores y niveles que se corren durante el experimento.	Diseño factorial 2 ³ Doble réplica								

Tabla 4.9. Planeación del segundo DOE

4.3.5. Ejecución de un segundo DOE

Para la realización del análisis al segundo diseño factorial, se estableció primeramente el cumplimiento de los supuestos mediante el análisis de la varianza (Figura 4.11) cumpliendo con los mismos.

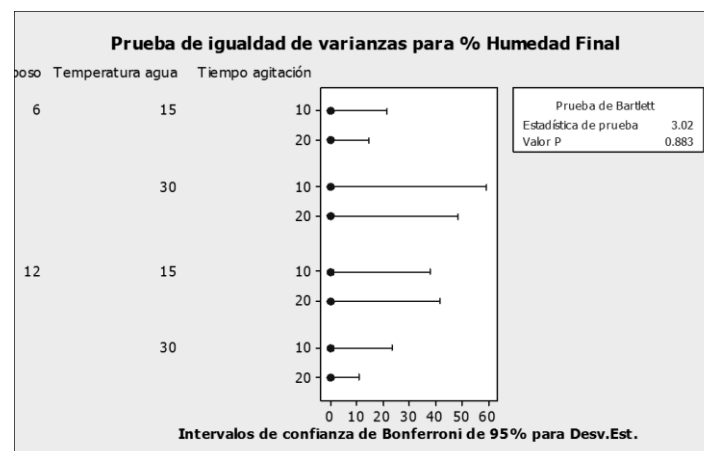


Figura 4.11. Prueba de igualdad de varianzas para humedad final.

Seguido el supuesto de la normalidad de los datos, el cual indica en la Figura 4.12, que los datos siguen una distribución de probabilidad normal.

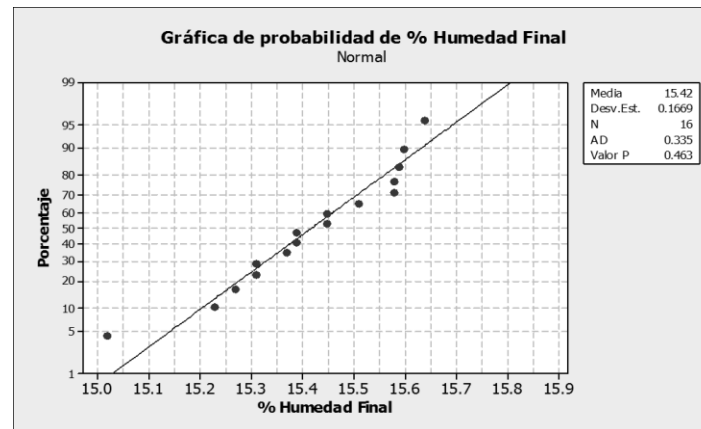


Figura 4.12. Análisis de normalidad para humedad final.

A su vez ya establecidos los supuestos de igualdad de varianza y normalidad, se realizó el ANOVA (Tabla 4.10) teniendo en consideración un efecto estadísticamente significativo cuando el valor P del factor es menor a 0.05.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Suma de cuadrados ajustada	Promedios cuadrados ajustados	Valor F	Valor P
Efectos principales	3	0.101319	0.101319	0.033773	1.69	0.246
Tiempo reposo	1	0.016256	0.016256	0.016256	0.81	0.394
Temperatura agua	1	0.033306	0.033306	0.033306	1.66	0.233
Tiempo agitación	1	0.051756	0.051756	0.051756	2.59	0.146
2° orden (interacciones)	3	0.145969	0.145969	0.048656	2.43	0.140
Tiempo reposo * Temperatura agua	1	0.020306	0.020306	0.020306	1.01	0.343
Tiempo reposo * Tiempo agitación	1	0.001406	0.001406	0.001406	0.07	0.798
Temperatura agua * Tiempo agitación	1	0.124256	0.124256	0.124256	6.21	0.037
3° orden (interacciones)	1	0.010506	0.010506	0.010506	0.53	0.489
Tiempo reposo * Temperatura agua * Tiempo de agitación	1	0.010506	0.010506	0.010506	0.53	0.489
Error residual	8	0.160050	0.160050	0.020006		
Error puro	8	0.160050	0.160050	0.020006		
Total	15	0.417844				

Tabla 4.10. Análisis de varianza de los datos de humedad final.

De acuerdo al análisis realizado para la humedad final del acondicionamiento al trigo, se obtuvo suficiente evidencia estadística para concluir que dentro del orden de interacción entre la temperatura del agua y el tiempo de agitación se puede predecir un mejor comportamiento en relación al proceso de acondicionar al grano previo a la molienda, es decir mediante ajustes entre estos dos parámetros se podrá encontrar soluciones óptimas que permitan llegar al grado de humidificación requerido para el grano.

Una vez acondicionadas las muestras de trigo, se molieron y se obtuvo el porcentaje de humedad en harina así como el porcentaje de cenizas contenido en la harina blanca. Posterior a ello se analizó la información recabada, planteando los resultados en la Tabla 4.11.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Suma de cuadrados ajustada	Promedios cuadrados ajustados	Valor F	Valor P
Tiempo reposo	1	0.000312	0.000312	0.000312	0.03	0.883
Temperatura agua	1	0.003613	0.003613	0.003613	0.40	0.642
Tiempo agitación	1	0.000112	0.000112	0.000112	0.01	0.930
Tiempo reposo * Temperatura agua	1	0.025313	0.025313	0.025313	2.78	0.344
Tiempo reposo * Tiempo agitación	1	0.007812	0.007812	0.007812	0.86	0.524
Temperatura agua * Tiempo agitación	1	0.003613	0.003613	0.003613	0.40	0.642
Error	1	0.009113	0.009113	0.009113		
Total	7	0.049888				

Tabla 4.11. Análisis de varianza de los datos de humedad en harina.

Según el análisis realizado se dice que ninguno de los factores presenta un efecto significativo sobre la humedad en la harina, lo que indica que estos factores no afectan al producto cuando se acondiciona al grano bajo ciertos parámetros. No obstante, también se realizó un análisis al porcentaje de cenizas contenido en las muestras experimentales, dicho análisis se muestra en la Tabla 4.12.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Suma de cuadrados ajustada	Promedios cuadrados ajustados	Valor F	Valor P
Tiempo reposo	1	0.0000500	0.0000500	0.0000500	4.00	0.295
Temperatura agua	1	0.0000320	0.0000320	0.0000320	2.56	0.356
Tiempo agitación	1	0.0001445	0.0001445	0.0001445	11.56	0.182
Tiempo reposo * Temperatura agua	1	0.0002000	0.0002000	0.0002000	16.00	0.156
Tiempo reposo * Tiempo agitación	1	0.0003645	0.0003645	0.0003645	29.16	0.117
Temperatura agua * Tiempo agitación	1	0.0000125	0.0000125	0.0000125	1.00	0.500
Error	1	0.0000125	0.0000125			
Total	7	0.0008160				

Tabla 4.12. Análisis de varianza de los datos de humedad en el porcentaje de cenizas.

No existe suficiente evidencia estadística para expresar que algunos de los factores establecidos tienen algún impacto sobre el porcentaje de ceniza en la harina. Con estos resultados se podrá inferir en que los factores temperatura del agua y el tiempo de agitación sí fueron críticos para el proceso de acondicionamiento logrando encontrar resultados óptimos.

El análisis mostrado en la Tabla 4.10 establece que al interactuar la temperatura del agua con el tiempo de agitación se podrán encontrar parámetros óptimos que permitan al proceso de acondicionamiento mantenerse dentro de rangos específicos de control. Mediante el análisis del diseño experimental se logró localizar los tratamientos de impacto, después de ello se utilizó gráficos de contorno de la metodología de superficie de respuesta (Figura 4.13) la cual permitió localizar las condiciones óptimas de operación del proceso del acondicionamiento conjugando dos factores de importancia del estudio, así como inspeccionar de manera visual la respuesta promedio para cierta zona de los niveles de los factores de interés y evaluar su sensibilidad a dichos factores.

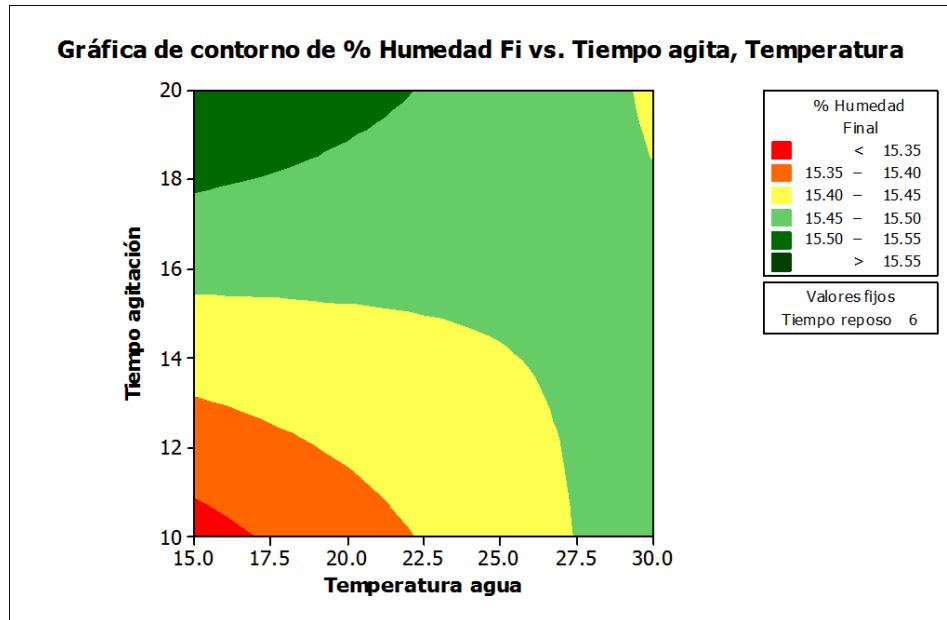


Figura 4.13. Gráfica de contorno para un tiempo de reposo de 6 horas.

