

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**DMAIC aplicado en la industria de pan: análisis de pérdida
de peso durante el proceso de producción de pan**

**David Mauricio Armijos Sánchez
Reasse Estefanía Carrión Mora**

Ingeniería Industrial

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito para la obtención del
título de
INGENIERO INDUSTRIAL

Quito, 20 de diciembre de 2022

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA**

**DMAIC aplicado en la industria de pan: análisis de pérdida
de peso durante el proceso de producción de pan**

**David Mauricio Armijos Sánchez
Reasse Estefanía Carrión Mora**

Nombre del profesor, Título académico Danny Orlando Navarrete Chávez M.Sc

Quito, 20 de diciembre de 2022

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: David Mauricio Armijos Sánchez

Código: 00207341

Cédula de identidad: 110471509-7

Nombres y apellidos: Reasse Estefanía Carrión Mora

Código: 00206440

Cédula de identidad: 172062342-8

Lugar y fecha: Quito, 20 de diciembre de 2022

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	10
DESARROLLO DEL TEMA	13
Revisión literaria	13
Aplicación de DMAIC en varias industrias.....	13
Aplicación de DMAIC en la industria de alimentos.....	14
Estudios de panificación.....	15
Metodología	16
Definir.....	17
Medir.	17
Analizar.	18
Mejorar.	19
Controlar.....	19
Resultados	20
Definir.....	20
Project charter.....	20
Swimlane diagram.	20
Medir.	21
Variables de interés.	22
Plan de recolección de datos.....	23
Muestreo de datos.....	23
Limpieza y depuración de datos.	24
Intervalos de confianza.	25
Analizar.	25
Intervalos de tolerancia.....	25
Distribución estadística de los datos.....	26
Intervalos basados en la distribución estadística.	28
Algoritmo de aprendizaje supervisado.	30
Diagrama de Pareto.	31
Diagrama de Ishikawa.	33
Mejorar.	34
Diseño experimental.....	34
Resultados para el peso de 920gr.	38
Resultados para el peso de 930gr.	40

Resultados para el peso de 940gr.	42
Análisis de reducción de costos.....	43
Referencias de peso propuestas.	45
Quick wins.....	45
Controlar.....	48
Plan de control.....	48
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	49
LECCIONES APRENDIDAS Y SIGUIENTES PASOS	51
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
TABLAS	62
ANEXOS.....	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	<i>Líneas de producción de los SKUs de interés</i>	21
Tabla 2.	<i>Tamaño de muestra</i>	24
Tabla 3.	<i>Intervalos de confianza por SKU y subproceso</i>	25
Tabla 4.	<i>Comparación límites de especificación e intervalos de confianza</i>	26
Tabla 5.	<i>Distribuciones estadísticas con sus parámetros teóricos</i>	27
Tabla 6.	<i>Aproximación a la distribución normal con sus parámetros puntuales</i>	28
Tabla 7.	<i>Cálculo de límites del 99,7% de los datos de Sanduchero 2</i>	29
Tabla 8.	<i>Pérdida de peso y humedad de cada SKU</i>	30
Tabla 9.	<i>Importancia de variables para Sanduchero 2</i>	30
Tabla 10.	<i>Factores fijos del experimento</i>	35
Tabla 11.	<i>Factores de diseño del experimento</i>	36
Tabla 12.	<i>Diseño experimental</i>	37
Tabla 13.	<i>Comparación de los costos de producción</i>	43
Tabla 14.	<i>Referencias de peso actuales y propuestas</i>	45
Tabla 15.	<i>Variable de interés por subproceso y línea de production</i>	62
Tabla 16.	<i>Distribuciones estadísticas con parámetros puntuales</i>	63
Tabla 17.	<i>Comparación límites de especificación y límites calculados</i>	63
Tabla 18.	<i>Importancia de variables para Pan Blanco 1</i>	63
Tabla 19.	<i>Importancia de variables para Pan Blanco 3</i>	64
Tabla 20.	<i>Importancia de variables para Integral 2</i>	64
Tabla 21.	<i>Importancia de variables para Sanduchero 3</i>	65
Tabla 22.	<i>Importancia de variables Pan Ajonjolí</i>	65
Tabla 23.	<i>Importancia de variables Bollería Hamb</i>	66
Tabla 24.	<i>Importancia de variables Bollería HD2</i>	66
Tabla 25.	<i>Análisis de los parámetros del horno</i>	66
Tabla 26.	<i>Plan de control propuesto para cada mejora</i>	67

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i>	<i>Intervalo de tolerancia para los subprocesos de Sanduchero 2</i>	<i>26</i>
<i>Figura 2.</i>	<i>Comparacion grafica de los limites para Sanduchero 2.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 3.</i>	<i>Diagrama de Pareto para Leudo de Sanduchero 2.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 4.</i>	<i>Diagrama de Pareto para Horno de Sanduchero 2</i>	<i>33</i>
<i>Figura 5.</i>	<i>Diagrama de Pareto para Enfriamiento de Sanduchero 2.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 6.</i>	<i>Efectos fijos para el peso de 920gr</i>	<i>38</i>
<i>Figura 7.</i>	<i>Componentes de varianza para el peso de 920gr.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 8.</i>	<i>Gráfica de interaccion para el peso de 920gr.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 9.</i>	<i>Efectos fijos para el peso de 930gr</i>	<i>40</i>
<i>Figura 10.</i>	<i>Componentes de varianza para el peso de 930gr.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 11.</i>	<i>Gráfica de interacción para el peso de 930gr.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 12.</i>	<i>Efectos fijos para el peso de 940gr</i>	<i>42</i>
<i>Figura 13.</i>	<i>Componentes de varianza para el peso de 940gr.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 14.</i>	<i>Comparacion de costos mensual</i>	<i>44</i>
<i>Figura 15.</i>	<i>Project Charter de empresa panificadora.....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 16.</i>	<i>Swimlane Diagram del proceso de elaboración de pan.....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 17.</i>	<i>Plan de recolección de datos del subproceso Amasado.....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 18.</i>	<i>Plan de recolección de datos del subproceso División</i>	<i>70</i>
<i>Figura 19.</i>	<i>Plan de recolección de datos del subproceso Leudo para Línea 1</i>	<i>70</i>
<i>Figura 20.</i>	<i>Plan de recolección de datos del subproceso Leudo para Línea 2</i>	<i>71</i>
<i>Figura 21.</i>	<i>Plan de recolección de datos del subproceso Horno para Línea 1.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 22.</i>	<i>Plan de recolección de datos del subproceso Horno para Línea 2.....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 23.</i>	<i>Plan de recolección de datos del subproceso Enfriamiento para Línea 1</i>	<i>72</i>
<i>Figura 24.</i>	<i>Plan de recolección de datos del subproceso Enfriamiento para Línea 2</i>	<i>73</i>
<i>Figura 25.</i>	<i>Plan de recolección de datos del subproceso Empaque.....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 26.</i>	<i>Plan de recolección de datos de Vida útil</i>	<i>73</i>
<i>Figura 27.</i>	<i>Comparación gráfica de los límites para Pan Blanco 1</i>	<i>74</i>
<i>Figura 28.</i>	<i>Comparación gráfica de los límites para Pan Blanco 2</i>	<i>74</i>
<i>Figura 29.</i>	<i>Comparación gráfica de los límites para Integral 2</i>	<i>74</i>
<i>Figura 30.</i>	<i>Comparación gráfica de los límites para Sanduchero 3.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 31.</i>	<i>Comparación gráfica de los límites para Pan Ajonjolí.....</i>	<i>75</i>

<i>Figura 32.</i>	<i>Comparación gráfica de los límites para Bollería Hamb</i>	75
<i>Figura 33.</i>	<i>Comparación gráfica de los límites para Bollería HD 2</i>	76
<i>Figura 34.</i>	<i>Diagrama de Pareto para Leudo de Pan Blanco 1</i>	76
<i>Figura 35.</i>	<i>Diagrama de Pareto para Horno de Pan Blanco 1</i>	77
<i>Figura 36.</i>	<i>Diagrama de Pareto para Leudo de Pan Blanco 3</i>	77
<i>Figura 37.</i>	<i>Diagrama de Pareto para Horno de Pan Blanco 3</i>	78
<i>Figura 38.</i>	<i>Diagrama de Pareto para Leudo de Integral 2</i>	78
<i>Figura 39.</i>	<i>Diagrama de Pareto para Horno de Integral 2</i>	79
<i>Figura 40.</i>	<i>Diagrama de Pareto para Enfriamiento de Integral 2</i>	79
<i>Figura 41.</i>	<i>Diagrama de Pareto para Leudo de Sanduchero 3</i>	80
<i>Figura 42.</i>	<i>Diagrama de Pareto para Horno de Sanduchero 3</i>	80
<i>Figura 43.</i>	<i>Diagrama de Pareto para Enfriamiento de Sanduchero 3</i>	81
<i>Figura 44.</i>	<i>Diagrama de Pareto para Leudo de Pan Ajonjolí</i>	81
<i>Figura 45.</i>	<i>Diagrama de Pareto para Horno de Pan Ajonjolí</i>	82
<i>Figura 46.</i>	<i>Diagrama de Pareto para Leudo sin decorado de Bollería Hamb</i>	82
<i>Figura 47.</i>	<i>Diagrama de Pareto para Leudo con decorado de Bollería Hamb</i>	83
<i>Figura 48.</i>	<i>Diagrama de Pareto para Horno de Bollería Hamb</i>	83
<i>Figura 49.</i>	<i>Diagrama de Pareto para Leudo sin decorado de Bollería HD 2</i>	84
<i>Figura 50.</i>	<i>Diagrama de Pareto para Leudo con decorado de Bollería HD 2</i>	84
<i>Figura 51.</i>	<i>Diagrama de Pareto para Horno de Bollería HD 2</i>	85
<i>Figura 52.</i>	<i>Diagrama Ishikawa del peso excesivo en unidades de pan</i>	85
<i>Figura 53.</i>	<i>Template de reporte de parámetros Leudo Línea 1 y Línea 2</i>	86
<i>Figura 54.</i>	<i>Template de reporte de parámetros Horno Línea 1</i>	86
<i>Figura 55.</i>	<i>Template de reporte de parámetros Horno Línea 2</i>	86
<i>Figura 56.</i>	<i>Template de reporte de parámetros Enfriamiento L1 y L2</i>	87
<i>Figura 57.</i>	<i>Template de reporte de primeros pesos en División tras cambio de SKU87</i>	
<i>Figura 58.</i>	<i>Template de reporte de temperatura del pan tras culminar el tiempo de Enfriamiento</i>	88

INTRODUCCIÓN

El pan es un alimento ampliamente consumido en varios países. El crecimiento estimado del mercado mundial de pan es de 3,4% anual aproximadamente y para el 2023, se pronostica que su volumen de ventas sea de 87.169,9 millones de kilogramos (Silva, Monteiro, Salvador, Laurindo, & Carciofi, 2022). Por esto, este producto se caracteriza por los altos ingresos económicos que representa. En 2021, el pan junto a otros productos de panadería ha alcanzado ingresos de aproximadamente \$1.172,65 mil millones en todo el mundo (Qian et al., 2021). Ecuador es parte de los países que poseen un alto consumo de pan y la industria panificadora en Ecuador resalta por la alta demanda de este producto. Según el INEN, se produjeron 204'717.288 unidades de pan durante el 2016 (INEN, 2016).

Si bien es cierto que existen varios tipos de pan, muchos de ellos se asimilan por la materia prima que los compone. Dichos ingredientes son harina, agua, sal y levadura (Mesas, & Alegre, 2002). Estos ingredientes, junto a otros que caracterizan a los diferentes tipos de pan que existen, ingresan al proceso de elaboración de pan. Este proceso industrializado de pan consta de cuatro procesos principales. Estos procesos son el mezclado de ingredientes, la fermentación de la masa, el horneado de las masas y transformación en pan; y el enfriamiento de dicho pan (Therdthai, & Zhou, 2003).

Cada paso del proceso posibilita la realización del pan. En la mezcla de ingredientes, se incorpora oxígeno a la masa y se unifican los ingredientes (Jerome, Singh, & Dwivedi, 2019). En la fermentación, el pan aumenta su volumen. Esto se debe a que la levadura descompone parcialmente el azúcar lo que resulta en liberación de CO₂ (Jerome, Singh, & Dwivedi, 2019). Durante la cocción, la masa cruda se transforma en pan por la presencia de calor, se crea una corteza en los bordes y cambia

el color de la masa ya transformada (Soleimani Pour-Damanab, Jafary, & Rafiee, 2013). En el proceso de enfriamiento, se deja reposar el pan para que éste se enfríe y termine de evaporarse la humedad presente dentro del pan (Universidad de Córdoba, s.f). De este modo, se obtiene el producto terminado. Durante las etapas de este proceso, la masa que se transforma en pan sufre cambios en su estructura. Como resultado de estos cambios, existe pérdida de peso y humedad en la masa transformada en pan (Comisión Europea, 2017). Dicha pérdida de peso conlleva aumento de costos de operación lo que afecta a las empresas de alimentos.

Una empresa panificadora ecuatoriana presenta una variedad de productos al mercado. Todos ellos son regularizados por el INEN. Esta entidad busca garantizar que el consumidor reciba la cantidad de producto exacta que es informada por el productor en el rotulado del producto (INEN, 2016). La empresa en cuestión lanza al mercado parte del porcentaje de productos que cumplen con el peso indicado en sus productos. Aun así, sus productos presentan un sobrepeso de aproximadamente 30 gramos por unidad de pan producida; mismo que se busca reducir. Para esto, es necesario entender qué variables están relacionadas con la pérdida de peso y humedad que ocurre durante el proceso. Esto con el fin de determinar el rango de pesos para la etapa de División del proceso y el rango de pesos para las unidades empacadas, mismo que debe cumplir con la normativa del INEN anteriormente descrita.

El presente proyecto tiene el objetivo de reducir el sobrepeso actual mediante un análisis estadístico en 8 SKUs de la empresa de panificación ecuatoriana para definir nuevos pesos objetivos en la etapa de división, alineados a la normativa INEN. Por esto, busca además determinar qué variables importan en la pérdida de peso durante las etapas del proceso de elaboración del pan, incluyendo la vida útil de éste. El presente

proyecto busca reducir el sobrepeso existente en el pan producido y los costos asociados con estos excedentes al minimizar la pérdida de peso durante el proceso de elaboración. Para esto, se utilizó la metodología DMAIC correspondiente al área de calidad acompañada de herramientas que permitan definir el objetivo, alcance, limitaciones y responsables del presente proyecto, un plan de recolección de datos para la toma de los mismos, un análisis del estado actual del proceso mediante estadística descriptiva e inferencial para determinar los parámetros de interés presentes en el proceso a través de un algoritmo de aprendizaje supervisado y la identificación de causas del problema. Asimismo, un diseño experimental para identificar la cantidad máxima de sobrepeso a reducir en las unidades y un plan de control al finalizar para asegurar el cumplimiento de los cambios propuestos.