La gráfica de contorno indica que dentro de la zona verde claro se podrán encontrar combinaciones de parámetros óptimos capaces de llegar a los 15.5 % de humedad requerida. Esto es al acondicionar a temperaturas entre 27° y 30° el grano alcanza su humedad teniendo entre 10 – 18 minutos de agitación por un tiempo de reposo de seis horas. Así mismo, se realizó una gráfica de superficie de respuesta (Figura 4.14) para las 12 horas de reposo correspondientes.

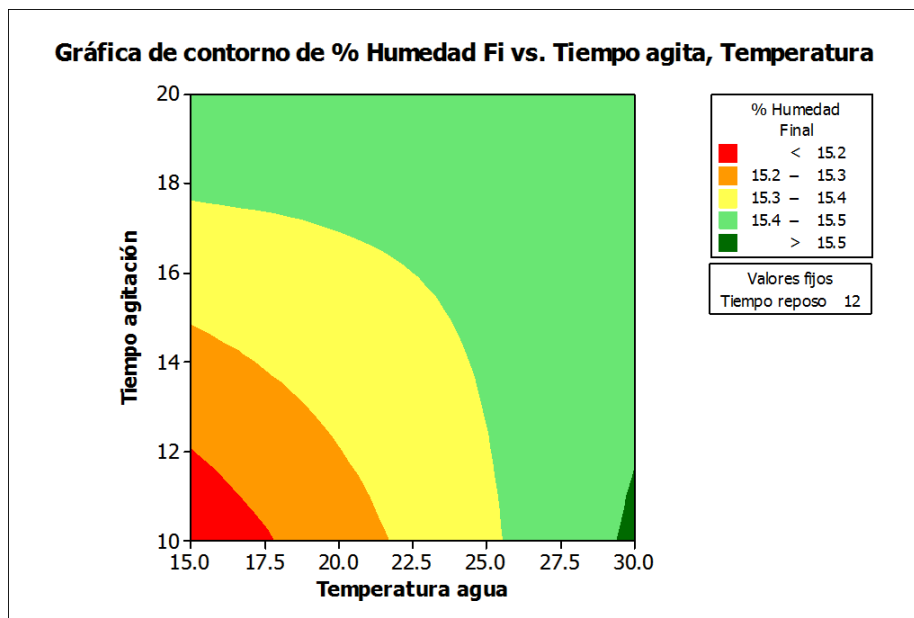


Figura 4.14. Gráfica de contorno para un tiempo de reposo de 12 horas.

La gráfica de contorno para 12 horas indica que manejando parámetros de temperatura de agua entre 26° y 30°, con tiempo de agitación desde 10 a 20 minutos se podrá llegar al punto óptimo donde el grano de trigo absorba la humedad requerida y llegue a un 15.5% en este caso.

En ambas gráficas se puede observar que al acondicionar bajo condiciones constantes de temperatura de los 26°C a los 30°C se puede lograr mantener la humedad final del trigo en un 15.5% con el tiempo de agitación mínimo y con ello lograr el estado físico necesario del grano para entrar a molienda.

4.4. Fase 4: Mejora

Una vez analizados los datos de la etapa anterior, se generará una tabla con los valores que están cumpliendo con los rangos propuestos y se procederá a la validación de los mismos, con el fin de tener bases de cómo manejar el proceso bajo condiciones óptimas y procesos de acondicionamiento.

4.4.1. Establecer parámetros

Dados los diseños experimentales realizados se tienen dos caminos a seguir para acondicionar el trigo, con base a 6 horas de reposo o acondicionar el trigo con base a 12 horas. Sin embargo, en ambos análisis la temperatura ideal de acondicionamiento fue mayor a 26°, para obtener en menor tiempo el contenido de agua ideal en el grano. La Tabla 4.13 muestra en resumen algunos de los parámetros de acondicionamiento propuestos:

Temperatura del agua	Tiempo de acondicionamiento	% de Humedad deseado
26°	12 min	15.5%
	14 min	
	16 min	
	18 min	
	20 min	

Tabla 4.13. Parámetros al acondicionar

Esto es mientras la temperatura del agua se maneje a 26° centígrados y menor a 30° al momento de acondicionar, el grano de trigo absorberá más rápido el líquido, logrando que el tiempo de reposo disminuya y el trigo esté listo para entrar a molienda, sin importar el tiempo de agitación, puesto que el porcentaje de humedad final se mantiene constante utilizando estos parámetros de temperatura del agua. Sin embargo, si se pretende dejar reposar demasiado tiempo al grano con la misma temperatura de agua, el grano incrementará el porcentaje, debido a las altas temperaturas y será demasiado húmedo para molerse, lo que ocasionaría desperfectos en los bancos de molienda. No obstante, debido a la cantidad de 13 toneladas aproximadamente de trigo durante el acondicionamiento, la empresa maneja tres tiempos de reposo, en el primero logrando llegar a un 60% de la humedad requerida para la molienda, en el segundo reposo el objetivo es obtener un 85% de humedad y por último el tercer reposo se pretende llegar a un 100% de la humedad requerida para molienda.

4.4.2. Rediseño al proceso de acondicionamiento

Actualmente el sistema se maneja en tres reposos para llegar al grado de contenido de humedad ideal en el grano, sin embargo el tercer reposo, funciona como una medida de corrección sobre la marcha, puesto que ahí se manipula el trigo con base de los resultados obtenidos durante los dos acondicionamientos anteriores, no obstante, se cree que se podría trabajar solamente con dos reposos, manteniendo en control estos y permitiendo que el trigo resulte con los parámetros necesarios para entrar a molienda.

El nuevo sistema de acondicionamiento (Figura 4.15) consta de un primer lavado, en el cual llega el trigo entrante es acondicionado pasando a su respectivo reposo, posterior las horas reposadas el trigo entra al segundo lavado, para después ser reposado en las tolvas indicadas. Seguido el trigo ya acondicionado pasa a los bancos de molienda.

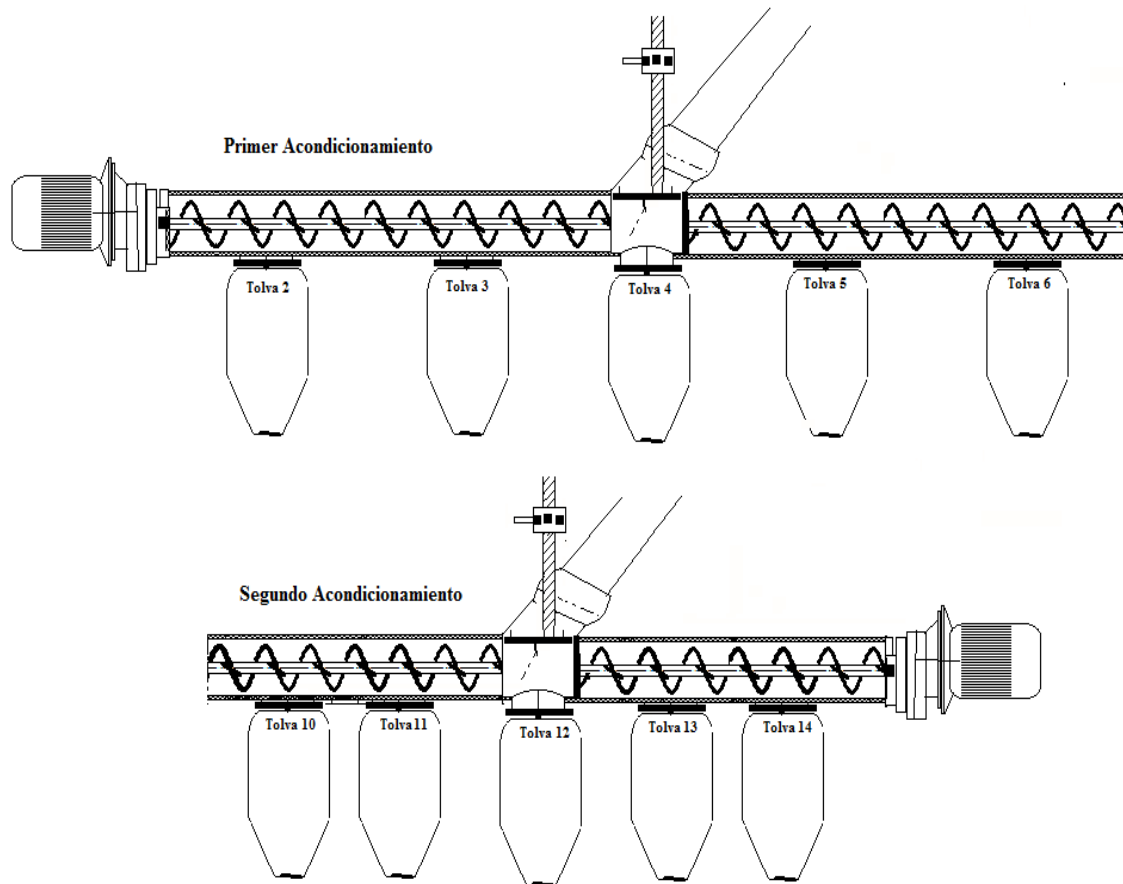


Figura 4.15. Sistema de acondicionamiento con base a dos reposos.