DESARROLLO DEL TEMA

Revisión literaria

Aplicación de DMAIC en varias industrias.

La metodología DMAIC es una metodología ampliamente utilizada para resolver problemas en diversas industrias. Se caracteriza por ser un método de investigación cuantitativa que a través de técnicas estadísticas permite solucionar un problema (Kolawole, Mishra, & Hussain, 2021). Monika Smętkowska y Beata Mrugalska (2018) realizaron una investigación en una fábrica usando DMAIC para mejorar el proceso de producción dada la alta variabilidad que presentaba su estado actual. Con esta metodología, resolvieron que el problema se encontraba en una máquina llamada Kolbus BF 511 y al trabajar en ella y en capacitar a los empleados sobre el uso correcto de esta máquina, la variabilidad disminuyó y a la par, los costos de operación (Smętkowska & Mrugalska, 2018).

Otra aplicación de DMAIC se presenta en la industria automotriz. Carmen Cunha y Caroline Dominguez (2015) realizaron un estudio en una casa comercial automotriz portuguesa en donde se recalca la importancia de trabajar con las métricas adecuadas para lograr un buen análisis. Utilizan la métrica del dinero como porcentaje de cumplimiento y buscaron el “estándar” que es el tiempo ideal para que el proceso esté bajo control (Cunha & Dominguez, 2015). En contraste con este estudio, la métrica que se utilizó para el presente proyecto es el peso de los productos de pan que se estudiaron. Cabe recalcar que los estudios mencionados, así como el presente, buscan una reducción de costos a través de soluciones encontradas a través de la metodología DMAIC.

Aplicación de DMAIC en la industria de alimentos.

Existen estudios que buscan realizar mejoras, como los discutidos anteriormente, pero con un enfoque hacia la industria de alimentos. Este enfoque permite tener un acercamiento hacia el

sector productivo, que se trata en el presente proyecto, porque también se trabajó junto a esta metodología en una empresa de alimentos. Un estudio acerca de la industria de alimentos en la India, basado en DMAIC acompañado de un análisis estadístico, buscó la reducción de costos en una empresa de procesamiento de alimentos en la cual concluyeron que la solución era eliminar cuellos de botella en la empresa (Nandakumar, Saleeshya, & Harikumar, 2020). Si bien su problema fue resuelto a través de un cambio en sus procesos, existen soluciones enfocadas en la reducción de desperdicios. Un estudio se basó en un análisis de rendimiento en una empresa de alimentos de Taiwán que a través de la metodología DMAIC redujeron los costos operativos al disminuir la cantidad de bollos de crema pastelera con el defecto de contener crema excedente en cada unidad (Hung & Sung, 2017).

En relación a los costos de la industria alimentaria, se evidencia que la utilización de DMAIC está estrechamente relacionado con el decremento de los mismos. Esto se logra a través de la reducción de variabilidad del proceso y de desperdicios, y aumento de eficiencia del proceso. Adicionalmente, resaltan que en Brasil 75% de las industrias de alimentos no implementan mejoras (Message, Godinho, Fredendall, & Gómez, 2018). Por esto, se puede manifestar que existen países de América Latina donde las industrias de alimentos necesitan realizar más estudios para resolver problemas y obtener mejoras en sus procesos. Por esto, el presente proyecto

aporta a la literatura al centrarse en la industria panificadora en el Ecuador para incrementar el porcentaje de estudios en relación a mejoras en el continente.

Estudios de panificación.

La industria panadera tiene relevancia económica mundial. Por esto, existen varios estudios en los que se ha analizado el proceso de elaboración de pan. En un estudio realizado en el 2019, se resalta a través de una recopilación de estudios, la importancia de controlar los parámetros que afectan a las diferentes etapas del proceso para garantizar la calidad del producto final (Jerome, Singh, & Dwivedi, 2019). Sin embargo, no mencionan qué cambios se presentan al tener influencia de dichos parámetros. Este punto sí es analizado en un estudio realizado en 2021 el cual se enfocó en el proceso de empaquetado de productos de panadería. Buscaron entender los cambios físicos, químicos y microbiológicos que tiene el pan, mismos que dan como resultado cambios en la textura, sabor y pérdida de peso (Qian et al., 2021).

Otros estudios se han centrado en entender únicamente una etapa del proceso de elaboración de pan. Nantawan Therdthai y Weibiao Zhou (2013) estudiaron el proceso de horneado del pan donde señalan la falta de información sobre la manipulación de variables del horneado para mejorar la calidad del pan, así como la falta de investigación sobre las interacciones entre los parámetros de horneado. Además, concluyen que en este proceso es donde más humedad pierde la masa en relación con las demás partes del proceso (Therdthai & Zhou, 2003). Aun así, no profundizan en soluciones para evitar dicha pérdida de humedad y mencionan que únicamente el factor temperatura influye en la misma. En otra investigación publicada en 2013 se centra en entender los cambios físicos y químicos que sufre la masa durante el horneado y cómo la pérdida de humedad está relacionada con la temperatura del horno (Jerome, Singh, & Dwivedi, 2019).

Expresan además que la reducción del peso en el horno es de entre 15% y 16% aproximadamente, manipulando el parámetro de temperatura (Silva, Monteiro, Salvador, Laurindo, & Carciofi, 2022). En comparación, el presente estudio busca entender todas las etapas del proceso de elaboración del pan estudiando varios parámetros que se presentan en el proceso. Adicionalmente, a través de la metodología DMAIC, se busca resolver el problema de pesos excesivos en el producto terminado tras entender cómo ocurre la pérdida de peso durante el proceso de elaboración y proponiendo una reducción de estos. Esto se realizó a través de un estudio explicativo con el fin de dar un enfoque diferente a los previamente analizados al centrarse en el territorio ecuatoriano, y además determinar las relaciones entre los parámetros que están presentes durante todo el proceso de producción de pan y su pérdida de peso (Alesina et al., s.f). En síntesis, se utiliza lo previamente descrito para incrementar los estudios realizados sobre la industria de alimentos ecuatoriana.

Metodología

La metodología que se utilizó para el presente proyecto es DMAIC. Tras haber revisado otros estudios en los que se han solucionado problemas o mejorado los resultados de empresas de diversas áreas, incluyendo el área de alimentos, se determinó que esta metodología permite lograr los objetivos del presente estudio, es decir, resolver un problema de sobrepeso en los panes producidos. La metodología DMAIC es una estrategia que permite realizar un cambio de práctica para mantener el bienestar de un proceso o mejorarlo (Horowitz et al., 2022). En otras palabras, esta metodología se caracteriza por ser utilizada para mejorar u optimizar el estado actual de una empresa. Esto se realiza a través de cinco fases que son Definir, Medir, Analizar, Mejorar,

Controlar (Ranade, Reddy, Koppal, Paithankar, & Shevale, 2021). Dichas fases fueron aplicadas al presente estudio y serán desglosadas individualmente.

Definir.

Para iniciar una investigación se necesita conocer el motivo y qué se busca lograr. La primera fase llamada Definir permite seleccionar los problemas que se tratarán, determinar las partes interesadas y priorizar necesidades, establecer el alcance del proyecto, el objetivo final y el análisis de los beneficios (Mast & Lokkerbol, 2012). Para esto, se aplicaron dos herramientas que ayudaron a esta fase. Se realizó un documento consolidado, conocido como *Project Charter*, donde se provee información del proyecto y se planifica de forma eficaz la realización del mismo (Enani, 2015). Incluye además la razón del proyecto, sus limitaciones y personas involucradas (Gido, Clements, & Baker, 2018). La otra herramienta aplicada fue un *Swimlane Diagram*. Este diagrama describe el flujo del proceso que pasa por diferentes partes o departamentos de la organización. Por esto, esta herramienta permite entender y analizar el proceso además de visualizar los actores del proceso (Petrić, Hell, & Van der Borg, 2020).

Medir.

Para entender de forma cuantitativa la situación actual del proceso se necesitan datos que la describan. En esta fase el problema es traducido a una forma medible a través de la obtención de datos (Mast & Lokkerbol, 2012). Por esto, en esta etapa se utilizaron herramientas enfocadas en la recolección de datos como es el plan de recolección de datos. Este permite garantizar que los datos que se recopilaron sean útiles y recopilados correctamente (George, Rowlands, Price & Maxey, 2005). De esta forma,

se puede conocer con exactitud el propósito y detalles precisos de cada métrica que se levantó para el presente proyecto.

Otra herramienta de esta fase que se aplicó una vez culminada la recolección de datos es la estadística descriptiva. La estadística descriptiva permite presentar los datos obtenidos mediante gráficas y así, describir el comportamiento de éstos (Posada, 2016). Esto ayudó a visualizar los datos obtenidos y conocer su relación con la población estudiada.

Analizar.

Una vez medido el proceso es necesario analizarlo para determinar las posibles causas del problema que se está estudiando. En esta fase se busca entender el problema a través de los datos recolectados (Go Lean Six Sigma, s.f). Se utilizaron pruebas estadísticas paramétricas y no paramétricas dependiendo de los datos analizados. Dichas pruebas ayudan a los investigadores a tomar decisiones inteligentes y establecer diferencias entre muestras (Alkarkhi & Alqaraghuli, 2020). También se utilizaron intervalos de tolerancia para determinar los bordes inferiores y superiores dentro de los cuales están las salidas de un proceso con una confianza especificada (Minitab, 2021). Esto con el fin de conocer el estado actual de cada subproceso de elaboración de pan. Por otro lado, se utilizó estadística inferencial ya que ésta permite establecer generalidades para la población partiendo de la muestra obtenida (Posada, 2016). Además, se utilizó un algoritmo de aprendizaje supervisado para entender la importancia de las variables dependientes con respecto a la variable respuesta, es decir, el peso a lo largo del proceso. Este algoritmo hace referencia a la búsqueda de modelos que, a partir de instancias externas suministradas, producen hipótesis generales para tener modelos concisos producidos a partir de los datos suministrados (Kotsiantis,

2007). Con esto, se pudo medir la importancia de las variables individuales con respecto a la variable respuesta y así obtener los factores clave de un dominio específico para una mejor toma de decisiones (Wojtas & Chen, 2020). Finalmente, se utilizó un diagrama de Ishikawa para identificar las causas del problema que se presentaba en la planta de producción. Esta técnica permite distinguir las posibles causas de una situación con el fin de mejorar procesos de una organización (Burgasí et al., 2021).

Mejorar.

Esta fase se centra en implementar y verificar las soluciones propuestas. La importancia de esta etapa es que se enfoca en eliminar las causas del problema bajo estudio (Rodríguez, Medini & Wuest, 2022). Es por esto que para mejorar el proceso se utilizó un diseño experimental. Esta herramienta consta de una serie de pruebas en las que se manipulan los niveles de factores de interés en un proceso para estudiar su influencia sobre los efectos de la variable respuesta de interés (LSSI, 2021). Así, se conoce la combinación óptima de niveles de factores para mejorar la variable respuesta. Además, se planteó una propuesta de *Quick wins* para conseguir mejoras que no representen costos adicionales en la producción. Estas son mejoras visibles que pueden realizarse de forma rápida y cuyo beneficio es inmediato (Espinoza, 2020). Tras esto, se realizó un análisis del impacto económico de la reducción de peso con el fin de determinar el ahorro de costos proyectado tras la propuesta de reducción de peso actual en las unidades de pan.

Controlar.

La última fase busca monitorear el proceso con el fin de mantener las mejoras implementadas. En esta etapa se busca asegurar la autogestión de un proceso para que

los resultados logrados en la fase Mejorar continúen (Go Lean Six Sigma, s.f). Por esto, se efectuó un plan de control. Este documento permite detectar cambios en el proceso cuando éstos ocurren. Así, se define los procesos a controlar y tener claras las decisiones que se deben tomar en caso de requerir acciones correctivas (International Six Sigma Institute, 2022). Con esto además se obtendrá documentación del control que se busca mantener sobre el cambio en el proceso.

Resultados

Definir.

Project charter.

Como se definió anteriormente en las herramientas a utilizar, se elaboró un *Project Charter*. En este se definió el problema a tratar, los beneficios del proyecto y su objetivo. El problema por resolver se centró en el sobrepeso que se presenta en todas las unidades de 8 SKUs pertenecientes a la empresa panificadora. Dichos SKUs fueron preseleccionados por la empresa según su criterio basado en sus estudios previos al inicio del presente proyecto. Los beneficios de solucionarlo son económicos ya que se incrementaría la utilidad neta proveniente de los SKUs bajo estudio. Por esto, la meta de este proyecto es minimizar el rango de sobrepeso que actualmente se presenta en la empresa. Asimismo, se detalló la línea de tiempo del proyecto, su alcance y los involucrados. Dicho *Project Charter* se evidencia en la Figura 15.

Swimlane diagram.

Para conocer mejor el proceso que se estudió para resolver el problema, se elaboró un Swimlane Diagram. De esta forma se pudo visualizar la intervención de diez equipos; el Equipo Comercial, el Equipo de Planificación, el Equipo de Bodega Materia

Prima, Equipo de Producción, Equipo de Calidad, Equipo de Bodega Producto Terminado, Equipo de Supervisores y Digitadores, Equipo de Logística y Equipo de Transporte. Asimismo, en este diagrama de flujo se describe dicho proceso de elaboración de pan desde que es tomado el pedido del cliente hasta que el pedido es completado y sale de planta para su respectiva entrega. Dicho *Swimlane Diagram* se presenta en la Figura 16.

Medir.

Una vez definido al proyecto a detalle, en la fase Medir se recolectaron datos de 8 SKUs, mismos que fueron preseleccionados en base a estudios previos al presente proyecto. Dichos SKUs son producidos en dos líneas de producción diferentes, esto se evidencia en la Tabla 1.

Tabla 1. *Líneas de producción de los SKUs de interés*

Línea de producción	SKUs
Línea 1	<ul style="list-style-type: none"> ● Integral 2 ● Sanduchero 2 ● Sanduchero 3
Línea 2	<ul style="list-style-type: none"> ● Pan Blanco 1 ● Pan Blanco 3 ● Pan Ajonjolí ● Bollería Hamb ● Bollería HD 2

Para esto se acompañó a cada SKU a lo largo de todo su proceso de producción; es decir, se iniciaron las mediciones en la etapa de Amasado siguiendo por División, Leudo, Horno, Enfriamiento y Empaque. Adicionalmente, se realizaron mediciones durante la vida útil del producto con un monitoreo cada dos días hasta que culmine su vida útil. Cabe recalcar que según la Federación Empresarial de Agroalimentación de la Comunidad Valencia la vida útil del pan culmina tras 21 días después de haber sido

elaborada (FEDACOVA, 2020), este es el mismo período de tiempo que maneja la empresa panificadora ecuatoriana.

Variables de interés.

La variable de interés que se midió fue el peso por unidad de producto en todas las etapas del proceso productivo. Adicionalmente, se realizaron mediciones de varios parámetros de interés para la empresa y que se busca entender cómo influye cada uno sobre la variable respuesta. Jerome, R., Singh, S., & Dwivedi, M. (2019) realizaron una revisión analítica del proceso de la industria panadera y en éste evidencian la importancia de mantener bajo control los parámetros para controlar la mezcla de la masa, la tasa de fermentación, las características del horno y analizar la calidad del producto terminado. Por tanto, ellos mencionan que los parámetros críticos en Amasado son el tiempo y velocidad de mezcla, entre otros; en la fermentación es la cantidad de humedad, tiempo de fermentación y temperatura, entre otros; en Horno mencionan únicamente parámetros relacionados al pan mas no al horno en sí; y en producto terminado el contenido de humedad, entre otros (Jerome, R., Singh, S., & Dwivedi, M., 2019). Dadas las variables de interés de la empresa y el estudio antes mencionado donde evidencian la importancia de varios de los parámetros que fueron parte de la recolección de datos, se detallan todas las variables del proceso recopiladas según la línea de producción (denotadas como L1: Línea 1 y L2: Línea 2) ya que los parámetros de Leudo y Horno son propios de cada línea. Se adicionan las variables de temperatura y humedad del ambiente para determinar la influencia de las condiciones ambientales sobre la variable respuesta estudiada, lo cual se evidencia en la Tabla 15.

Plan de recolección de datos.

Una vez definidas las variables a medir, se realizaron planes de recolección de datos para cada subproceso. En estos se describen las medidas detalladamente, el tipo de dato que será; mismos que en su mayoría son de tipo continuo, cuál es su definición operacional, bajo qué factores de estratificación se tomaron los datos, notas de muestreo que describen más detalles sobre cada medida; y quién y cómo se tomó medida. En este caso, todas las medidas fueron realizadas por los autores del presente proyecto. Dichos planes de recolección de datos se observan en la Figura 17 hasta la Figura 26.

Muestreo de datos.

Una vez determinado el plan de recolección de datos se definió el método de muestreo accidental o consecutivo. Según Otzen y Manterola, en éste se toman ciertos casos o mediciones hasta completar el tamaño de muestra deseado. Estos son elegidos de manera casual de tal modo que quienes toman los datos eligen el lugar donde se medirán aquellos que se encuentren a su disposición (Otzel & Manterola, 2017). Después, es necesario establecer el tamaño de muestra para lo cual se obtuvo data histórica de tres meses, específicamente los datos desde inicios de mayo de 2022 hasta finales de agosto del mismo año. Dado que se conoce la población, Aguilar explica que es necesario utilizar una fórmula en específico para obtener el tamaño de muestra cuando se conoce la población y la proporción de interés (Aguilar, 2005). Con la siguiente fórmula se obtuvo el tamaño de muestra (n) en base a la proporción de rechazos:

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p \cdot (1-p)}{(N-1) \cdot e^2 + Z^2 \cdot p \cdot (1-p)}$$

(Aguilar, 2005)

Se consideró a la población (N) como el total de los panes *Ingresados*, para el valor Z (Z^2) se consideró un nivel de confianza del 95% y para el error estándar (e) 3%. Según Fallas los intervalos de confianza más usados son 90, 95 y 99% (Fallas, 2012) por lo que se valida el uso del intervalo seleccionado. Asimismo, para el error estándar el INEC establece que este no debe superar el 5% para un tamaño de muestra en una población finita. (INEC, 2020). Por otro lado, la proporción de *Rechazos* permitió obtener la proporción de unidades producidas y aprobadas. Considerando lo antes mencionado se obtuvieron los tamaños de muestra para cada SKU en la Tabla 2. Con el fin de estandarizar el tamaño de muestra se tomó el máximo de tamaño de muestra, es decir, 85 para cada SKU.

Tabla 2. *Tamaño de muestra*

SKU	Población	%Rechazo	Tamaño de muestra
Pan Blanco 1	679187	2,02%	85
Pan Blanco 3	407292	1,81%	76
Bollería Hamb	200628	0,68%	29
Bollería HD 2	150409	0,59%	26
Sanduchero 3	271653	0,69%	30
Sanduchero 2	466173	0,65%	28
Integral 2	813870	0,51%	22
Pan Ajonjolí	279780	0,50%	22

Limpieza y depuración de datos.

Una vez finalizada la toma de datos, se procedió a realizar limpieza y depuración de estos. Se identificaron los datos atípicos por subproceso mediante el método de distancia media, el cual, de acuerdo con Hernández se basa en la determinación de primer, segundo y tercer cuartil de la base de datos para obtener el rango intercuartil. Con éste se determinó que las observaciones que superan 1.5 veces el rango intercuartil son valores atípicos (Hernández, 2015). Se consideró este método para la determinación de datos atípicos ya que existen otros métodos que se basan en la media de los datos, sin embargo, según Abellana y Farran la media es sensible a las observaciones extremas,

mientras que la mediana no (Abellana & Farran, 2015). Una vez identificados dichos datos atípicos, se los removió tras encontrar causas específicas de los mismos.

Intervalos de confianza.

Con la base de datos ya depurada, se obtuvieron los intervalos con una confianza del 95% para los estimadores de la media y desviación estándar. Estos se calcularon ya que, según Fuentelsaz es mejor una afirmación hecha por un intervalo de confianza que una estimación puntual, esto dado que el intervalo permite cuantificar la magnitud del error asociado a la estimación (Fuentelsaz, 2004). Se los calculó por SKU y para cada uno de sus subprocesos correspondientes como se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. *Intervalos de confianza por SKU y subproceso*

SKU	División		Leudo		Leudo con decorado		Horno		Enfriamiento	
	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ
Plan blanco 1	(653; 653)	(3; 4)	(649; 650)	(4; 5)			(598; 600)	(6; 8)	(576; 578)	(6; 7)
Plan blanco 3	(562; 563)	(3; 4)	(557; 558)	(4; 5)			(508; 510)	(7; 8)	(487; 488)	(5; 6)
Integral 2	(703; 704)	(2; 3)	(700; 701)	(3; 3)			(624; 626)	(5; 6)	(601; 602)	(5; 6)
Sanduchero 2	(944; 945)	(4; 5)	(941; 942)	(4; 5)			(848; 851)	(6; 9)	(825; 827)	(8; 9)
Sanduchero 3	(948; 949)	(4; 5)	(938; 941)	(8; 11)			(856; 858)	(5; 7)	(826; 828)	(8; 9)
Pan Ajonjolí	(572; 573)	(3; 4)	(586; 588)	(5; 6)			(549; 551)	(6; 8)	(534; 536)	(5; 6)
Bollería Hamb	(87; 88)	(2; 3)	(86; 86)	(2; 2)	(88; 89)	(2; 3)	(80; 81)	(2; 3)	(78; 82)	(2; 5)
Bollería HD 2	(87; 87)	(2; 3)	(86; 86)	(2; 3)	(88; 89)	(2; 2)	(80; 81)	(3; 4)	(77; 78)	(3; 3)

Analizar.

Intervalos de tolerancia.

En esta etapa se realizó una prueba de normalidad para cada subproceso de los diferentes SKUs. Esto con el objetivo de identificar los intervalos de tolerancia ya que, según Prades, existen aproximaciones paramétricas y no paramétricas que permiten estimar estos intervalos (Prades, 2016). Como ejemplo, se observa en la Figura 1 los intervalos de tolerancia para *Sanduchero 2*.

Intervalo de tolerancia de 95%	Intervalo de tolerancia de 95%	Intervalo de tolerancia de 95%																																																						
Subproceso de División	Subproceso de Horno	Subproceso de Enfriamiento																																																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Estadísticas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>N</td> <td>209</td> </tr> <tr> <td>Media</td> <td>944,6</td> </tr> <tr> <td>Desv.Est.</td> <td>4,1</td> </tr> <tr> <th colspan="2">No paramétrico</th> </tr> <tr> <td>Inferior</td> <td>936</td> </tr> <tr> <td>Superior</td> <td>954</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Confianza lograda</td> </tr> <tr> <td colspan="2">95,2%</td> </tr> </tbody> </table>	Estadísticas		N	209	Media	944,6	Desv.Est.	4,1	No paramétrico		Inferior	936	Superior	954	Confianza lograda		95,2%		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Estadísticas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>N</td> <td>92</td> </tr> <tr> <td>Media</td> <td>849,7</td> </tr> <tr> <td>Desv.Est.</td> <td>7,7</td> </tr> <tr> <th colspan="2">Normal</th> </tr> <tr> <td>Inferior</td> <td>832,3</td> </tr> <tr> <td>Superior</td> <td>867,1</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Confianza lograda</td> </tr> <tr> <td colspan="2">95%</td> </tr> </tbody> </table>	Estadísticas		N	92	Media	849,7	Desv.Est.	7,7	Normal		Inferior	832,3	Superior	867,1	Confianza lograda		95%		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Estadísticas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>N</td> <td>177</td> </tr> <tr> <td>Media</td> <td>825,6</td> </tr> <tr> <td>Desv.Est.</td> <td>8,7</td> </tr> <tr> <th colspan="2">No paramétrico</th> </tr> <tr> <td>Inferior</td> <td>804</td> </tr> <tr> <td>Superior</td> <td>842</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Confianza lograda</td> </tr> <tr> <td colspan="2">97,9%</td> </tr> </tbody> </table>	Estadísticas		N	177	Media	825,6	Desv.Est.	8,7	No paramétrico		Inferior	804	Superior	842	Confianza lograda		97,9%	
Estadísticas																																																								
N	209																																																							
Media	944,6																																																							
Desv.Est.	4,1																																																							
No paramétrico																																																								
Inferior	936																																																							
Superior	954																																																							
Confianza lograda																																																								
95,2%																																																								
Estadísticas																																																								
N	92																																																							
Media	849,7																																																							
Desv.Est.	7,7																																																							
Normal																																																								
Inferior	832,3																																																							
Superior	867,1																																																							
Confianza lograda																																																								
95%																																																								
Estadísticas																																																								
N	177																																																							
Media	825,6																																																							
Desv.Est.	8,7																																																							
No paramétrico																																																								
Inferior	804																																																							
Superior	842																																																							
Confianza lograda																																																								
97,9%																																																								

Figura 1. Intervalo de tolerancia para los subprocesos de Sanduchero 2

Con dichos intervalos y los límites de especificación que manejan actualmente dentro de la empresa en los subprocesos de División, Horno y Enfriamiento se realizó una comparación, en todos los SKUs, para determinar si estos coinciden. Esta comparación se observa en la Tabla 4. En ésta se identifica que, en la mayoría de SKUs, coinciden en el subproceso de División. Mientras que, en el subproceso de Enfriamiento, estos difieren en la mayoría de los casos.

Tabla 4. Comparación límites de especificación e intervalos de confianza

SKU	Límites de especificación			Intervalos de tolerancia		
	División	Horno	Enfriamiento	División	Horno	Enfriamiento
Pan blanco 1	(645; 660)	(580; 595)	(561,5; 568,5)	(645; 659)	(581; 614)	(561; 592)
Pan blanco 3	(555; 570)	(499; 514)	(456; 469)	(555; 570)	(492; 524)	(476; 499)
Integral 2	(695; 710)	(625; 640)	(575; 595)	(698; 710)	(612,9; 636,4)	(589,8; 612,7)
Sanduchero 2	(935; 950)	(841; 856)	(806;838)	(936; 954)	(832; 867)	(804;842)
Sanduchero 3	(940; 955)	(846; 861)	(806; 834)	(938; 958)	(844; 870)	(812; 846)
Pan Ajonjolí	(565; 580)	(508; 523)	(521,5; 528,5)	(564; 581)	(527; 568)	(519; 548)
Bollería Hamb	(81; 91)	(72; 87)	(72; 84)	(82,5; 92)	(74; 88)	(71; 83)
Bollería HD 2	(81; 91)	(72; 87)	(75,5; 85,5)	(82; 92)	(74; 88)	(71,5; 83)

Distribución estadística de los datos.

Considerando lo antes mencionado, se evidenció que varios subprocesos de los diferentes SKUs no pasan la prueba de normalidad. Es por esto que se utilizó el software *JMP Statistical Discovery LLC*, con el objetivo de realizar un análisis básico de datos (JMP, 2022a). En específico, se determinó el ajuste de la distribución para una variable continua que, en este caso, es el peso de la masa o pan. Las distribuciones

obtenidas con sus parámetros teóricos se observan en la Tabla 5. Mientras que en la Tabla 16 se observan las distribuciones con sus respectivos parámetros puntuales. En resumen, se obtuvieron distribuciones de tipo Normal, Log-normal, SHASH, Mezcla de 2 normales y Mezcla de 3 normales.