Para el nuevo sistema de acondicionamiento, se han agregado algunos otros equipos necesarios para monitorear el sistema, tales como:

1. Equipo para tratamiento de agua. Mantener el agua entre 26°C y los 30°C necesarios para que el tiempo en el que grano de trigo tarde en absorber el agua sea menor y sea apto para poder molerse.
2. Sistema de monitoreo del flujo de agua. Se propone colocar un flujómetro (Figura 4.16) en los tubos de alimentación de agua, a fin controlar la cantidad de agua entrante en relación a la cantidad de trigo acondicionada, de manera que sea más uniforme el sistema de roseo.



Figura 4.16. *Flujómetro ultrasónico híbrido.*

3. Termobalanza en el área de acondicionamiento. Debido a la vibración presentada dentro de la planta, las lecturas de las termobalanzas tienden a variar, la propuesta es colocar una mesa anti vibratoria (Figura 4.17) que permita que las lecturas sean lo más aproximado a la realidad, sin que la vibración presentada en el área no afecte la información.



Figura 4.17. *Mesa con control de vibración*

a) Descripción del primer acondicionamiento

La estructura del primer acondicionamiento como lo muestra la figura 4.18, consta de un depósito de preparación, una rosca helicoidal, un sistema de caída por gravedad, una llave de roseo, detectores de flujo, sistema de control de agua y cinco puertas divisoras hacia tolvas de reposo; que en conjunto la función es hacer que el trigo sea perfectamente mezclado con el agua, a manera que el grano se relacione con la cantidad de agua destinada para el mismo. Las roscas ayudan a que el trigo sea trasladado hacia las respectivas tolvas de reposo, orientadas por puertas de salida ubicadas en la parte inferior del depósito de acondicionamiento.

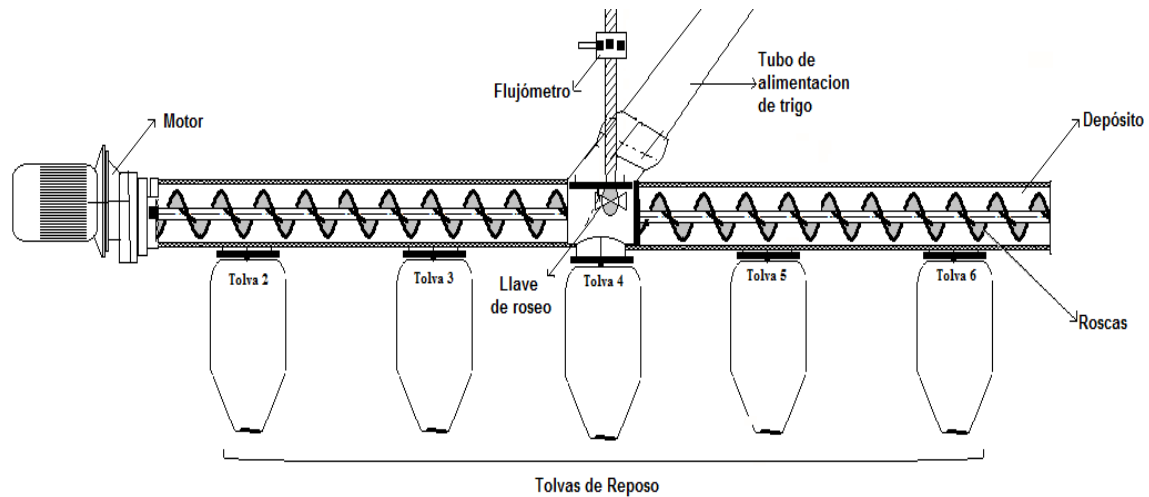


Figura 4.18. Primer sistema de acondicionamiento

Las instrucciones del acondicionamiento, serán:

1. Determinar el porcentaje de humedad entrante tomando una muestra de 150 gramos de trigo sucio directo del scarpel, moler la muestra en un molino de trituración de trigo seco y posterior analizar la muestra en la termobalanza de granos molidos.
2. Registrar el porcentaje de humedad requerido y buscar en las tablas de referencia (Anexo 1) la cantidad de agua necesaria para porcentaje de humedad resultante del primer paso.
3. Configurar el sistema de roseo, para el primer reposo con base a la cantidad de agua que requiera el lote a acondicionar.
4. Verificar la temperatura del agua que ésta se encuentre entre los 26°C y 30°C, necesarios para acondicionar el trigo.
5. Verificar que las roscas y el sistema del primer reposo funcione correctamente.
6. Iniciar el sistema de acondicionamiento.
7. Tomar muestras del control de flujo del agua, para monitorear el sistema de humidificación.
8. Una vez acondicionado el lote mandar a la tolva correspondiente para iniciar el reposo de 12 horas.
9. El departamento de calidad tomará una muestra significativa del lote en reposo, para analizar la curva de absorción del agua que está tomando el trigo y mantener en control los porcentajes requeridos.

10. Trascorridas las 12 horas de reposo, se determina el porcentaje de humedad del trigo, y se prepara la muestra para el siguiente lavado.

11. Se registra y archiva el reporte diario de acondicionamiento.

b) Descripción del segundo acondicionamiento

Al igual que el primer acondicionamiento, se muestra en la Figura 4.19 el segundo sistema, que consta del depósito de preparación, rosca helicoidal, caída de trigo por gravedad, llaves de roseo, detectores de flujo, sistema de control de caída de agua y cinco puertas divisoras que conducen hacia las tolvas de reposo correspondientes, con ayuda de las roscas helicoidales.

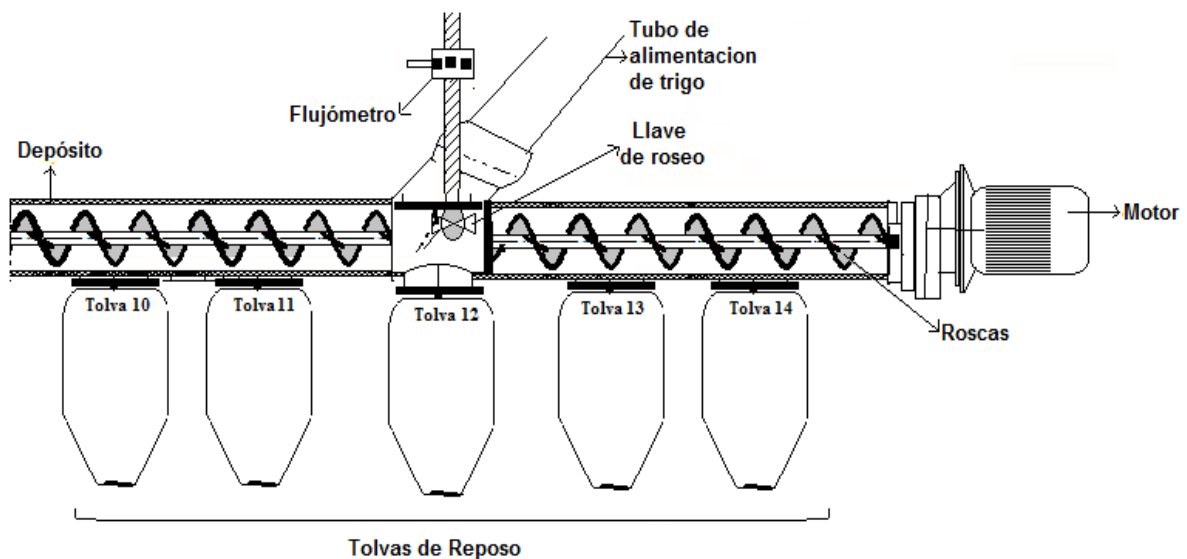


Figura 4.19. Segundo sistema de acondicionamiento

Dentro del segundo acondicionamiento, el objetivo principal será llevar el grano de trigo al porcentaje de humedad requerido para entrar a los bancos de molienda, el tiempo de reposo para este acondicionamiento será de 4 horas aproximadamente, dependiendo en gran medida del porcentaje de humedad del trigo entrante, proveniente del primer acondicionamiento. Pretendiendo manejar siempre estas horas de reposo para mantener en control del trigo. Las instrucciones para el segundo sistema de acondicionamiento, serán:

1. Determinar el porcentaje de humedad entrante tomando una muestra de 150 gramos de trigo proveniente del primer acondicionamiento, moler la muestra en un molino de trituración, y posterior analizar la muestra en la termobalanza de granos molidos.

2. Registrar el porcentaje de humedad requerido y buscar en las tablas de referencia (Anexo 1) la cantidad de agua necesaria para porcentaje de humedad resultante del primer paso.
3. Configurar el sistema de roseo, para el segundo reposo con base a la cantidad de agua que requiera el lote a acondicionar.
4. Verificar la temperatura del agua, que ésta se encuentre entre los 26°C y 30°C, necesarios para acondicionar el trigo.
5. Verificar que las roscas y el sistema del segundo reposo funcionen.
6. Iniciar el sistema de acondicionamiento.
7. Tomar muestras del control de flujo del agua para monitorear el sistema de humidificación.
8. Una vez acondicionado el lote mandar a la tolva correspondiente para iniciar el reposo de 4 horas.
9. Se tomará una muestra significativa del lote en reposo para analizar la curva de absorción del agua que está tomando el trigo y mantener en control los porcentajes requeridos.
10. Trascorridas las 4 horas de reposo se determina el porcentaje de humedad del trigo y se prepara la muestra para el siguiente lavado.
11. Se registra y archiva el reporte diario de acondicionamiento.

4.5. Fase 5: Control

En esta fase se lleva un plan de control del proceso basado en el análisis que se realizó en la fase cuatro, donde se establecieron las variables más influyentes y propuestas de solución, del mismo modo se establece formatos de seguimiento, a fin de mantener en monitoreo el sistema de acondicionamiento.

Es necesario que la empresa tome operaciones de autocontrol, es decir delegar al personal del área de acondicionamiento, para que adquiera responsabilidades sobre las labores realizadas, que elaboren los procesos de acuerdo a la referencia establecida y que cada operador tenga los mismos objetivos y se hable de atacar problemas con soluciones similares en sintonía. Para ello el operador debe de tener en cuenta tres aspectos importantes:

1. Sabe lo que debe hacerse. El operador debe tener en mente que él sabe lo que está haciendo a manera que él mismo sea el inspector del área de trabajo. A fin de garantizar su operación así como los resultados que obtendrá.
2. Prepara y asegura el área de trabajo. Cuando el operador asegura todos los factores que intervienen en la realización del producto o proceso, asegura el final de los mismos. Se asume que cuando los resultados obtenidos no han salido bien, es por consecuencia que la persona u operador no ha sabido, no ha podido o no ha querido realizarlo como de debe.
3. Puede tomar acciones correctivas. El operador debe ser capaz de resolver la problemática, siempre y cuando está esté a su alcance, dados los recursos y conocimiento con los que cuenta, pero cuando por el motivo que sea, el resultado del trabajo no es bueno y el operador no puede hacer nada más, se debe dar por aviso del suceso al encargado del área, con la finalidad de que este hecho sea corregido de inmediato. Una vez anunciado el problema, se registra el suceso se sigue y se gestionan así como la trazabilidad de los mismos, a manera de que quede un expediente de algún hecho ocurrido y la manera en que se dio solución.

4.5.1. Formato mantenimiento preventivo


El formato de mantenimiento preventivo tiene como objetivo conservar los equipos y asegurar el funcionamiento correcto del sistema de acondicionamiento, mediante la realización de una revisión y reparación periódica mediante un check-list, a fin de mantener un registro del estado del equipo de trabajo antes de iniciar las labores, un ejemplo del tal es mostrado en la Figura 4.26.

4.5.2. Procedimiento de verificación al sistema acondicionamiento

Es necesario establecer un plan de acciones correctivas que se puedan trabajar sobre la marcha, similares a las ya trabajadas por la empresa consistiendo en que si el trigo resulta demasiado húmedo del primer reposo, se podría disminuir la cantidad de agua a aplicar en el segundo u otra opción es no agregar agua y solo dejar reposar, para la que ya agregada llegué a su punto de absorción máximo.

Así mismo se propone un nuevo control diario de reporte de acondicionamiento, mostrado en la Figura 4.27, en el cual se registra los aspectos principales para el proceso de acondicionamiento, los cuales se describen como:

1. Origen del trigo: Mencionar de dónde proviene el trigo entrante y que porcentajes de cada bodega corresponden al lote próximo a acondicionar, de manera que se tenga un registro de que producto se elaboró así como de la trazabilidad del trigo entrante.
2. Litros/hora: Es una medida segura de tener un registro de la cantidad de agua aplicada en cada lavada.
3. Temperatura en tolva: Sirve como referencia que tanto aumentará de humedad el trigo, al encontrarse a temperaturas elevadas, el trigo tiende a sudar y por ello aumentar el porcentaje de humedad del grano.
4. Temperatura del agua. Como propuesta principal es importante mantener un control sobre la temperatura de agua que se aplica, a manera de mantener un registro sobre el comportamiento del grano al acondicionarse bajo condiciones similares.
5. Flujo del agua. Sírvese como medida de control para que el agua que se esté aplicando sea la indicada y la necesaria para el lote, tratando de mejorar con esta medida al sistema de roseo, que trabaje bajo condiciones similares para próximamente automatizar el sistema manual.
6. Horas de reposo. Como uno de los claros objetivos es disminuir el tiempo de reposo se requiere monitorear este aspecto, es decir, mantener una margen constante del tiempo destinado a ser reposado, que para el primero sea de 12 horas aproximadamente y para el segundo y último reposo, sea de 4 horas aproximadamente.

 MOLINO LA FAMA	MANUAL PARA ACONDICIONAMIENTO DE TRIGO	Revisión
	REPORTE DIARIO CONTROL DE ACONDICIONAMIENTO	

DÍA:	MES:	AÑO:
-------------	-------------	-------------

PRIMER LAVADO								
Origen Bodega	1	2	3	4	5	6	SILO 1	SILO 2
Hora de entrada:	% Humedad entrante:			Temp. en Tolva:				
Lote:	Litros/hora:			Temp. del agua:				
Producto:	% Humedad salida:			Temp. Ambiente:				
<i>Lavador:</i>						Flujo de agua:		

SEGUNDO LAVADO						
Origen Tolva	2	3	4	5	6	
Hora de entrada:	% Humedad entrante:			Temp. en Tolva:		
Lote:	Litros/hora:			Temp. del agua:		
Producto:	% Humedad salida:			Temp. Ambiente:		
<i>Lavador:</i>					Flujo de agua:	

Observaciones:

 Producción

 Calidad

Figura 4.21. Formato reporte diario de control de acondicionamiento

Así mismo se propone la realización de un gráfico de control con base a medidas individuales que permita mantener en constante monitoreo al sistema de acondicionamiento de trigo, registrando en gran medida el porcentaje de humedad final para cada reposo, permitiendo al departamento de calidad mantener un control sobre el mismo, logrando acatar medidas preventivas o en su caso correctivas del sistema así como tener evidencia sobre la problemática resultante para próximos incidentes. El gráfico propuesto corresponde a la gráfica mostrada en la Figura 2.28.

Lote número	Lote x	Lote x	Lote x	Lote x	Lote x	Lote x	. . .	Lote x	Lote x
Promedio Humedad	0	0	0	0	0	0	. . .	0	0
Media	15.50	15.50	15.50	15.50	15.50	15.50	. . .	15.50	15.50
Desviación	0	0	0	0	0	0	. . .	0	0
Limite Superior	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	. . .	16.00	16.00
Límite Inferior	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	. . .	15.00	15.00

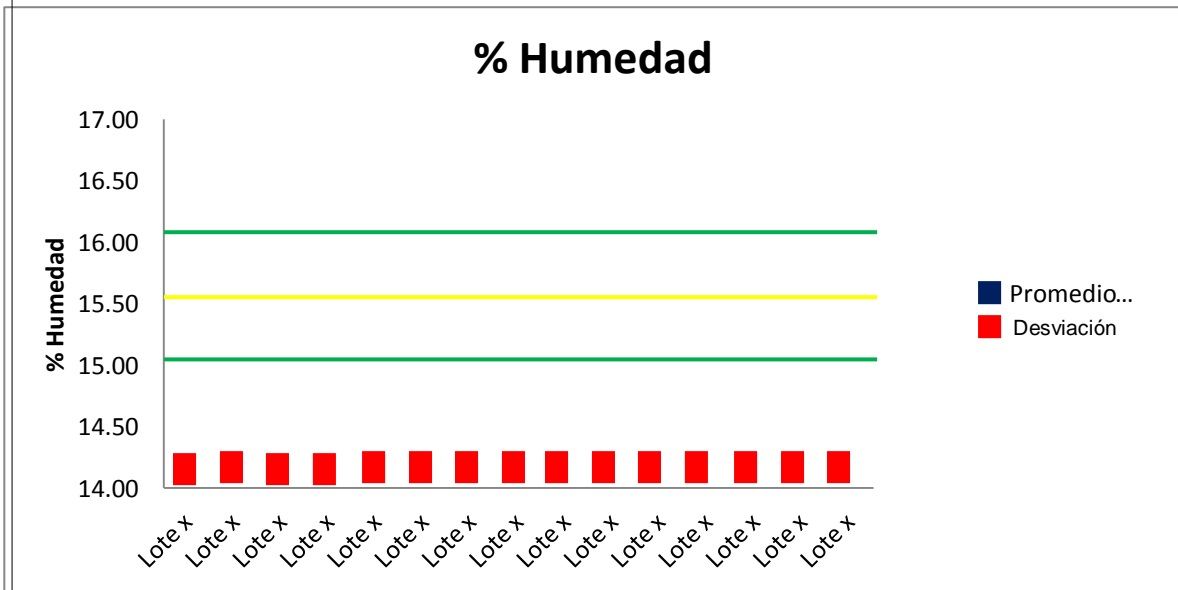


Figura 4.22. Gráfica de control para datos individuales.

La idea del gráfico de control es que sea trabajada por los agentes de aseguramiento de calidad, y que ésta misma herramienta sirva como un resumen del día, entregado al gerente de calidad. Así mismo asegurar que el personal este informado del funcionamiento e interpretación del gráfico.