Tabla 5. *Distribuciones estadísticas con sus parámetros teóricos*

Formato	División	Leudo	Leudo con decorado	Horno	Enfriamiento
Pan blanco 1	SHASH ($\gamma; \delta; \theta; \sigma$)	Log-normal ($\mu; \sigma$)		Log-normal ($\mu; \sigma$)	Log-normal ($\mu; \sigma$)
Pan blanco 3	Normal ($\mu; \sigma$)	Normal ($\mu; \sigma$)		Log-normal ($\mu; \sigma$)	Normal ($\mu; \sigma$)
Integral 2	SHASH ($\gamma; \delta; \theta; \sigma$)	Mezcla de 2 normales ($\mu_1; \mu_2; \sigma_1; \sigma_2; \pi_1; \pi_2$)		Log-normal ($\mu; \sigma$)	Normal ($\mu; \sigma$)
Sanduchero 2	Log-normal ($\mu; \sigma$)	Normal ($\mu; \sigma$)		Log-normal ($\mu; \sigma$)	SHASH ($\gamma; \delta; \theta; \sigma$)
Sanduchero 3	Log-normal ($\mu; \sigma$)	Mezcla de 2 normales ($\mu_1; \mu_2; \sigma_1; \sigma_2; \pi_1; \pi_2$)		Log-normal ($\mu; \sigma$)	Mezcla de 2 normales ($\mu_1; \mu_2; \sigma_1; \sigma_2; \pi_1; \pi_2$)
Pan ajonjolí	Log-normal ($\mu; \sigma$)	Normal ($\mu; \sigma$)		SHASH ($\gamma; \delta; \theta; \sigma$)	SHASH ($\gamma; \delta; \theta; \sigma$)
Bollería Hamb	Normal ($\mu; \sigma$)	Mezcla de 2 normales ($\mu_1; \mu_2; \sigma_1; \sigma_2; \pi_1; \pi_2$)	Log-normal ($\mu; \sigma$)	SHASH ($\gamma; \delta; \theta; \sigma$)	Mezcla de 3 normales ($\mu_1; \mu_2; \mu_3; \sigma_1; \sigma_2; \sigma_3; \pi_1; \pi_2; \pi_3$)
Bollería HD 2	Normal ($\mu; \sigma$)	Mezcla de 3 normales ($\mu_1; \mu_2; \mu_3; \sigma_1; \sigma_2; \sigma_3; \pi_1; \pi_2; \pi_3$)	Normal ($\mu; \sigma$)	SHASH ($\gamma; \delta; \theta; \sigma$)	Mezcla de 2 normales ($\mu_1; \mu_2; \sigma_1; \sigma_2; \pi_1; \pi_2$)

En el caso de las distribuciones Log-normal, según Tamborero y Cejalvo, cuando ésta decrece en términos de σ es más simétrica. En otras palabras, dado el caso que $\sigma < 0,2$ la distribución log-normal se aproxima a la distribución normal (Tamborero, & Cejalvo, s.f). Al analizar cada distribución Log-normal se identificó que, en cada uno de los casos se cumple que $\sigma < 0,2$, por lo cual se las aproxima a su distribución Normal. En cuanto a la distribución SHASH, se sabe que se basa en una transformación de la distribución normal, sin embargo, contiene a la distribución normal como un caso especial (JMP, 2022b). Según Rubio, Ogundimu, & Hutton, cuando los parámetros de la distribución SHASH son $\gamma = 0$ y $\delta = 1$ se aproxima a una distribución normal con $\mu = 0$ y $\sigma = 1$ (Rubio, Ogundimu, & Hutton, 2016). Sin embargo, en todos los casos los valores de γ y δ , se aproximan a 0 y 1; respectivamente. En otras palabras,

son cercanos ya que al redondearlos coinciden con los parámetros antes mencionados. Es por esto que se aproxima a la distribución normal con sus respectivos parámetros. Por otro lado, las distribuciones de mezcla de dos o tres normales, según Rossi la mezcla de escalas de una distribución normal únicamente altera las colas de la distribución, sin embargo, la distribución resultante sigue siendo simétrica. Además, explica que cuando la varianza es considerablemente pequeña se puede aproximar a una distribución normal a un grado arbitrario de precisión (Rossi, 2014). Considerando lo antes mencionado, fue posible estandarizar las distribuciones estadísticas, siendo todas distribuciones normales con sus respectivos parámetros como se observa en la Tabla 6.

Tabla 6. *Aproximación a la distribución normal con sus parámetros puntuales*

Formato	División	Leudo	Leudo con decorado	Horno	Enfriamiento
Pan blanco 1	Normal (653,15; 3,37)	Normal (649,3; 4,41)		Normal (598,69; 6,77)	Normal (577,08; 6,82)
Pan blanco 3	Normal (562,54; 3,63)	Normal (557,64; 4,61)		Normal (508,79; 7,38)	Normal (487,59; 5,36)
Integral 2	Normal (703,15; 2,72)	Normal (700,88; 2,81)		Normal (624,65; 5,32)	Normal (601,21; 5,39)
Sanduchero 2	Normal (944,56; 4,13)	Normal (941,26; 4,57)		Normal (849,7; 7,74)	Normal (825,63; 8,67)
Sanduchero 3	Normal (948,08; 4,17)	Normal (939,4; 9,43)		Normal (857,32; 5,85)	Normal (826,96; 8,57)
Pan Ajonjolí	Normal (572,2; 3,72)	Normal (586,68; 5,61)		Normal (550,10; 6,86)	Normal (535,13; 5,75)
Bollería Hamb	Normal (87,45; 2,35)	Normal (86,13; 2,05)		Normal (88,60; 2,37)	Normal (80,75; 2,55)
Bollería HD 2	Normal (87,09; 2,37)	Normal (85,97; 2,22)	Normal (88,53; 1,87)	Normal (80,35; 3,31)	Normal (77,47; 2,82)

Intervalos basados en la distribución estadística.

Una vez definidas las distribuciones se buscó conocer el intervalo en el cual se encuentran el 99,7% de los datos (Navidi, 2006). En otras palabras, en base a los datos recolectados, se calcularon los límites superiores (LS) e inferiores (LI) para cada SKU y subprocesos correspondientes con la siguiente fórmula.

$$\mu \pm 3\sigma$$

Esto se calculó de acuerdo con la μ y σ de cada subproceso en particular. Como ejemplo en particular, en la Tabla 7, se calculan los límites para *Sanduchero 2*.

Tabla 7. Cálculo de límites del 99,7% de los datos de *Sanduchero 2*

Límites	División	Horno	Enfriamiento
Calculados (LC)	LI = $944,56 - 3(4,13) = 932$ LS = $944,56 + 3(4,13) = 957$	LI = $849,43 - 3(7,35) = 827$ LS = $849,43 + 3(7,35) = 871$	LI = $825,77 - 3(8,5) = 800$ LS = $825,77 + 3(8,5) = 851$
Especificación (LE)	LI = 935 LS = 950	LI = 841 LS = 856	LI = 806 LS = 838

Posteriormente, con el objetivo de comparar los límites calculados con los de especificación de todos los SKUs se realizó la Tabla 17. Sin embargo, para demostrar esta comparación de manera visual se realizaron gráficos de barras. Tague explica que éste indica las variables categóricas de interés mediante la longitud de las barras (Tague, 2005). Es por esto que en la Figura 2, se observa como *LC* los límites calculados y como *LE* los límites especificados para el SKU en cuestión.

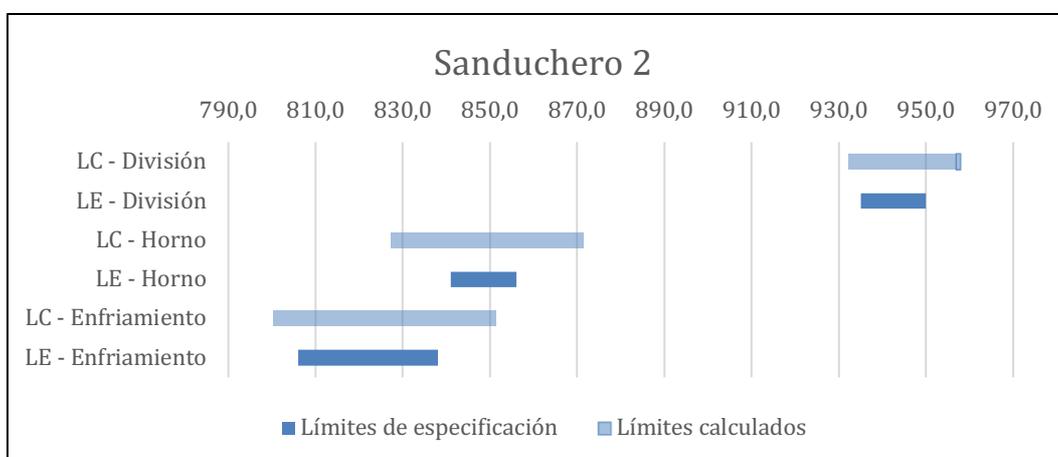


Figura 2. Comparación gráfica de los límites para *Sanduchero 2*

Adicionalmente, esta comparación se observa, para cada SKU, desde la Figura 27 hasta la Figura 33. Por otro lado, con el fin de determinar la cantidad de peso que se pierde durante el proceso y su vida útil, se obtuvo por SKU los gramos y su representación porcentual de dicha pérdida. Además, se obtuvo el porcentaje de pérdida de humedad durante su vida útil. Esto se evidencia en la Tabla 8.

Tabla 8. *Pérdida de peso y humedad de cada SKU*

Formato	Pérdida de peso en el proceso		Vida útil peso		Vida útil humedad	
	%	gr	%	gr	%	%HR
Plan blanco 1	(11,57; 11,72)	(75,63; 76,51)	(0,50; 1,03)	(3; 6)	(1,50; 4,54)	(0,53; 1,56)
Plan blanco 3	(13,27; 13,38)	(74,68; 75,23)	(0,60; 1,81)	(3; 9)	(2,50; 5,92)	(0,91; 2,09)
Integral 2	(14,44; 14,55)	(101,61; 102,27)	(0,66; 1,46)	(4; 9)	(5,72; 7,35)	(2,02; 2,52)
Sanduchero 2	(12,49; 12,66)	(118,09; 119,49)	(0,47; 0,71)	(4; 6)	(1,30; 1,54)	(0,46; 0,53)
Sanduchero 3	(12,70; 12,85)	(120,49; 121,74)	(0,60; 0,86)	(5; 7)	(1,82; 3,01)	(0,65; 1,03)
Pan Ajonjolí	(8,77; 8,81)	(51,36; 51,74)	(0,36; 0,74)	(2; 4)	(13,23; 13,53)	(4,02; 4,24)
Bollería Hamb	(12,47; 12,48)	(11,01; 11,09)	(0,46; 0,96)	(4; 6)	(8,23; 9,81)	(2,79; 3,25)
Bollería HD 2	(12,39; 12,60)	(11,01; 11,12)	(0,65; 0,87)	(4; 5)	(12,98; 13,86)	(4,53; 4,67)

Algoritmo de aprendizaje supervisado.

Por otro lado, para determinar la importancia de las variables que influyen en el peso del pan a lo largo del proceso productivo, se realizó un algoritmo de aprendizaje supervisado denominado *Random Forest* para regresión. Este es un conjunto de árboles predictores que se combinan para obtener una respuesta más precisa que la que se calcula con solo un modelo. Además, este algoritmo requiere únicamente que los datos analizados sean continuos al ser un algoritmo no paramétrico (Cutler et al., 2011). Una vez realizada esta regresión, se calculó la importancia que tiene cada variable lo cual permite puntuar el efecto de las variables estudiadas sobre la variable de respuesta (Hastie, Tibshirani, & Friedman, 2008). En este caso, se buscó determinar a las variables que afectan al peso de cada SKU en todas las partes del proceso. La importancia de las variables para *Sanduchero 2* se evidencia en la Tabla 9.

Tabla 9. *Importancia de variables para Sanduchero 2*

Subproceso	Variable	Importancia
Leudo	Tiempo de leudo	0,159
	Humedad cámara de leudo (%HR)	0,313
	Temperatura cámara de leudo (°C)	0,529
Horno	Turbo 1	0
	Turbo 2	0
	Campana 1	0
	%Vapor	0
	Solera 1	0,003
	Solera 4	0,004
	Solera 2	0,005

	Solera 3	0,006
	Temperatura horno 4	0,007
	Campana 3	0,01
	Turbo 4	0,014
	Radio 4	0,016
	Turbo 3	0,016
	Campana 2	0,018
	Radio 2	0,019
	Radio 3	0,02
	Campana 4	0,049
	Tiempo cocción	0,056
	Radio 1	0,059
	Temperatura horno 3	0,087
	Temperatura horno 1	0,175
	Temperatura horno 2	0,434
Enfriamiento	Tiempo enfriamiento (min)	0,187
	Humedad Ambiente (%HR)	0,275
	Temperatura Ambiente	0,537

Además, las importancias de las variables para los demás SKUs se puede observar desde la Tabla 18 hasta la Tabla 24. Cabe recalcar que, con el fin de corroborar estos resultados, se calcularon las importancias de las variables bajo estudio con otro algoritmo de aprendizaje supervisado, *Gradient Boosting*. Esta técnica es el resultado de un conjunto de modelos débiles que resultan en un modelo más robusto (Fafalios, Charonyktakis, & Tsamardinos, 2020). Con esto, se obtuvieron las mismas variables que destacaban por su importancia en el modelo *Random Forest*.

Diagrama de Pareto.

Una vez obtenida la importancia de las variables para cada subproceso, se buscó determinar de manera objetiva las variables más importantes para cada uno de los casos. Según Tague, cuando hay muchas causas o, en este caso, variables, y se desea enfocar en las significativas, se utiliza un diagrama de Pareto. Este es un gráfico de barras que muestra visualmente de mayor a menor, las variables significativas (Tague, 2005). Además, se aplicó el principio 80/20 el cual explica que la mayoría de las consecuencias provienen de pocas causas (Koch, 2012). Es decir, el 80% de la variabilidad de los

pesos se derivan del 20% de variables estudiadas. Considerando lo antes mencionado se observa en la Figura 3, que para el *Sanduchero 2* en el subproceso de Leudo la *Temperatura y Humedad* de la cámara de leudo tienen una importancia del 84,1% con respecto al peso de la masa.

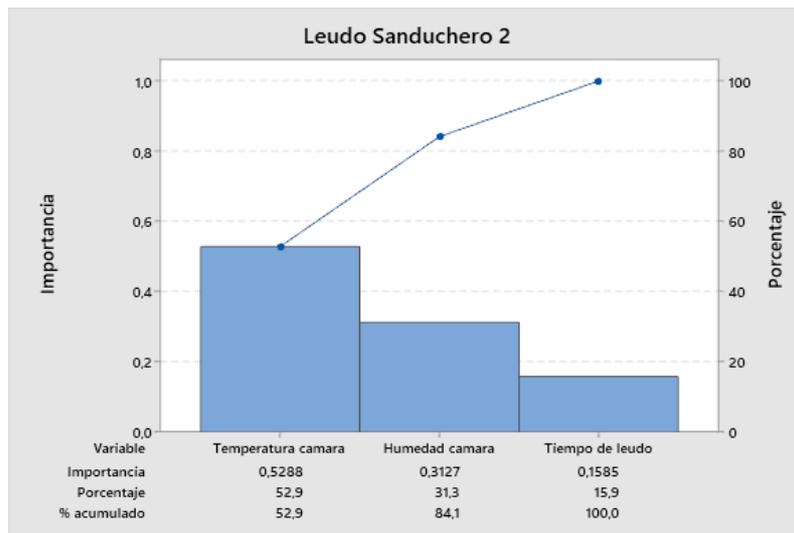


Figura 3. Diagrama de Pareto para Leudo de Sanduchero 2

En cuanto al subproceso de Horno, se observa en la Figura 4, que la *Temperatura horno 2 y Temperatura horno 1* tienen una importancia del 60,9% con respecto al peso del pan.

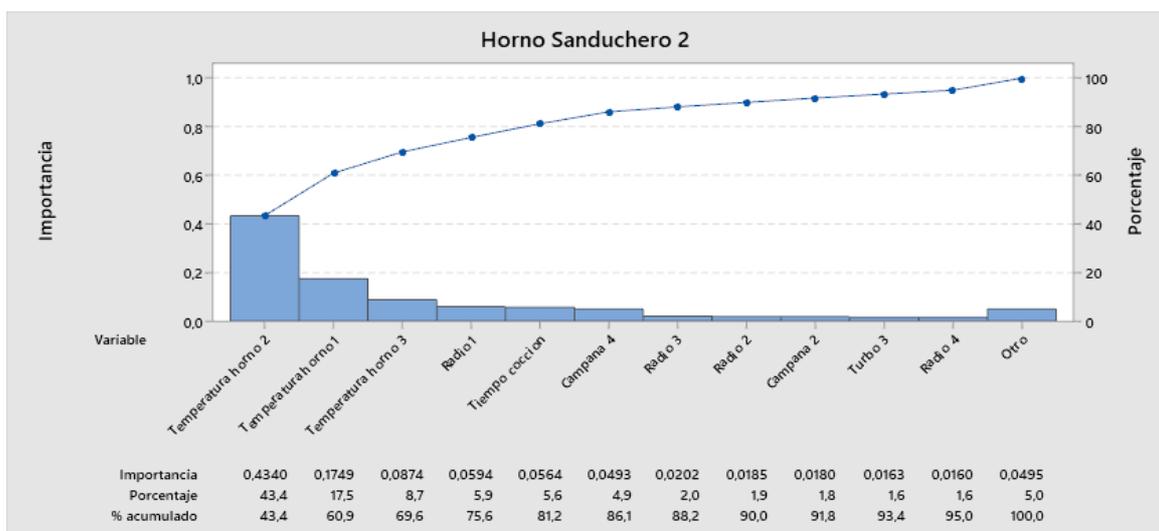


Figura 4. Diagrama de Pareto para Horno de Sanduchero 2

Con respecto al subproceso de Enfriamiento, se observa en la Figura 5, que la *Temperatura y Humedad Ambiente* tienen una importancia de 81,3% con respecto al peso del pan.

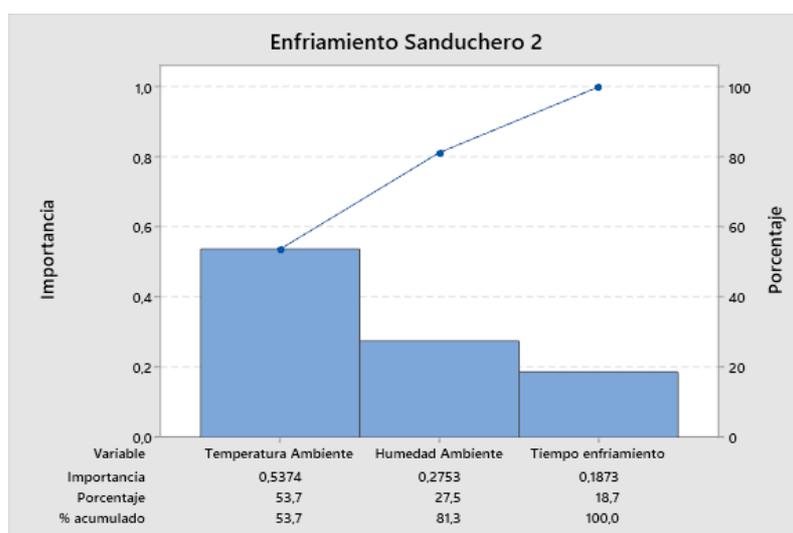


Figura 5. Diagrama de Pareto para Enfriamiento de Sanduchero 2

Adicionalmente, se realizó el mismo análisis para subproceso de los demás SKUs, estos se evidencian desde la Figura 34 hasta la Figura 51, donde las variables significativas o más importantes son aquellas que sumen, en el % *acumulado* de la gráfica de Pareto, el 80% de importancia total.

Diagrama de Ishikawa.

Adicionalmente, se realizó un diagrama de Ishikawa para identificar las causas del sobrepeso que se presenta en las unidades de los 8 SKUs bajo estudio. Este diagrama plantea las posibles causas del sobrepeso que se presenta durante el proceso productivo. El mismo se evidencia en el Figura 52. Tras éste y por los datos recolectados, se identificó que la principal causa de dicho sobrepeso es la variabilidad que se presenta actualmente en el proceso dados los cambios dentro del mismo y la falta

de estandarización. Asimismo, que esta variabilidad proviene en gran parte de la manipulación de parámetros por lo que es una causa raíz.

Mejorar.

Diseño experimental.

En esta etapa, se utilizó la información analizada para realizar mejoras que permitan reducir el sobrepeso actual. Por esto, al analizar la situación actual, se realizó un diseño experimental cuya finalidad es identificar el peso mínimo bajo el cual se puede producir las unidades de pan. Así, evitar que culminen con pesos excesivos y a su vez, sigan cumpliendo con la normativa INEN. Además, con esto se buscó identificar la mejor combinación de niveles de las variables que se identificó que tienen mayor importancia sobre el peso del pan y entender la influencia de estos parámetros. Para el diseño experimental propuesto se basó en el *Sanduchero 2* ya que es el SKU que se produce en mayor cantidad. Adicionalmente, como se muestra en la Figura 2, el subproceso donde se evidencia la mayor pérdida de peso es en el Horno y, de acuerdo con la Figura 4, los factores o variables más importantes que influyen en este subproceso son *Temperatura 2* y *Temperatura 1*, es decir, estos son los factores potenciales del diseño (Montgomery, 2013). Mientras que los otros factores del horno se mantuvieron fijos.

Los factores fijos o constantes tienen cierto efecto sobre el peso del pan; sin embargo, para el experimento no son de interés por su baja importancia en comparación con los factores potenciales. Es por esto que se definió un nivel específico para cada factor (Montgomery, 2013). Estos fueron determinados en base a la mediana de cada uno de los factores como se muestra en la Tabla 25. En este caso, se consideró la

mediana ya que según Abellana y Farran la media es sensible a las observaciones extremas, mientras que la mediana no (Abellana & Farran, 2015). Considerando lo antes mencionado se observa los factores con sus respectivos niveles en la Tabla 10

Tabla 10. *Factores fijos del experimento*

Subproceso	Factor	Nivel constante	Unidades
Leudo	Temperatura	40	°C
	Tiempo	57	Minutos
	Humedad	85	%
Horno	Temperatura zona 3	237	°C
	Temperatura zona 4	230	°C
	Solera zona 1	80	%
	Solera zona 2	94	%
	Solera zona 3	86	%
	Solera zona 4	86	%
	Radio solera 1	30	%
	Radio solera 2	40	%
	Radio solera 3	45	%
	Radio solera 4	46	%
	Turbo zona 1	80	%
	Turbo zona 2	95	%
	Turbo zona 3	85	%
	Turbo zona 4	85	%
	Campana zona 1	31	%
	Campana zona 2	40	%
	Campana zona 3	45	%
	Campana zona 4	45	%
		Tiempo	38
	Vapor	0	%
Enfriamiento	Tiempo	90	Minutos

Por otro lado, determinar el rango para los factores de diseño con los niveles con el máximo y mínimo de los datos no es posible, ya que estos son cercanos. Por esto, se definieron como niveles a temperaturas que superen en 15°C al valor máximo y sea menor en 15°C al valor mínimo. Estos niveles se tomaron al procurar que los niveles no contengan valores cercanos entre sí para evidenciar el efecto de éstos sobre la variable respuesta. A la vez, se buscó garantizar que, con los niveles elegidos, las unidades bajo experimentación no den como resultado masas crudas ni panes sobre cocidos con tonalidad oscura por posible quemadura. Considerando lo mencionado anteriormente,

en la Tabla 11 se observan los factores de diseño con sus niveles altos y bajos correspondientes.

Tabla 11. *Factores de diseño del experimento*

Factor	Nivel Bajo	Nivel Alto	Unidades
Temperatura zona 1	210	245	°C
Temperatura zona 2	220	255	°C

Una vez definidos los factores de diseño y fijos con sus respectivos niveles, el siguiente paso según Montgomery es identificar la variable de respuesta (Montgomery, 2013). En este caso es el peso en gramos del producto empacado, es decir, una variable continua. Considerando lo mencionado anteriormente, Montgomery sugiere como siguiente paso elegir el diseño experimental (Montgomery, 2013). Dado que se tiene 2 factores de diseño y 2 niveles se podría optar por un diseño factorial, lo cual implica 4 corridas o tratamientos. Sin embargo, este diseño debe ser completamente aleatorizado lo cual es una limitación porque la producción es en línea y los factores del horno no cambian inmediatamente. Es por esto que se consideró un diseño de parcelas divididas o *split-plot design*. Este diseño es utilizado cuando no es posible una aleatorización completa del orden de las corridas (Montgomery, 2013). Además, se caracteriza por incluir al menos un factor difícil de cambiar o aleatorizar debido a limitaciones de tiempo o costos, en este caso el factor *Temperatura 1* (Minitab, 2021).

En este experimento de parcelas divididas, el factor difícil de cambiar se mantiene constante durante 2 corridas las cual juntas se denominan parcela, mientras que el factor fácil de cambiar, *Temperatura 2*, se aleatoriza formando 2 subparcelas. En otras palabras, en 4 corridas se obtiene 2 parcelas completas y 4 subparcelas. Por otro lado, es importante considerar el factor perturbador ya que este tiene un efecto sobre la respuesta, pero no existe interés específico en el mismo (Montgomery, 2013). En este

caso es el factor *Día*, ya que se realizó el experimento en 3 días diferentes y no es de interés conocer el efecto de los días sobre el peso del producto terminado. Asimismo, en cada una de las corridas se probaron 3 pesos. Estos fueron determinados en base al porcentaje de pérdida desde el inicio del proceso hasta el final de su vida útil, el cual es 13% o 120gr. Con esto se determinó un peso mínimo inicial de al menos 920gr, un peso intermedio de 930gr y, finalmente, 940gr. El diseño experimental previamente descrito se presenta en la Tabla 12.

Tabla 12. *Diseño experimental*

Std	Bloque	Grupo	Corrida	Factor 1 Horno	
				Temperatura zona 1	Temperatura zona 2
4	Día 1	1	1	245	255
3	Día 1	1	2	245	220
1	Día 1	2	3	210	220
2	Día 1	2	4	210	255
6	Día 2	3	5	210	255
5	Día 2	3	6	210	220
8	Día 2	4	7	245	255
7	Día 2	4	8	245	220
12	Día 3	5	9	245	255
11	Día 3	5	10	245	220
9	Día 3	6	11	210	220
10	Día 3	6	12	210	255

Una vez corrido el experimento, se analizaron los resultados en el software *Design Expert* ya que este permite realizar el diseño experimental, analizar los datos y visualizarlos (Stat-Ease, 2022). Sin embargo, es importante determinar las pruebas de hipótesis para determinar si la *Temperatura 1* (α_i), *Temperatura 2* (β_j) o la interacción entre los factores ($\alpha\beta_{ij}$) tienen un efecto sobre la variable de respuesta (Montgomery, 2013), que en este caso es el peso de empaque. Las pruebas de hipótesis en cuestión son las siguientes:

$$H_0: \alpha_i = 0$$

$$H_0: \alpha_i \neq 0$$

$$H_0: \beta_j = 0$$

$$H_0: \beta_j \neq 0$$

$$H_0: \alpha\beta_{ij} = 0$$

$$H_0: \alpha\beta_i \neq 0$$

Resultados para el peso de 920gr.

En cuanto al peso de 920gr, en la Figura 6 se observa que la interacción entre los factores ($\alpha\beta_{ij}$) y la *Temperatura 2* (β_j) son significativos ya que su valor p es menor a 0,05. Por otro lado, la *Temperatura 1* (α_i) no es significativa; sin embargo, se la incluye por el principio de jerarquía dado que el modelo contiene un término de orden superior, que en este caso es la interacción ($\alpha\beta_{ij}$) (Montgomery, 2013).

	Source	Term	df	Error df	F-value	p-value	
	Whole-plot		1	2,00	10,23	0,0854	not significant
	a-Temperatura 1		1	2,00	10,23	0,0854	
	Subplot		2	4,00	16,60	0,0116	significant
	B-Temperatura 2		1	4,00	25,29	0,0073	
	aB		1	4,00	7,90	0,0483	

Figura 6. Efectos fijos para el peso de 920gr

Además, en la Figura 7 se evidencia los componentes de varianza, los cuales se determinan para conocer la proporción de variabilidad aportada por cada una de las fuentes (IBM, 2022). En este se observa que la varianza total es 9,96 de la cual el *Bloqueo* aporta 24,77%, el *Grupo* o parcela (cambio de la *Temperatura 1*) aporta 52,35% y *Residual* o subparcela (cambio de la *Temperatura 2*) aporta 22,88% de la varianza total.

	Source	Variance	% of Total	Standard Error	95% CI Low	95% CI High
	Block	2,47	24,77	6,48	-10,23	15,16
	Group	5,22	52,35	6,41	-7,34	17,77
	Residual	2,28	22,88	1,61	0,8181	18,82
	Total	9,96				

Figura 7. Componentes de varianza para el peso de 920gr

Por otro lado, en la Figura 8 se identifica la interacción entre los factores de diseño. Cuando la *Temperatura 1* y *Temperatura 2* están en su nivel alto, es decir, 245 °C y 255 °C respectivamente, el peso resultante es inferior a 800gr por lo que incumple la normativa INEN y la combinación de niveles es descartada. Cuando la *Temperatura 1* está en su nivel alto y la *Temperatura 2* en su nivel bajo, es decir, 245 °C y 220 °C respectivamente, el peso resultante es aproximadamente 800gr, sin embargo, no es un peso suficiente para garantizar el cumplimiento de la normativa INEN durante toda su vida útil. Cuando la *Temperatura 1* está en su nivel bajo, es decir, 210 °C, los niveles de la *Temperatura 2* son indiferentes al presentar el intervalo rojo y negro sobrepuestos. En este caso se observa que el peso resultante supera levemente los 800gr independientemente del nivel de la *Temperatura 2*. Esto tampoco aseguraría el cumplimiento de la normativa INEN por la razón detallada anteriormente.