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS.

En el presente capítulo se plasman las conclusiones obtenidas de la realización del trabajo, a su vez se establecen recomendaciones en beneficio de la empresa, con el objetivo de optimizar las mejoras propuestas mediante el desarrollo de la metodología Seis Sigma, así mismo se presentan trabajos futuros a realizarse, que apoyen y fortalezcan al proceso de acondicionamiento.

5.1. Conclusiones

Con base a lo expuesto en el trabajo se logró responder al objetivo general del proyecto ya que se implementó la metodología Seis Sigma definiendo la problemática, se midió el desempeño bajo el cual trabaja el proceso de acondicionamiento además de valorar qué medir y cómo hacerlo, se analizaron las causas de variación así como propuestas para mejorar y controlar el proceso. De manera que en conjunto estas etapas ayudaron a encontrar aquellos parámetros que causaban efectos sobre el proceso de acondicionamiento de trigo, mismos que impiden que el proceso de molienda fuera óptimo. Se localizaron tres parámetros que se pueden manipular, sin embargo solo dos de ellos representan un efecto crítico en el proceso de acondicionar el grano.

Partiendo de la metodología se logró simular el proceso mediante un molino experimental, cabe destacar que los resultados del análisis piloto muestran, que a pesar de que es un molino experimental, tiene muchas semejanzas y brinda buenos resultados en comparación con un molino convencional, sin embargo se tiene que trabajar bajo las mismas condiciones, como por ejemplo el calor que existe dentro del edificio y el generado por las máquinas, así como las distancias que el trigo recorre creando calor por fricción antes y después de ser triturado. Teniendo en cuenta las consideraciones presentadas y el equipo experimental utilizado, se puede decir que la molienda en planta piloto brinda buena información relativa al futuro comportamiento del trigo en una molienda en escala industrial.

El desarrollo de la metodología logró de igual manera, realizar un análisis profundo al sistema de acondicionamiento y encontrar puntos críticos de control que pueden mejorarse, se logró además conjugar la metodología HACCP que permitiera concluir y realizar el análisis del sistema tomando en cuenta los puntos críticos que afectan la inocuidad de la harina. Seis sigma, con base a las herramientas utilizadas, encaminó al proyecto a lograr obtener parámetros óptimos para acondicionar, estableciendo que sí se trabaja bajo ciertas condiciones como temperatura de agua a una temperatura constante de 26°C, el tiempo de reposo disminuiría, logrando con ello que el proceso se dividiera en dos etapas, y eliminar la tercera, provocando que minimizara el tiempo acondicionamiento el trigo, de 24 horas a 16 horas y a su vez se mantuviera una estandarización en tiempos de 12 para el primer reposo y de 4 para el segundo y último.

5.2. Recomendaciones

Durante el desarrollo de la investigación fueron detectadas algunas acciones que permitirán mejorar las operaciones realizadas dentro del proceso de acondicionamiento al trigo, para que de igual manera se encuentre apto para entrar a molienda:

1. Automatización del sistema de roseo. Dado que solo uno de los tres acondicionadores es automático se recomienda proporcionar el mismo equipo para el primer reposo, este equipo le permite a sistema, mantener un registro computarizado del comportamiento del trigo por lote, el funcionamiento del mismo, permite que el operador se dé cuenta de la cantidad de agua que se mandó a aplicar y que sea la correcta según las propiedades físicas del trigo entrante. Lo que hace esta maquinaria, es detectar mediante sondas infrarrojas el contenido de humedad del grano, una vez detectado prepara al sistema para arrojar el agua requerida para dicho lote.
2. Realizar mantenimiento preventivos periódicos. El área de neumático donde se encuentra el equipo de acondicionamiento, se necesita crear un sistema de mantenimiento periódico, que permita a la maquinaria mantenerse en buen estado y no tener que parar ocasionalmente el acondicionamiento por fallas

técnicas del equipo, esto permitirá asegurar el sistema bajo condiciones de control.

3. Realizar estudios R&R al sistema. Es indispensable que se realicen estudios al sistema, ya que el proceso de acondicionamiento se desarrolla mediante muchos subprocesos, los cuales son críticos e indispensables, como el sistema de roseo, el sistema de desinfección del agua, el sistema de descarga de trigo, lo ideal es verificar si realmente arroja la cantidad de trigo o la cantidad de agua que se requiere para cada acondicionamiento.
4. Llevar un análisis de la información (gráficos de control). Otro punto clave es el sistema de monitoreo y control, se recomienda llevar una bitácora de gráficos de control de rangos individuales que permita al encargado del área monitorear el proceso, ver cuándo y con qué lote se tuvieron alteraciones y observar las medidas correctivas que se tuvieron, así como mantener un historial del comportamiento del proceso a fin de estar en mejora continua con el mismo.

5.3. Trabajos futuros

Como trabajos futuros derivados de esta investigación pueden realizarse:

1. Estudio al sistema de recepción y limpia de trigo. Es necesario realizar un rediseño al proceso de recepción de trigo, para que cuando el grano entre al acondicionamiento este 100% libre de impurezas y no afecte al porcentaje de cenizas en la harina.
2. Certificar ante HACCP el proceso de acondicionamiento de trigo. Es necesario que toda la planta sea certificada ante HACCP, principalmente en el área de neumáticos, correspondiente al acondicionamiento de trigo, dado a las medidas de inocuidad que requiere la materia prima.
3. Estudio de costo - beneficio para automatizar el sistema. Un estudio más amplio sobre el beneficio que tendrá automatizar todo el sistema de acondicionamiento, a manera que sea más fácil poder monitorear así como poder corregir en caso de algún efecto.

6. REFERENCIAS

Agbenorku, P., 2013. Quality Assurance in Wound Management in a Developing Country: How Satisfied Are Our Patients. *Surgical Science*, 4, 1, pp. 39-44.

Aguilar, J., 2010. *Análisis del proceso de freído en una empresa elaboradora de frituras de harina de la región*. Tesis de Maestría, Instituto Tecnológico de Sonora.

Allendez, P., 2007. Certificado de calidad en la UCEMA: el camino hacia la mejora continua. *Biblios*, Issue 29, pp. 1-13.

Alpízar, M., 2007. Herramientas tecnológicas en el proceso de enseñanza y aprendizaje de la estadística. *Cuadernos de Investigación y Formación en Educación Matemática*, 2(3), pp. 99 - 118.

Bansal, G., Parashar, B. & Dhamija, H., 2013. The application of HACCP and risk management in the pharmaceutical process. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research* , 6(2), pp. 21 - 25.

Barrera, G. y otros, 2012. Efectos de diferentes fracciones de harinas de trigo pan obtenidas con molino industrial sobre la calidad de las galletas dulces. *AGRISCIENTIA*, 24(2), pp. 69 - 79.

Blind, K., Hipp, C., 2006. The role of quality standards in innovative service companies: An empirical analysis for Germany. *Technological Forecasting and Social Change*, 70 (7), pp. 653–669.

CANIMOLT, 2010. *Reporte estadístico*. Primera ed. México: Ediciones Canimolt.

CANIMOLT, 2012. *Reporte estadístico*. Primera ed. México: Ediciones Canimolt.

Chávez-Valencia, L., Hernández-Barriga, C. y Manzano-Ramírez, A., 2011. Modelo de envejecimiento de los pavimentos asfálticos con la metodología de superficie de respuesta. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 12(4), pp. 373 - 382.

Chikuku, T., Chinguwa, S. & Macheke, M., 2012. Evaluation of the Impact of Obtaining ISO 9001:2008 Quality Management System(QMS) Certification by Manufacturing Companies in Zimbabwe. *International Journal of Engineering Science and Technology*, IV(09), pp. 4168-4186.

De la Horra, A., Seghezze, M., Molfese, E., Ribotta, P. y León, A. 2012. *Indicadores de la calidad en las harinas de trigo: índice de calidad industrial y su relación con ensayos predictivos*. Agricientia, Vol. 29, No. 2, pp. 81 – 89

De la O, M. y otros, 2012. Calidad física del grano de trigos harineros (*Tricum aestivum* L.) mexicanos de temporal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(2), pp. 271 - 283.

El-Parai, E. y otros, 2013. Effect of different milling processes on Egyptian wheat flour properties and pan bread quality. *Annals of Agricultural Science*, 58(1), pp. 51 - 59.

Estepa, A., 2008. Interpretación de los diagramas de dispersión por estudiantes de bachillerato. *Investigación Didáctica*, 26(2), p. 257–270.

Félix, P., Ortiz, J., Quintana, G. & Grajeda, J., 2009. *Horas frío en relación al rendimiento de trigo. Áreas de producción del estado de Sonora*. Primera ed. Obregón: CEVY.

Fistes, A., Rakic, D. y Takaci, A. 2013. The function for estimating the separation efficiency of the wheat flour milling process. *Food Science Technology*, 50(3), pp. 609 – 614.

Galicia, F., 2008. Aplicación de un modelo de calidad “six sigma” para la reducción de costos en una empresa. Tesis de licenciatura. Instituto Politécnico Nacional.

Galinha, C., Carmo, M. & Pacheco, A., 2013. Elemental characterization of bread and durum wheat by instrumental neutron activation analysis. *J Radional Nucl Chem*, 293(2), pp. 221 - 226.