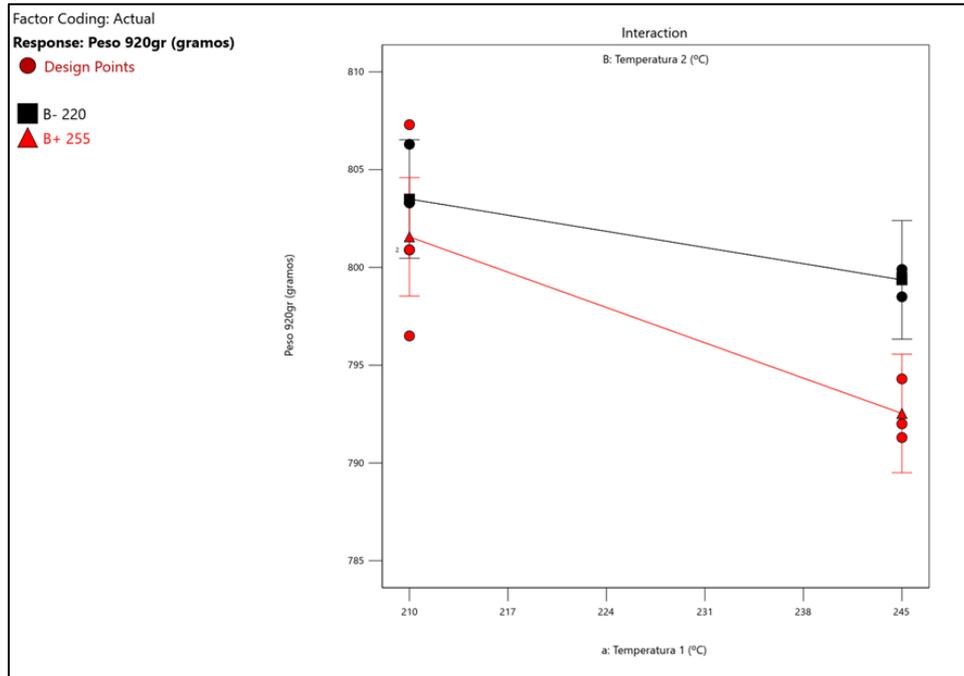


Figura 8. Gráfica de interacción para el peso de 920gr

Resultados para el peso de 930gr.

En cuanto al peso de 930gr, en la Figura 9 se observa que la interacción de los factores ($\alpha\beta_{ij}$) al igual que la Temperatura 2 (β_j) no son significativas, mientras que la Temperatura 1 (α_i) sí lo es al tener un valor p menor a 0,05.

	Source	Term	df	Error df	F-value	p-value	
	Whole-plot		1	4,00	8,13	0,0463	significant
	a-Temperatura 1		1	4,00	8,13	0,0463	
	Subplot		2	4,00	4,17	0,1050	not significant
	B-Temperatura 2		1	4,00	5,19	0,0851	
	aB		1	4,00	3,16	0,1501	

Figura 9. Efectos fijos para el peso de 930gr

En la Figura 10 se observan los componentes de varianza donde se evidencia que la varianza total es de 9,54 de la cual el *Bloque* no aporta variabilidad, es decir, 0%; el *Grupo* o parcela (cambio de la *Temperatura 1*) aporta 5,33% y *Residual* o subparcela (cambio de la *Temperatura 2*) aporta 94.67% de la variabilidad total. Aparentemente el Bloqueo no fue efectivo en este caso, sin embargo, en los otros 2 casos, 920 y 940gr,

este sí aporta variabilidad por lo que no se descarta esta fuente ya que se corrió el experimento con los 3 pesos simultáneamente.

Source	Variance	% of Total	Standard Error	95% CI Low	95% CI High
Block	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Group	0,5083	5,33	4,77	-8,85	9,87
Residual	9,03	94,67	6,38	3,24	74,54
Total	9,54				

Figura 10. Componentes de varianza para el peso de 930gr

Además, en la Figura 11 se observa en la interacción de factores de diseño que cuando la *Temperatura 1* y *Temperatura 2* está en su nivel alto, es decir, 245 °C y 255°C respectivamente, el peso resultante supera levemente los 800gr por lo que incumple la normativa INEN al no garantizar un peso mayor a 800gr durante 21 días. Cuando la *Temperatura 2* está en su nivel bajo, el peso resultante es 809gr lo cual sí supera los 800gr y cumplirá el peso estipulado en el empaque hasta el final de la vida útil. Sin embargo, esta combinación fue descartada ya que presentó tonalidad oscura en la corteza, por lo que no pasó la prueba de calidad. Por otro lado, cuando la *Temperatura 1* está en su nivel bajo, independientemente del nivel de la *Temperatura 2* ya que los intervalos de color rojo y negro están sobrepuestos, supera los 800gr y presenta un excedente el cual cubre la pérdida de peso durante la vida útil. Así, no se incumplirá la normativa INEN al final de la vida útil del producto. A este experimento de igual manera se le aplicó la prueba de calidad, la cual pasaron satisfactoriamente evaluando criterios de color, sabor, textura y apariencia.

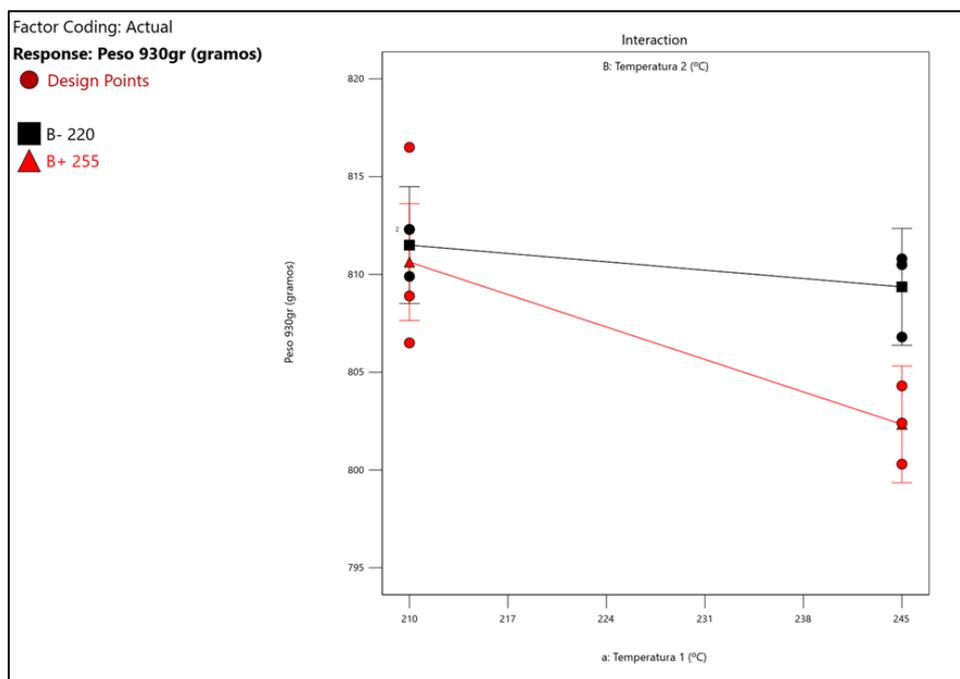


Figura 11. Gráfica de interacción para el peso de 930gr

Resultados para el peso de 940gr.

En cuanto al peso de 940gr, en la Figura 12 se observa que la interacción de los factores ($\alpha\beta_{ij}$) y los factores en particular; es decir, *Temperatura 1* y *Temperatura 2*, no son significativos ya que su valor p es mayor a 0,05.

	Source	Term	df	Error df	F-value	p-value	
	Whole-plot		1	2,00	6,53	0,1251	not significant
	a-Temperatura 1		1	2,00	6,53	0,1251	
	Subplot		2	4,00	2,55	0,1932	not significant
	B-Temperatura 2		1	4,00	2,72	0,1746	
	aB		1	4,00	2,38	0,1975	

Figura 12. Efectos fijos para el peso de 940gr

En los componentes de varianza, presentados en la Figura 13, se identifica que el *Bloqueo* aporta 12,71%, el *Grupo* o parcela (cambio de la *Temperatura 1*) aporta 21.02% y *Residual* o subparcela (cambio de la *Temperatura 2*) aporta 66,27% de la variabilidad total. Es importante recalcar que la varianza es 11,40. Dado que las interacciones y factores individuales no fueron significativos, no se debe analizar la gráfica de interacciones ya que no existe un efecto sobre el peso resultante. En otras

palabras, las temperaturas que se manejen dentro del horno, tanto en la zona 1 como en la zona 2, no tienen un efecto significativo sobre el peso del pan en el empaque con 940gr.

Source	Variance	% of Total	Standard Error	95% CI Low	95% CI High
Block	1,45	12,71	5,49	-9,31	12,20
Group	2,40	21,02	6,73	-10,79	15,58
Residual	7,56	66,27	5,34	2,71	62,40
Total	11,40				

Figura 13. Componentes de varianza para el peso de 940gr

Análisis de reducción de costos.

Dados los resultados obtenidos en el diseño experimental realizado, se propone realizar la reducción del peso a 930gr en la etapa de División. Esto genera un ahorro de recursos que equivale reducir los costos de producción. En base a información previa se conoce que el costo de producción por kilogramo del *Sanduchero 2* es de \$1,01; en teoría, por cada *batch* de masa resultante de la mezcla de ingredientes en amasado, se obtienen 238 unidades de pan y diariamente se producen al menos 10 *batches* de masas de este SKU en específico. Además, de acuerdo con la Tabla 3, este SKU inicia con 944gr en el subproceso de división. Considerando lo mencionado anteriormente, se determinó que el costo actual de producción con un peso inicial de 944gr es de \$0,95. Mientras que, al considerar un peso inicial de 930gr el costo se reduce a \$0,94. Dicho esto, se realizó la Tabla 13 para determinar el ahorro en distintos horizontes de tiempo.

Tabla 13. Comparación de los costos de producción

Unidad de tiempo	Masas	Costo actual	Costo propuesto	Ahorro monetario
Diario	10	\$ 2.269	\$ 2.236	\$ 34
Semanal	70	\$ 15.884	\$ 15.649	\$ 236
Mensual	280	\$ 63.537	\$ 62.595	\$ 942
Anual	3.360	\$ 762.447	\$ 751.139	\$ 11.307

En esta tabla se determinó que al considerar una producción de al menos 10 *batches* de masas diario se tiene un costo de \$2 269 con el peso inicial actual, mientras que con el peso propuesto tiene un costo de \$2 236 lo cual genera un ahorro diario de \$34 para este SKU en específico. En cuanto a un horizonte de tiempo anual, se observa que se tendría un ahorro de al menos \$11 307. Además, se realizó una comparación gráfica en la Figura 14 donde se evidencia el ahorro de 1,5% en los costos de producción trimestrales durante un año.



Figura 14. Comparación de costos mensual

Cabe recalcar que en la Figura 14 se determinó una proporción del ahorro obtenido tras la sugerencia. Esto dado que, en cuanto a energía, también se genera un ahorro por lo que, de acuerdo con el diseño experimental, se obtuvo nuevos parámetros para la temperatura de la zona 1 y zona 2 del horno, los cuales son inferiores a los utilizados actualmente. Esta reducción de temperatura en las dos zonas del horno también generaría cierto ahorro monetario, sin embargo, no fue posible cuantificarlo ya que se desconoce el consumo de electricidad del horno y del costo por cada unidad de energía del mismo.

Referencias de peso propuestas.

Con el objetivo de determinar nuevas referencias para el peso de 7 SKUs, ya que se excluye el SKU del diseño experimental, se basó en el porcentaje de pérdida presentado en la Tabla 8. Con esto se determinó el porcentaje de pérdida total, desde el inicio del proceso hasta el final de su vida útil para determinar el peso final de cada SKU con las referencias actuales. De esta forma se calculó el excedente del peso en gramos al comparar el peso objetivo con el peso fina. Una vez determinado el excedente, fue posible deducir las referencias actuales del peso para cada SKU que se presenta en la Tabla 14. Por otro lado, se implementó el rango de peso entre el límite inferior y superior que se maneja actualmente en las referencias actuales, es decir, 15gr. Sin embargo, para bollería se empleó un rango de al menos 30gr entre los límites, ya que cada paquete se conforma de 8 unidades y de esta forma se tiene un rango de al menos 4gr entre cada masa.

Tabla 14. *Referencias de peso actuales y propuestas*

Formato	% de pérdida	Referencia actual		Referencia propuesta	
		LI (gr)	LS (gr)	LI (gr)	LS (gr)
Pan blanco 1	13%	645	660	640	655
Pan blanco 3	15%	555	570	540	555
Integral 2	16%	695	710	690	705
Sanduchero 3	14%	940	955	935	950
Pan Ajonjolí	10%	565	580	560	575
Bollería Hamb	13%	648; 81	728; 91	650; 81	680; 85
Bollería HD 2	13%	648; 81	728; 91	650; 81	680; 85

Quick wins.

Por otro lado, basándose en la información recolectada acerca de las causas raíz del sobrepeso actual de las unidades de pan, se propusieron *Quick wins* para mejorar el problema a través de la reducción de la variabilidad presente en el proceso. Dichas mejoras rápidas se detallan a continuación.