- Gamboa, M., Viquez, F. y Cubero, E., 2010. Utilización del método de superficie de respuesta para formular una base de banano (Musa AAA) para batidos. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 1 (1), p. 081-094.
- Gray, P. y Gray, X., 2011. Quality Controlled Government with Spherical Logic. *The International Journal of Interdisciplinary Social Sciences*, 5(10), pp. 1833-1882.
- Gutiérrez, N., Pastrana, E. & Katusca, J., 2011. Evaluación de prerequisites en el sistema HACCP en empresas del sector agroalimentario. *Revista EIA*, 15(1), pp. 33 - 43.
- Hkrita, 2009. Value Stream Mapping: Development of a Problem Solving model for the Hong kong Textiles and Clothing Industries. *Cloting training*, Proyect 1, 7.
- Ihmaidan, E., y Monardez, M., 2006. Análisis y estudio del contenido de humedad final de la madera. *Revista Ingeniería Industrial*, 5, 1, pp. 23-30.
- Juan, A., 2006. Introducción al programa MINITAB. *Universitat Politècnica de Catalunya*, pp. 2 - 38.
- Kiss, I., 2012 .Focus on quality assurance in the rolls manufacturing - approaches for increasing the rolling-mill rolls qualities. *Acta Technica Corvininensis - Bulletin Of Engineering*, 5, 2, pp. 123-128.
- Kokkinakisa, E. y otros, 2011. HACCP implementation in local food industry: a survey un Crete, Greece. *Procedia Food Science*, Volumen 1, pp. 1079 - 1083.
- Laurentte, E.; Vergara, L., y Llama, J. 2011. Acondicionamiento y molienda del trigo variedad estaquilla. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Santiago Antúñez de Mayolo.
- Li, Y. y Posner, E., 1989. An Experimental Milling Technique for Various Flour Extraction Levels. *Cereal chemistry*, Vol. 66, No. 4, pp. 324 – 328.

Llanes, J., Toledo, J. & de la Vega, J., 2010. Sistema HACCP para el aseguramiento de la calidad del ensilaje de redudos pesqueros. *REDVET*, 11(3), pp. 1695 - 7504 .

Lu, X. & Guan, J., 2009. A new approach to build histogram for selective estimation in query processing optimization. *Computers and Mathematics with Applications*, 57(1), pp. 1037 - 1047.

Manepatil, U. 2012. Six sigma a tool for high performing organization. *Golden Research Thoughts*, Vol. 2, No. 5, pp. 1– 4.

Manghani, K 2011. Quality assurance: Importance of systems and standard operating procedures. *Perspectives In Clinical Research*, 2, 1, pp. 34-37.

Martínez, G. & Pérez, I., 2010. Las técnicas cuantitativas y su utilidad en el diagnóstico del servicio de asistencia técnica. *Industrial*, 31(2), pp. 16-23.

Michelena-Fernández, E. & Cabrera-Monteangudo, N., 2011. Una experiencia en la implementación del sistema de gestión de la calidad de una empresa de servicio. *Ingeniería Industrial*, 32(2), pp. 60-68.

Mosquera, S., Alemán, C. & Vidalla, H., 2008. Aplicación de principios HACCP en el sacrificio y beneficio de pollos. *Falcutad de Ciencias Agropecuarias*, 5(2), pp. 9 - 19.

Osella, Carlos A; Sanchez, Hugo D; Gonzalez, Rolando J y De La Torre, María A. 2006. Molienda de Trigo: Ensayos Comparativos de Escala Industrial con Planta Piloto. *Inf. tecnol.* vol.17, n.3 [citado 2013-10-17], pp. 33-39 .

Pauly, A., Pareyt, B., Fierens, E. & Delcour, J., 2013. Wheat (*Triticum aestivum* L. and *T. turgidum* L. ssp. *durum*) Kernal Hardness: II Implications for End-Product Quality and Role of Puroindolines Therein. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, Volumen 12, pp. 427-438.

Puga, E., Alatríste, I., López, F. & Cortés, E., 2011. Proceso de molienda de trigo para la producción de harina. *Tec-Magazine*, 1(2), pp. 26-30.

- Ruíz, A. 2008. Implementación de controles de calidad para materia prima, producto en proceso y producto en empaque, en una industria harinera. Tesis de licenciatura. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Shan-Shan, L. & Ling-Chu, L., 2011. Using fishbone analysis to improve the quality of proposals for science and technology programs. *Research Evaluation*, 20(4), pp. 275 - 282.
- Shekara,P., Kumar, P., Gundabhakthara, G. 2013. Gravity flow operated samll electricity generator retrofit kit to flour mill industry. *Food Science Technology*, 50(5), pp. 1006 – 1011.
- Šramkováa, Z., Gregováb, E. & Šturdíka, E., 2009. Chemical composition and nutritional quality of wheat grain. *Acta Chimica Slovaca*, 2(1), pp. 115 - 138.
- Stahel, W., 2009. *Introduction to the Statistical Software R*. 1 ed. s.l.:Seminar fur Statistik .
- Stanley, R., Knight, C. y Bodnar, F., 2011. Experiences and challenges in the development of an organic HACCP system. *NJAS -Wageningen Journal of Life Sciences*, 58, pp. 117-121.
- Tapia, P. 2012. Pruebas piloto de molienda SAG. *Revista de la Facultad de Ingeniería*, 28(1), pp. 42 – 52.
- Toliusiené, N., Senkuviené, I. & Mankuté, R., 2013. Quality Management System for Agile Manufacturing. *Mechanika*, pp. 231-235.
- Valenzuela-Herrera, V. y otros, 2012. Villa Juárez F2009, variedad de trigo harinero para el noroeste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(7), pp. 1447-1451.
- Vázquez-Lara, F. y otros, 2009. Propiedades reológicas y composición proteica: parámetros de calidad en harinas de líneas experimentales de trigo. *BIOtecnia*, 11(2), pp. 29 - 36.

Velasco, E. y otros, 2012. Análisis de 20 genotipos de trigo harinero en el Valle del Yaqui, Sonora. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(8), pp. 1521-1534.


Xiuxu, Z., 2011. A process oriented quality control approach based on dynamic SPC and FMEA repository. *International Journal Of Industrial Engineering*, Vol. 18, No. 8, pp. 444-451.

Valenzuela, A., 2011. Efecto de la dosis de nitrógeno, época de siembra y riego sobre las características agronómicas y fisicoquímicas del trigo (*tricum aestivum*) variedad Kronstad, en el sur de Sonora. Tesis de maestría. Universidad de Sonora.

Yongyi, W. & Yan, Z. 2012. Comparison and Analysis of Institutionalization, Standardization and Normalization of Enterprise Safety Production. *International Symposium on Safety Science and Engineering in China*, 43(1), pp. 574-577.

7. ANEXOS

ANEXO 1. CONTROL DE HUMEDAD DE TRIGO ACONDICIONADO TABLAS DE AJUSTE DE HUMEDAD

 MOLINO LA FAMA S.A. DE C.V.	MANUAL PARA ACONDICIONAMIENTO DE TRIGO (MT-AcondTrigo-04)	Sección: 6 PT-CtrlHumTrigo-05
	CONTROL DE HUMEDAD DE TRIGO ACONDICIONADO	Revisión: 05 Vigencia: 15 de Mayo de 2012

6 - 12.5 → 13% ↓

TABLA DE AJUSTE DE HUMEDAD PRIMER REPOSO
 LOS VALORES EN LT/HR SON PARA LLEGAR A UNA HUMEDAD DEL 13.25%

Carga tot./hr % de Hum.	15.0	15.1	15.2	15.3	15.4	15.5	15.6	15.7	15.8	15.9	16.0
	LECTURA ROTAMETRO										
5.5											
5.6											
5.7											
5.8											
5.9											
6.0											
6.1											
6.2											
6.3											
6.4											
6.5											
6.6											
6.7											
6.8											
6.9											
7.0											
7.1											
7.2											
7.3											
7.4											
7.5	584										
7.6	577	583	590								
7.7	580	588	592								
7.8	542	540	535								
7.9	525	521	517								
8.0	508	514	520								
8.1	490	496	502	504							
8.2	473	479	485	491	493						
8.3	456	462	467	473	479	481					
8.4	439	444	450	456	462	467	469				
8.5	422	427	432	438	443	449	454	456			
8.6	405	410	415	421	426	432	437	442	444		
8.7	388	393	398	404	409	414	420	425	430	432	
8.8	371	376	381	387	392	397	403	408	413	418	420
8.9	354	359	364	370	375	380	386	391	396	401	406
9.0	337	342	347	353	358	363	369	374	379	384	389
9.1	320	325	330	336	341	346	352	357	362	367	372
9.2	303	308	313	319	324	329	335	340	345	350	355
9.3	286	291	296	302	307	312	318	323	328	333	338
9.4	269	274	279	285	290	295	301	306	311	316	321
9.5	252	257	262	268	273	278	284	289	294	299	304
9.6	235	240	245	251	256	261	267	272	277	282	287
9.7	218	223	228	234	239	244	250	255	260	265	270
9.8	201	206	211	217	222	227	233	238	243	248	253
9.9	184	189	194	200	205	210	216	221	226	231	236
10.0	167	172	177	183	188	193	199	204	209	214	219
10.1	150	155	160	166	171	176	182	187	192	197	202
10.2	133	138	143	149	154	159	165	170	175	180	185
10.3	116	121	126	132	137	142	148	153	158	163	168
10.4	99	104	109	115	120	125	131	136	141	146	151
10.5	82	87	92	98	103	108	114	119	124	129	134
10.6	65	70	75	81	86	91	97	102	107	112	117
10.7	48	53	58	64	69	74	80	85	90	95	100
10.8	31	36	41	47	52	57	63	68	73	78	83
10.9	14	19	24	30	35	40	46	51	56	61	66
11.0	0	5	10	16	21	26	32	37	42	47	52
11.1											
11.2											
11.3											
11.4											
11.5											
11.6											
11.7											
11.8											
11.9											
12.0											
12.1											
12.2											
12.3											
12.4											
12.5											
13.0	43	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44
13.1 - 13.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

MOLINO LA FAMA S.A. DE C.V.
 COPIA NO CONTROLADA



 MOLINO LA FAMA S.A. DE C.V.	MANUAL PARA ACONDICIONAMIENTO DE TRIGO (MT-AcondTrigo-04)	Sección: 6 PT-CtrlHumTrigo-05
	CONTROL DE HUMEDAD DE TRIGO ACONDICIONADO	Revisión: 05 Vigencia: 15 de Mayo de 2012

TABLA DE AJUSTE DE HUMEDAD SEGUNDO REPOSO
 LOS VALORES EN LT/HR SON PARA LLEGAR A UNA HUMEDAD DEL 16.0%

12-14.5 → 15% ↗

MOLINO LA FAMA S.A. DE C.V.
 COPIA NO CONTROLADA

Carga ton/hr.	15.0	15.1	15.2	15.3	15.4	15.5	15.6	15.7	15.8	15.9	16.0	
% de Hum.	LECTURA						ROTAMETRO					
13.0	723	728	728	737	742	747	752	757	761	766	771	
13.1	705	710	710	719	724	728	733	738	742	747	752	
13.2	687	691	691	700	705	710	714	719	723	728	733	
13.3	669	673	673	682	687	691	696	700	704	709	713	
13.4	651	655	655	664	668	672	677	681	685	690	694	
13.5	633	637	637	645	649	654	658	662	666	670	675	
13.6	614	619	619	627	631	635	639	643	647	652	655	
13.7	596	600	600	608	612	616	620	624	628	632	636	
13.8	578	582	582	590	594	598	601	605	609	613	617	
13.9	560	564	564	571	575	579	583	586	590	594	598	
14.0	542	546	546	553	557	560	564	567	571	575	578	
14.1	524	528	528	535	538	542	545	549	552	556	559	
14.2	506	509	509	516	520	523	526	530	533	536	540	
14.3	488	491	491	498	501	504	507	511	514	517	520	
14.4	470	473	473	479	482	485	489	492	495	498	501	
14.5	452	455	455	461	464	467	470	473	476	479	482	
14.6	434	437	437	442	445	448	451	454	457	460	463	
14.7	416	418	418	424	427	430	432	435	438	441	443	
14.8	398	400	400	406	408	411	413	416	419	421	424	
14.9	380	382	382	387	390	392	395	397	400	402	405	
15.0	361	364	364	369	371	373	376	378	381	383	386	
15.1	343	346	346	350	353	355	357	359	362	364	366	
15.2	325	327	327	332	334	336	338	340	343	345	347	
15.3	307	309	309	3136	315	317	320	322	324	326	328	
15.4	289	291	291	295	297	299	301	303	305	307	308	
15.5	271	273	273	277	278	280	282	284	286	287	289	
15.6	253	255	255	258	260	261	263	265	267	268	270	
15.7	235	237	237	240	241	243	244	246	247	249	251	
15.8	217	218	218	221	223	224	226	227	228	230	231	
15.9	199	200	200	203	204	205	207	208	209	211	212	
16.0	181	182	182	184	185	187	188	189	190	192	193	
16.1	163	164	164	166	167	168	169	170	171	172	173	
16.2	145	146	146	147	148	149	150	151	152	153	154	
16.3	127	127	127	129	130	131	132	132	133	134	135	
16.4	108	109	109	111	111	112	113	113	114	115	116	
16.5	90	91	91	92	93	93	94	95	95	96	96	
16.6	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77	
16.7	54	55	55	55	56	56	56	57	57	57	58	
16.8	36	36	36	37	37	37	38	38	38	38	39	
16.9	18	18	18	18	19	19	19	19	19	19	19	
17.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

 MOLINO LA FAMA S.A. DE C.V.	MANUAL PARA ACONDICIONAMIENTO DE TRIGO (MT-AcondTrigo-04)	Sección: 6 PT-CtrlHumTrigo-05
	CONTROL DE HUMEDAD DE TRIGO ACONDICIONADO	Revisión: 05 Vigencia: 15 de Mayo de 2012

14% - 15.5% → 16%

TABLA DE AJUSTE DE HUMEDAD TERCER REPOSO
 LOS VALORES EN LT/HR SON PARA LLEGAR A UNA HUMEDAD DEL 17.0%

Carga ton/hr.	15.0	15.1	15.2	15.3	15.4	15.5	15.6	15.7	15.8	15.9	16.0	LECTURA ROTAMETRO	
12.0	714	719	724	729	733	738	743	748	752	747	762		
12.1	696	701	706	710	715	720	724	729	734	738	743		
12.2	679	683	688	692	697	701	706	710	715	719	724		
12.3	661	665	670	674	678	683	687	692	696	700	705		
12.4	643	647	651	656	660	664	669	673	677	681	686		
12.5	625	629	633	638	642	646	650	654	658	663	667		
12.6	607	611	615	619	623	627	631	635	640	644	648		
12.7	589	593	597	601	605	609	613	617	621	625	629		
12.8	571	575	579	583	587	590	594	596	602	606	610		
12.9	554	557	561	565	568	572	576	579	583	587	590		
13.0	536	539	543	546	550	554	557	561	564	568	571		
13.1	518	521	525	528	532	535	539	542	545	549	552		
13.2	500	503	507	510	513	517	520	523	527	530	533		
13.3	482	485	489	492	495	498	501	505	508	511	514		
13.4	464	467	470	474	477	480	483	486	489	492	495		
13.5	446	449	452	455	458	461	464	467	470	473	476		
13.6	429	431	434	437	440	443	446	449	451	454	457		
13.7	411	413	416	419	422	424	427	430	433	435	438		
13.8	393	395	398	401	403	406	409	411	414	416	419		
13.9	375	378	380	383	385	388	390	393	395	398	400		
14.0	357	360	362	364	367	369	371	374	376	379	381		
14.1	339	342	344	346	348	351	353	355	357	360	362		
14.2	321	324	326	328	330	332	334	336	339	341	343		
14.3	304	306	308	310	312	314	316	318	320	322	324		
14.4	286	288	290	291	293	295	297	299	301	303	305		
14.5	268	270	271	273	275	277	279	280	282	284	285		
14.6	250	252	253	255	257	258	260	262	263	265	267		
14.7	232	234	235	237	238	240	241	243	245	246	248		
14.8	214	216	217	219	220	221	223	224	226	227	229		
14.9	196	198	199	200	202	203	204	206	207	208	210		
15.0	179	180	181	182	183	185	186	187	188	189	190		
15.1	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171		
15.2	143	144	145	146	147	148	149	150	150	151	152		
15.3	125	126	127	128	128	129	130	131	132	133	133		
15.4	107	108	109	109	110	111	111	112	113	114	114		
15.5	89	90	90	91	92	92	93	93	94	95	95		
15.6	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76		
15.7	54	54	54	55	55	55	56	56	56	57	57		
15.8	36	36	36	36	37	37	37	37	38	38	38		
15.9	18	18	18	18	18	18	19	19	19	19	19		
16.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

COPIA NO CONTROLADA

ANEXO 2. MANUAL PARA DETERMINACIÓN DE CENIZAS, DETERMINACIÓN DE HUMEDAD Y MOLIENDA DE TRIGO (MÉTODO AACC).

DETERMINACIÓN DE CENIZAS (Método AACC 08-01, 1991)

Introducción

La determinación de cenizas permite evaluar la eficiencia de la separación del endospermo, del salvado y del germen durante el proceso de molienda.

Este método es aplicable a harinas y pan.

Se basa en la calcinación de la materia orgánica a una temperatura de 580 °C.

Materiales

1. Crisoles de porcelana.
2. Pinzas para crisoles.
3. Desecador.

Aparatos

1. Mufla eléctrica.
2. Balanza analítica.

Procedimiento

1. Pesar de 3 a 5 g (± 0.01 g) de muestra en un crisol de porcelana previamente tarado y enfriado.
2. Colocar los crisoles en la mufla previamente calentada según la muestra que se trate. Para harinas de trigo suave se calienta a 550 °C y para harinas de trigo dura a 575-590 °C. Incinerar hasta obtener cenizas y dejarlos por dos horas en la mufla.
3. Colocar los crisoles en un desecador hasta que se enfrien (aproximadamente media hora).
4. Pesar los crisoles.

Notas

Para la determinación de cenizas en pan, se pesará de 3 a 5 g de muestra preparada y procesada, llevándose el mismo procedimiento antes mencionado.

Reportar resultados en base a la humedad del pan o corregirla a base seca.

En la Fig. se muestra la mufla donde se realiza esta determinación.

Cálculos

$$\% \text{ Cenizas} = (\text{Peso del residuo} \times 100) / (\text{Peso de la muestra})$$

$$\% \text{ Cenizas (base seca)} = (\% \text{ cenizas} \times 100) / (100 - \% \text{ Humedad de la harina})$$

Precauciones

Por ser las cenizas de harinas muy higroscópicas, no enfriar más de 6 muestras en un desecador en tiempo húmedo.