- Colocar los parámetros actuales establecidos para cada máquina de forma física: realizar impresiones con los parámetros establecidos por SKU para la cámara de leudo y horno de ambas líneas. Esto con la finalidad de que se mantengan fijos los parámetros y no haya una variación de éstos en un mismo SKU.
- Reporte de cambios en los parámetros: si bien es cierto se busca mantener fijos los parámetros actuales, dada las condiciones ambientales y propias de la masa puede ser necesario la manipulación de los parámetros. Por esto, un reporte de cambios indicando qué parámetro se manipuló y la causa permitirá tener un mayor control sobre la estabilidad de los parámetros y limitar el cambio de los parámetros sin justificación.
- Calibración de la balanza de la banda transportadora: al realizar la recolección de datos, se pudo notar que la balanza de dicha banda tiene una diferencia de 4 gramos con respecto a las balanzas portátiles que se manejan en planta. Por esto, al calibrarla para eliminar esa diferencia, se podrá obtener una mayor precisión en cuanto a los pesos de las masas en la etapa de División
- Cambiar la balanza portátil y estabilizar su base: la balanza que se tiene actualmente en una de las líneas posee un error de al menos 2gr, lo cual genera ruido especialmente en SKUs con poco peso como son los de bollería. Además, la mesa donde reposa dicha balanza tiene inconvenientes en sus patas y ésta se tambalea lo cual afecta a la precisión de la respuesta por lo que es necesario reemplazarla por una mesa que ofrezca estabilidad o en su defecto, colocar una base fija
- Política de evasión de control de pesos manual: con el fin de reducir la variabilidad que inicia en la etapa de División presente en las masas, crear la condición de que todas las masas que avancen a los siguientes subprocesos

deben pasar por la balanza en línea, es decir, la balanza presente en la banda transportadora para evitar que los operadores manipulen las masas de forma manual

- Política de control de máquina de División: dar conocimiento a los operadores de las máquinas de División de ambas líneas sobre la importancia del monitoreo constante de las masas divididas y que se registren los pesos obtenidos en su base de datos. De esta forma, los operadores estarán más pendientes de cambios en la máquina que ocurren sin previo aviso y ocasionan que las masas estén únicamente cerca del límite superior o inferior por lo que ocasionará panes con sobrepesos excesivos o pesos por debajo de la normativa. Cabe recalcar que este monitoreo necesita ser constante en el momento en que se presentan los cambios de SKUs ya que es donde más masas están sujetas a cambios en sus pesos
- Política para el cambio de turno en Amasado: es necesario definir que el cambio de turno sea cuando no hay masas esperando a pasar a División. Así, no se desampara ninguna masa mezclada y espere más del tiempo para evitar que éstas leuden lo que genera variabilidad en división de al menos 50gr
- Política de comunicación constante entre Amasado y División: es necesario mantener una estrecha comunicación entre los encargados de estos subprocesos ya que en caso de que ocurra un paro en la máquina de División, se pueda dar aviso a los operadores de Amasado para que detengan la mezcla. Esto ayudará a evitar la variabilidad que se presenta de al menos 50gr por masa leudada esperando a que la máquina de División se active y pueda seguir con el proceso.
- Política de intervención en el espiral de Enfriamiento: con el fin de evitar que se añada variabilidad al peso de los panes, es necesario establecer una prohibición para evitar que los operadores interrumpan este subproceso al bajar

manualmente el pan desde el espiral de enfriamiento a la banda transportadora de empaque. Esto genera que el pan termine empacado con una temperatura interna mayor a la estipulada.

Controlar.

Plan de control.

Una vez realizadas todas las etapas precedentes de DMAIC, es necesario diseñar y documentar controles que aseguren los resultados una vez que los cambios de las mejoras hayan sido implementados (Pérez, E. & García, M., 2014). Para esto, se realizó un plan de control con el fin de examinar que se está cumpliendo con las mejoras propuestas anteriormente. El plan de control descrito es específico para cada mejora propuesta y se detallan en la Tabla 28. Cabe recalcar que, si bien es cierto que las herramientas utilizadas permiten garantizar los cambios propuestos, es necesario capacitar a los involucrados de todas las etapas del proceso para que se comuniquen la relevancia que tienen los cambios y cómo ayudarían a que el proceso actual sea más eficiente. Asimismo, realizar un seguimiento de los planes de control para garantizar que estén presentes en todo momento y así, evitar que se omitan las mejoras o su respectivo control.

Cabe recalcar que los planes de control detallados en este proyecto han sido propuestos en base a las observaciones realizadas y considerando situaciones repetitivas durante el tiempo que tomó la recolección de datos. En otras palabras, no son situaciones aisladas, sino que el control de las mejoras implementadas permitirá la reducción de errores que actualmente causan el sobrepeso de las unidades de pan producidas de los 8 SKUs estudiados.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La metodología DMAIC puede ser aplicada en muchas industrias, incluyendo la de alimentos como es el caso de aplicación del presente estudio en una empresa panificadora ecuatoriana. Esta metodología permite resolver inconvenientes a través del correcto entendimiento de la situación en cada una de sus fases. Es por esto que se inició estableciendo el objetivo del proyecto y sus beneficios; además, se visualizó el proceso que se analizó junto con sus involucrados. Tras esto, se realizó la recolección de datos para entender de forma cuantitativa el comportamiento de las variables estudiadas y la variable respuesta que fue el peso del pan de 8 SKUs.

Con esto se pudo analizar la información para determinar qué variables importan más al peso, la cantidad de peso que se pierde durante el proceso y a lo largo de su vida útil y, si actualmente el proceso funciona bajo los límites de especificación determinados por la empresa. Cabe recalcar que, entre las deducciones obtenidas, se identificó que el porcentaje de pérdida de peso de la empresa bajo estudio es menor a la que señala la literatura. Además, se confirmó que la etapa donde se presenta una mayor pérdida de peso es en Horno. Una vez identificada la situación actual de la empresa, se propusieron mejoras a través de un diseño experimental y *Quick wins*. Con el fin de asegurar los resultados a corto plazo obtenidos, se propuso un plan de control que permita asegurar los cambios realizados para consolidar las mejoras logradas. Dichas mejoras equivalen a un ahorro para la empresa de 1,5% de sus costos de producción al reducir aproximadamente 10 gramos en cada unidad de Sanduchero 2. Además, del configurar las nuevas temperaturas siendo Temperatura zona 1 de 210°C y Temperatura zona 2 de 220°C.

Como recomendación para la empresa bajo estudio, se sugiere realizar una corrida confirmatoria con los resultados del experimento para así, realizar un cambio permanente que permita un ahorro significativo en la producción. Asimismo, realizar este diseño experimental para los demás SKUs para confirmar si es posible reducir el peso planteado para cada uno y experimentar con los demás parámetros del Horno que estuvieron fuera del alcance del presente proyecto.

Por otro lado, se recomienda realizar un análisis cuyo objetivo sea determinar las causas comunes y específicas que se presentan dentro del proceso. Esto con el fin de eliminar aquellas específicas y con esto, reducir la variabilidad que actualmente se presenta. Asimismo, plantear un programa de control de calidad diaria dentro del proceso para entender la variabilidad propia del proceso relacionada con causas comunes y corregir en el instante en el que se presenten irregularidades para obtener un proceso con menor variabilidad. Por otro lado, se sugiere implementar los *Quick wins* planteados y seguir el plan de control expuesto en el presente estudio para mantener los resultados obtenidos y así, que el proceso sea eficiente en cada etapa de éste a través de su control y búsqueda de la estandarización.

LECCIONES APRENDIDAS Y SIGUIENTES PASOS

Entre las lecciones aprendidas durante la realización del presente proyecto cabe recalcar la importancia de los datos históricos. Esto ya que, si la empresa contara con dichos datos, se hubiese podido realizar comparaciones entre los éstos y los datos obtenidos y así, corroborar si la situación que los datos describen son irregularidades o en fechas anteriores se presentaban datos similares. También se hace hincapié en que los instrumentos de medición a utilizar deben estar calibrados para evitar que estos representen una fuente de variabilidad y distorsión en los datos obtenidos.

Si el proyecto se pudiera iniciar nuevamente, se tomarían datos bajo un cronograma basado en la aleatorización de los turnos de trabajo y se realizaría bajo una situación controlada con condiciones similares. Esto permitiría realizar un control estadístico de los subprocesos. Sin embargo, esto fue una limitación ya que los datos fueron recolectados según el plan de producción que varía todos los días con respecto al horario y turnos de trabajo en los cuales se realiza cada SKU.

Por otro lado, se tomarían más muestras para la supervisión de peso durante la vida útil con el fin de obtener una proporción estadísticamente significativa y obtener resultados más confiables de la pérdida de peso durante los 21 días. Otro cambio que se realizaría es la estandarización de los parámetros estudiados presentes en el proceso. De esta forma, se pudiera establecer una relación más directa entre el peso resultante del pan bajo igualdad de condiciones y así, no se considere como ruido dentro del proceso.

Los siguientes pasos tras este proyecto incluye una corrida confirmatoria con un lote regular de producción para confirmar los resultados obtenidos tras la experimentación y extrapolar el experimento hacia los demás SKUs que presentan sobrepeso. Tras esto, se debería implementar control de calidad en todas las etapas del

proceso y en todo momento. De esta forma, se podrán obtener resultados más precisos tras la respectiva eliminación de causas comunes, mismas que serán determinadas una vez se realice el control de calidad mencionado anteriormente. Con esto, se reducirá el problema relacionado a la variabilidad que se presenta en la actualidad para posteriormente, concentrarse en la búsqueda de mejora continua en otras áreas de la empresa por problemas que puedan presentarse o para conseguir una mayor eficiencia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, S. (2005). Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigación de salud. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/487/48711206.pdf>
- Alesina, L., Bertoni, M., Mascheroni, P., Moreira, N., Picasso, F., Ramirez, J., & Rojo, V. (s.f). Metodología de la investigación de Ciencias Sociales. Recuperado de: https://perio.unlp.edu.ar/catedras/mis/wp-content/uploads/sites/126/2020/04/p.2_batthianny_k._cabreram._cap_5__metodologia_de_la_investigacion....pdf
- Alkarkhi, A. F. M., & Alqaraghuli, W. A. A. (2020). Statistical Hypothesis Testing. *Applied Statistics for Environmental Science with R*, 57–86. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-818622-0.00005-8>
- Arriola, I. (2021). Aplicación de la metodología DMAIC para la reducción de mermas asociadas a las líneas de producción de yogurt de una empresa de lácteos. Recuperado de: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/52250>
- Avellana, R., & Farran, A. (2015). Identificación, impacto y tratamiento de datos perdidos y atípicos en epidemiología nutricional. Recuperado de: https://www.renc.es/imagenes/auxiliar/files/NUTR.%20COMUN.%20SUPL.%201-2015_Tratamiento%20atipicos.pdf
- Comisión Europea. (2017). Best Bread Production Handbook. Recuperado de: <https://ec.europa.eu/programmes/erasmus-plus/project-result-content/615f0f23-9ea5-4bc9-b154-fb72b36fdd68/Best%20Bread%20Production%20Handbook%20EN.pdf>
- Cunha, C., & Dominguez, C. (2015). A DMAIC Project to Improve Warranty Billing's Operations: A Case Study in a Portuguese Car Dealer. *Procedia Computer Science*, 64, 885–893. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.08.603>

- Cutler, A., Cutler, D., & Stevens, J. R. (2011). Random Forests. Recuperado de:
https://www.researchgate.net/publication/236952762_Random_Forests
- Enani, J. (2015) Project Charter. Recuperado de:
<https://www.ijser.org/researchpaper/Project-Charter-032015.pdf>
- Fafalios, S., Charonyktakis, P., & Tsamardinos, I. (2020). Gradient Boosting Trees.
Recuperado de: https://www.gnosisda.gr/wp-content/uploads/2020/07/Gradient_Boosting_Implementation.pdf
- Fallas, J. (2012). Intervalos de confianza: Cuantificando la variabilidad muestral.
Recuperado de: https://www.ucipfg.com/Repositorio/MGAP/MGAP-05/BLOQUE-ACADEMICO/Unidad-2/complementarias/intervalo_de_confianza_2012.pdf
- FEDACOVA. (2020). Guía para la determinación de la vida útil de los alimentos.
Recuperado de: <https://www.fedacova.org/wp-content/uploads/2020/11/Guia-Determinaci%C3%B3n-Vida-%C3%A9til-2020.pdf>
- Fuentelsaz, C. (2004). Cálculo del tamaño de la muestra. Recuperado de:
<https://www.federacion-matronas.org/wp-content/uploads/2018/01/vol5n18pag5-13.pdf>
- George, M. L., Rowlands, D., Price, M., & Maxey, J. (2005). The Lean Six Sigma Pocket Toolkit. New York, NY: McGraw-Hill.
- Gido, J., Clements, J., & Baker, R. (2018). Successful Project Management. Recuperado de: <http://library.ucyp.edu.my/wp-content/uploads/2021/06/SUCCESSFUL-PROJECT-MANAGEMENT-SEVENTH-EDITION.pdf>
- Go Lean Six Sigma. (s.f). DMAIC: The 5 Phases of Lean Six Sigma. Recuperado de:
https://goleansixsigma.com/wp-content/uploads/2012/02/DMAIC-The-5-Phases-of-Lean-Six-Sigma-www.GoLeanSixSigma.com_.pdf

- Hastie, T., Tibshirani, R., & Friedman, J. (2008). *The Elements of Statistical Learning*, Recuperado de: https://doi.org/10.1007/978-0-387-84858-7_15
- Hernández, L. (2015). Selección de la metodología para determinar atípicos en las bases de cálculo de un índice de costos. Recuperado de: <https://repository.libertadores.edu.co/bitstream/handle/11371/504/HernándezVargasLuzAdriana.pdf?sequence=2>
- Horowitz, J. M., Choe, M. J., Dienes, K., Cameron, K. A., Agarwal, G., Yaghamai, V., & Carr, J. C. (2022). Team Approach to Improving Radiologist Wellness: A Case-Based Methodology. *Current Problems in Diagnostic Radiology*, 51(5), 806–812. <https://doi.org/10.1067/j.cpradiol.2022.02.006>
- Hung, H., & Sung, M.-H. (2017). Applying six sigma to manufacturing processes in the food industry to reduce quality cost. Retrieved October 14, 2022, from undefined website: <https://www.semanticscholar.org/paper/Applying-six-sigma-to-manufacturing-processes-in-to-Hung-Sung/fdbb366f92156970b793fab376767400d5b28662>
- IBM. (2022). Análisis de componentes de varianza. Recuperado de: <https://www.ibm.com/docs/es/spss-statistics/saas?topic=statistics-variance-components-analysis>
- INEC. (2020). Cálculo de errores estándar y declaración de muestras complejas. Recuperado de: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Multiproposito/2019/201912_Calculo%20de%20errores%20estandar%20y%20declaracion%20de%20muestras%20complejas_Multi.pdf
- INEN. (2016). Encuesta estructural empresarial. Recuperado de: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web->

inec/Libros_de_pruebas/ENCUESTA%20ESTRUCTURAL%20EMPRESARIA
L%204/files/assets/basic-html/page10.html

INEN. (2016). Peso justo, comercio justo. Recuperado de:

<https://www.normalizacion.gob.ec/peso-justo-comercio-justo/>

International Six Sigma Institute. (2022). Six Sigma DMAIC process - Control Phase -

Control and Implementation Plans. Recuperado de: [https://www.sixsigma-](https://www.sixsigma-institute.org/Six_Sigma_DMAIC_Process_Control_Phase_Control_And_Implementation_Plans.php)

[institute.org/Six_Sigma_DMAIC_Process_Control_Phase_Control_And_Implementation_Plans.php](https://www.sixsigma-institute.org/Six_Sigma_DMAIC_Process_Control_Phase_Control_And_Implementation_Plans.php)

International Six Sigma Institute. (2022). Six Sigma DMAIC process - Improve Phase -