ANÁLISIS QUÍMICOS

Es importante caracterizar las harinas de trigo como sus productos por medio de pruebas químicas, las cuales nos dan información del contenido químico y predicen la calidad de las harinas. Dentro de éstos análisis tenemos humedad,

DETERMINACIÓN DE HUMEDAD (Método 44-15A AACC, 1991)

Introducción

El contenido de humedad es la pérdida en peso de una muestra cuando es calentada bajo condiciones específicas. Esta es muy importante en la calidad de los alimentos porque de ella depende su vida de anaquel y propiedades reológicas de cada producto. Este método es aplicable a harinas, féculas, sémola, pan, granos y cereales para desayuno.

Materiales.

1. Molino Wiley equipado con malla metálica de #18 ó 24 unidades métricas. También se puede utilizar otro molino que muele el mismo grosor de textura, evitando una excesiva exposición a la atmósfera y sin un apreciable calentamiento.
2. Estufa de convección.
3. Platos de aluminio de diámetro de 55 mm y una altura de 55 cm con tapadera deslizadora.
4. Desecador a prueba de aire.
5. Balanza de precisión de ± 1 mg.

Preparación de la muestra

Para muestras que contengan menos de 16% de humedad, moler de 30 a 40 g de muestra en un molino y colóquela en una bolsa o recipiente que no pierda humedad.

Para la determinación de humedad del pan, se prepara la muestra según el método 62-05 de la AACC (1991), donde se toma una muestra representativa de la miga del pan y se pesa. Se corta el pan en rebanadas 2-3 mm de grosor, teniendo la precaución de que no se pierda nada de miga. Se colocan en una charola lisa las rebanadas y se dejan a temperatura ambiente de 15 a 20 h. Por último se pesa la miga y se calcula el % de pérdida de humedad.

Para determinar el contenido total de humedad, esta muestra se muele en un molino con malla de # 20 U.S.A y que no transfiera calor a la muestra al momento de molerla.

Procedimiento

1. Pesar de 2 a 3 g de muestra en platos libres de humedad (previamente tarados).
3. Colocar los platos sin tapadera en la estufa, calentando a una temperatura de $130^{\circ}\text{C} \pm 1$ por 1 h después de que el horno recupera esta temperatura.
4. Transferir los platos al desecador una vez transcurrida la hora y dejar enfriar aproximadamente media hora.
4. Pesar los platos y determinar la pérdida de peso como humedad.

Nota

Las determinaciones por duplicado no deben variar de 0.2% de humedad. En la Fig. 3, se muestra la estufa de convección donde se realiza esta determinación.

Cálculos

$$\% \text{ Humedad} = A \times 100 / B$$

Donde:

A = Pérdida de humedad en gramos

B = Peso de la muestra original

Molienda de Trigo

Introducción

La molienda del trigo es uno de los procesos más antiguos que existen, del cual se obtiene la harina de trigo que es ampliamente usada en la dieta diaria del ser humano. El rendimiento harinero y calidad del proceso de molienda va a depender de la limpieza, la humedad y tiempos de acondicionamiento seleccionados para los diferentes trigos, los cuales deberán guardar uniformidad.

Para realizar la molienda experimental se recomienda un molino de rodillos como el Quadrumat Senior marca Brabender el que tiene en un solo sistema tres procesos integrados.

- Rompimiento. El molino cuenta con un sistema de rompimiento (unidad 1) en el cual el grano es fraccionado en sus componentes como son: salvado, germen y endospermo.
- Separación. Consiste en una clasificación de las fracciones anteriores de acuerdo a su tamaño de partículas por medio, de un cernedor que cuenta con diferentes dimensiones.
- Reducción. Reduce el tamaño de partícula del endospermo (unidad 2).

Equipo

- Limpiador de granos Clipper modelo M2BC (figura 1)
- Molino Quadrumat Senior Brabender (figura 2).

El proceso de molienda se lleva a cabo bajo los siguientes pasos:

Preparación de la muestra

- Primeramente se limpia el grano el cual debe estar libre de impurezas. Este procedimiento se lleva a cabo en un limpiador de granos Clipper modelo M2BC.
- Posteriormente se le determina humedad al grano de trigo, lo cual se realiza por el método oficial 44-40 A.A.C.C.
- Se pesa el grano.

Acondicionamiento del grano

- De acuerdo a la humedad del grano de trigo, son los ml de agua que se añadirán al mismo para proporcionarle el porcentaje de humedad necesario para una molienda adecuada. Para esto se usa la siguiente fórmula:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{ml de agua} = M[(X-Y)/(100-X)] \\ \text{Donde:} \\ M = \text{Peso de la muestra (g)} \\ Y = \text{Humedad del grano que se va a acondicionar (\%)} \\ X = \text{Humedad a la que se desea acondicionar (\%)} \end{array} \right.$$

- Después de agregar el agua, homogenizar la muestra y dejarla reposar de 24 a 48 horas, esto depende de la variedad del trigo que se va acondicionar.

Procedimiento

- Observar que la entrada del grano se encuentre cerrada y vaciar la cantidad de grano (Aproximadamente 1 kg) en el depósito de alimentación de molienda.
- Encender el molino por medio del control de encendido (botón verde).
- Poner en marcha la unidad I (rompimiento) y unidad II (reducción) por medio de los respectivos interruptores.
- Abrir la puerta de alimentación del grano hacia la unidad I, la cual se ajusta de acuerdo a la variedad y humedad del trigo por medio de la perilla que se encuentra al lado derecho de esta unidad. Para los trigos duros con % de humedad de acondicionamiento de 16-17% y trigos suaves con humedad de 14.5 y 15.5%, la perilla se abre toda. Para trigos duros con % de humedad mayor de 17% abrir de 1-2 mm (1-2 ranuras, marcas de la perilla). Para trigos suaves con humedades mayores de 15.5% abrir de 1-3 mm (1-3 ranuras). Después de que se comienza a alimentar el grano la operación de molienda procede automáticamente.
- Una vez que pasa el grano al sistema de rompimiento se para la unidad, el interruptor se pasa en sentido inverso por aproximadamente 3 segundos luego se vuelve a la posición de molienda por 3 segundos más y por último en posición de off. Cerrar la puerta de alimentación con la perilla.
- Abrir el filtro de la puerta de la unidad I, limpiar la puerta del molino con una brocha provista por el molino, colocar la cubierta y cerrar el filtro de la puerta. La harina que esta saliendo del cernidor pasa al sistema de reducción a través de un tornillo transportador.
- Una vez que no salga harina por el tornillo transportador hacia la unidad II (Aproximadamente de 3 a 4 min después de haber apagado la unidad I), hacer lo mismo que con la unidad I y apagarla.
- Dejar el cernedor por 10 min más.
- Después de este periodo la operación ha concluido, apagar el molino presionando el botón rojo.
- Quitar la palanca con el pie para sacar los recipientes donde se recolectan las 4 porciones: harina de rompimiento (la harina de primera), harina de reducción (harina de segunda), granillo y salvado.
- Pesar cada fracción, juntando la harina de primera y segunda.
- Limpiar perfectamente bien el molino por medio de aire.

Cálculos

$$\% RH = C[(100-D)(100)]/M(100-Y)$$

Donde:

RH=Rendimiento harinero (%)

C= Peso de harina (g)

D= Humedad de harina (%)
M= Peso del trigo (g)
Y= Humedad del trigo (%)

Precauciones

1. Acondicionar el grano de acuerdo a la variedad del trigo, abrir la perilla de la puerta de alimentación del grano como se indica en el paso 4 del procedimiento de la molienda.
2. Si en alguna de las unidades (rompimiento y reducción) los rodillos no están funcionando, parar inmediatamente la unidad auxiliándose con el interruptor contactor de motor presionando el botón rojo. Si el interruptor contactor no responde una vez, esperar un poco, es necesario un periodo de enfriamiento. Posteriormente colocar el interruptor de la unidad en reversa si funciona espere 3 seg y pase el interruptor 3 seg más a la posición de molienda y apagar. En severos casos de bloqueo, consulte al especialista.
3. Fijarse si alguno de los conductos que van de las unidades a la caja del cernedor a los depósitos de las diferentes fracciones, no se encuentran fuera de su lugar.
4. Moler en lotes de 1000 g para no forzar tanto el molino.

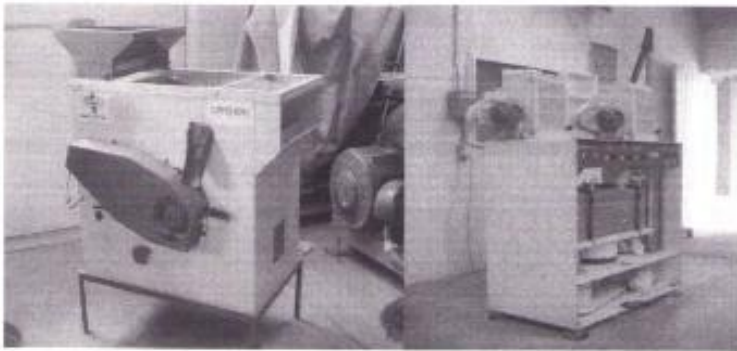


Fig. 1 Limpiador de granos Clipper

Fig. 2 Molino Quadrumat Senior