Pilot Solution Implementation. Recuperado de: [https://www.sixsigma-](https://www.sixsigma-institute.org/Six_Sigma_DMAIC_Process_Improve_Phase_Pilot_Solution_Implementation.php)

[institute.org/Six_Sigma_DMAIC_Process_Improve_Phase_Pilot_Solution_Implementation.php](https://www.sixsigma-institute.org/Six_Sigma_DMAIC_Process_Improve_Phase_Pilot_Solution_Implementation.php)

Jerome, R., Singh, S., & Dwivedi, M. (2019). Process analytical technology for bakery industry: A review. Recuperado de:

<https://es.scribd.com/document/526483095/Jerome-2019-Process-analytical-technology-for-bakery-industry>

JMP. (2022a). Capacidades principales de JMP. Recuperado de:

https://www.jmp.com/es_co/software/data-analysis-software/core-capabilities-of-jmp.html#Basic-Data-Analysis

JMP. (2022b). Continuous Fit Distributions. Recuperado de:

<https://www.jmp.com/support/help/en/16.2/index.shtml#page/jmp/continuous-fit-distributions.shtml#ww1161929>

Klinefelter, D., & McCorkle, D. (s.f). Cash Flow Projection for Operating Loan

Determination. Recuperado de: <https://agecoext.tamu.edu/wp-content/uploads/2013/10/rm5-7.pdf>

- Koch, R. (2012). El líder. Diez formas para convertirte en un gran líder. Recuperado de:
<https://sjpi.edu.bb/wp-content/uploads/2021/02/The-Quality-Toolbox-2nd-Ed..pdf>
- Kolawole, O. A., Mishra, J. L., & Hussain, Z. (2021). Addressing food waste and loss in the Nigerian food supply chain: Use of Lean Six Sigma and Double-Loop Learning. *Industrial Marketing Management*, 93, 235–249.
<https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2021.01.006>
- Kotsiantis, S. (2007). Supervised Machine Learning: A Review of Classification Techniques. Recuperado de: [https://datajobs.com/data-science-repo/Supervised-Learning-\[SB-Kotsiantis\].pdf](https://datajobs.com/data-science-repo/Supervised-Learning-[SB-Kotsiantis].pdf)
- Wojtas, M., & Chen, K. (2020). Feature Importance Ranking for Deep Learning. Recuperado de:
<https://proceedings.neurips.cc/paper/2020/file/36ac8e558ac7690b6f44e2cb5ef93322-Paper.pdf>
- Burgasí, D., Cobo, D., Pérez, K., Pilacuan, R. & Rocha, M. (2021). El diagrama de Ishikawa como herramienta de calidad en la educación: una revisión de los últimos 7 años. Recuperado de: https://tambara.org/wp-content/uploads/2021/04/DIAGRAMA-ISHIKAWA_FINAL-PDF.pdf
- Espinoza, M. (2020). Quick wins en las organizaciones: una revisión sistemática. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7878949.pdf>
- LSSI. (2022). Introducción al diseño de experimentos. Slide 21. Lean Six Sigma Institute.
- Mast, J., & Lokkerbol, J. (2012). An analysis of the Six Sigma DMAIC method from the perspective of problem solving. *International Journal of Production Economics*, 139(2), 604–614. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.05.035>

- Mesas, J., & Alegre, M. (2002). El pan y su proceso de elaboración. Recuperado de:
<https://www.redalyc.org/pdf/724/72430508.pdf>
- Message, L., Godinho, M., Fredendall, L., & Gómez, F. (2018). Lean, six sigma and lean six sigma in the food industry: A systematic literature review. *Trends in Food Science & Technology*, 82, 122–133.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.10.002>
- Minitab. (2021). Diseño de parcelas divididas en el diseño de experimentos. Recuperado de: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/20/help-and-how-to/statistical-modeling/doe/supporting-topics/factorial-and-screening-designs/split-plot-designs-in-design-of-experiments/>
- Minitab. (2021). Información básica sobre los intervalos de tolerancia. Recuperado de: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/20/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/quality-tools/supporting-topics/tolerance-interval-basics/>
- Montgomery, D. (2013). Design and analysis of experiments. Recuperado de:
https://faculty.ksu.edu.sa/sites/default/files/douglas_c._montgomery-design_and_analysis_of_experiments-wiley_2012_edition_8.pdf
- Nandakumar, N., Saleeshya, P. G., & Harikumar, P. (2020). Bottleneck Identification And Process Improvement By Lean Six Sigma DMAIC Methodology. *Materials Today: Proceedings*, 24, 1217–1224.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.436>
- Navidi. W. (2006). Estadística para ingenieros y científico. Recuperado de:
<https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWFpbnxvbWFyZGlhemhlcxneDoyOGY2NDFiYmFkOTU5ZmI2>

- Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *International Journal of Morphology*, 35(1), 227–232.
<https://doi.org/10.4067/s0717-95022017000100037>
- Pérez, E. & García, M. (2014) Implementación de la metodología DMAIC – Seis Sigma en el envasado de licores en Fanal. *Tecnología en Marcha*. Vol. 27, N° 3. Pág 88-106.
- Petrić, L., Hell, M., & Van der Borg, J. (2020). Process orientation of the world heritage city management system. *Journal of Cultural Heritage*, 46, 259–267.
<https://doi.org/10.1016/j.culher.2020.07.009>
- Posada, G. (2016). Elementos básicos de estadística descriptiva. Recuperado de:
https://www.funlam.edu.co/uploads/fondoeditorial/120_Ebook-elementos_basicos.pdf
- Prades, J. (2016). Estimación de límites de tolerancia. Aplicación al análisis de incertidumbre de códigos termohidráulicos. Recuperado de:
<https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/74574/PRADES%20-%20Estimaci%20de%20l%20m%20l%20de%20tolerancia.%20Aplicaci%20al%20an%20l%20is%20de%20incertidumbre%20de%20c%20d%20i%20g%20o%20s%20....pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Qian, M., Liu, D., Zhang, X., Yin, Z., Ismail, B. B., Ye, X., & Guo, M. (2021). A review of active packaging in bakery products: Applications and future trends. *Trends in Food Science & Technology*, 114, 459–471.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.06.009>
- Ranade, P. B., Reddy, G., Koppal, P., Paithankar, A., & Shevale, S. (2021). Implementation of DMAIC methodology in green sand-casting process.

Materials Today: Proceedings, 42, 500–507.

<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.475>

Rodriguez, R., Medini, K., & Wuest, T. (2022). A DMAIC Framework to Improve Quality and Sustainability in Additive Manufacturing—A Case Study.

Recuperado de: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/1/581/pdf>

Rossi, P. E. (2014). Bayesian Non- and Semi-parametric Methods and Applications.

Princeton University Press. <http://www.jstor.org/stable/j.ctt5hhrfp>

Rubio, F. J., Ogundimu, E. O., & Hutton, J. L. (2016). On modelling asymmetric data using two-piece sinh–arcsinh distributions. *Brazilian Journal of Probability and Statistics*, 30(3), 485–501. <http://www.jstor.org/stable/24913898>

Silva, T. H. L., Monteiro, R. L., Salvador, A. A., Laurindo, J. B., & Carciofi, B. A. M.

(2022). Kinetics of bread physical properties in baking depending on actual finely controlled temperature. *Food Control*, 137, 108898.

<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.108898>

Smętkowska, M., & Mrugalska, B. (2018). Using Six Sigma DMAIC to Improve the Quality of the Production Process: A Case Study. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 238, 590–596.

<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2018.04.039>

Soleimani Pour-Damanab, A. R., Jafary, A., & Rafiee, S. (2013). Determination of suitable drying curve model for bread moisture loss during baking. *International Agrophysics*, 27(2). Recuperado de: <https://bibliotekanauki.pl/articles/26209>

Stat-Ease. (2022). Design Expert. Versión 13. Recuperado de:

<https://www.statease.com/software/design-expert/>

- Tague, N. (2005). The Quality Toolbox. Second Edition. Recuperado de:
<https://sjpi.edu.bb/wp-content/uploads/2021/02/The-Quality-Toolbox-2nd-Ed..pdf>
- Tamborero, J., & Cejalvo, A. (s.f). NTP 418: Fiabilidad: la distribución lognormal.
Recuperado de:
https://www.insst.es/documents/94886/326853/ntp_418.pdf/6d691f1b-0e27-4236-a0ce-63766f0cdf5d?version=1.0&t=1614698337476
- Therdthai, N., & Zhou, W. (2003). Recent Advances in the Studies of Bread Baking Process and Their Impacts on the Bread Baking Technology. Food Science and Technology Research, 9(3), 219–226. <https://doi.org/10.3136/fstr.9.219>
- Therdthai, N., & Zhou, W. (2003). Recent Advances in the Studies of Bread Baking Process and Their Impacts on the Bread Baking Technology. Food Science and Technology Research, 9(3), 219–226. <https://doi.org/10.3136/fstr.9.219>
- Universidad de Córdoba. (s.f). Proyectos de ingeniería agroalimentaria. Departamento de Bromatología y Tecnología de los Alimentos. Recuperado de:
<http://www.uco.es/dptos/bromatologia/tecnologia/bib-virtual/bajada/mempan.pdf>

TABLAS

Tabla 15. *Variable de interés por subproceso y línea de production*

Subproceso	Variables
Amasado	<ul style="list-style-type: none"> ● Variables de interés (L1 y L2): Temperatura en °C de la masa, Tiempo en minutos de amasado en velocidad lenta y rápida, Temperatura en °C del ambiente en el área de amasado
División	<ul style="list-style-type: none"> ● Variable respuesta (L1 y L2): Peso en gramos de masa dividida ● Variables de interés (L1 y L2): Tipo de molde a utilizar, Temperatura en °C del ambiente en el área de división
Leudo	<ul style="list-style-type: none"> ● Variable respuesta (L1): Peso en gramos de masa tras leudar ● Variable respuesta (L2): Peso en gramos de masa tras leudar antes de colocar decorado, Peso en gramos de masa tras leudar después de colocar decorado, ● Variables de interés (L1 y L2): Temperatura en °C de la masa, Temperatura en °C y Humedad %HR de cámara de leudo, Tiempo en minutos de leudo
Horno	<ul style="list-style-type: none"> ● Variable respuesta (L1 y L2): Peso en gramos del pan a la salida del horno ● Variables de interés (L1 y L2): Temperatura en °C del pan a la salida del horno, Tiempo en minutos del horneado del pan, Parámetros de horneado para L1 (Temperatura (BR), %Solera, %Radio, %Turbo, %Campana por zonas, %Vapor) del pan, Parámetros de horneado para L2 (Temperatura, %Cierre, %Humedad) del pan
Enfriamiento	<ul style="list-style-type: none"> ● Variable respuesta (L1 y L2): Peso en gramos del pan antes de ser cortado ● Variables de interés (L1 y L2): Temperatura en °C del pan antes de cortar, Tiempo en minutos que el pan se enfrió, Temperatura en °C del ambiente en el área de enfriamiento, Humedad en %HR del ambiente (únicamente para L1)
Empaque	<ul style="list-style-type: none"> ● Variable respuesta (L1 y L2): Peso en gramos del pan tras ser empaquetado ● Variables de interés (L1 y L2): Humedad relativa en %HR del pan tras ser empaquetado
Vida útil	<ul style="list-style-type: none"> ● Variable respuesta (L1 y L2): Peso en gramos del pan tras ser almacenado (monitoreo cada 2 días) ● Variables de interés (L1 y L2): Humedad relativa en %HR del pan tras haber culminado su vida útil

Tabla 16. *Distribuciones estadísticas con parámetros puntuales*

Formato	División	Leudo	Leudo con decorado	Horno	Enfriamiento
Pan blanco 1	SHASH (0,28; 1,33; 654; 4,88)	Log-normal (6,4758; 0,0067)	Log-normal (4,483; 0,0264)	Log-normal (6,3946; 0,0112)	Log-normal (6,3579; 0,01179)
Pan blanco 3	Normal (562,539; 3,633)	Normal (557,639; 4,608)		Log-normal (6,231; 0,0144)	Normal (487,588; 5,362)
Integral 2	SHASH (-0,304; 0,896; 702,071; 2,151)	Mezcla 2 normales (700,576; 705,993; 2,529; 0,400; 0,944; 0,055)		Log-normal (6,437; 0,008)	Normal (601,213; 5,385)
Sanduchero 2	Log-normal (6,850; 0,004)	Normal (941,258; 4,572)		Log-normal (6,744; 0,009)	SHASH (0,469; 1,289; 830,706; 11,371)
Sanduchero 3	Log-normal (6,854; 0,004)	Mezcla de 2 normales (922,914; 942,743; 5,717; 5,511; 0,168; 0,831)		Log-normal (6,753; 0,006)	Mezcla de 2 normales (824,016; 840,942; 5,914; 3,465; 0,826; 0,173)
Pan Ajonjolí	Log-normal (6,349; 0,006)	Normal (586,682; 5,612)		SHASH (-0,150; 0,759; 548,652; 4,287)	SHASH (0,152; 0,88; 536,334; 4,641)
Bollería Hamb	Normal (87,452; 2,348)	Mezcla de 2 normales (85,536; 87,901; 1,986; 0,211; 0,749; 0,25)		SHASH (-0,184; 0,764; 80,11; 1,59)	Mezcla de 3 normales (74,977; 76,562; 79,661; 1,818; 0,198; 1,626; 0,356; 0,1429; 0,500)
Bollería HD 2	Normal (87,086; 2,367)	Mezcla de 3 normales (81,106; 84,488; 86,371; 0,542; 0,229; 2,030; 0,0346; 0,1159; 0,849)		Normal (88,529; 1,869)	SHASH (-0,680; 1,149; 77,715; 3,325)

Tabla 17. *Comparación límites de especificación y límites calculados*

Formato	Límites de especificación			Límites calculados		
	División	Horno	Enfriamiento	División	Horno	Enfriamiento
Plan blanco 1	(645; 660)	(580; 595)	(561,5; 568,5)	(643; 663)	(578; 619)	(557; 598)
Plan blanco 3	(555; 570)	(499; 514)	(456; 469)	(552; 573)	(487; 531)	(472; 504)
Integral 2	(695; 710)	(625; 640)	(575; 595)	(695; 711)	(609; 641)	(585; 617)
Sanduchero 2	(935; 950)	(841; 856)	(806; 838)	(932; 957)	(827; 871)	(800; 851)
Sanduchero 3	(940; 955)	(846; 861)	(806; 834)	(936; 961)	(840; 875)	(801; 853)
Pan Ajonjolí	(565; 580)	(508; 523)	(521,5; 528,5)	(561; 583)	(530; 571)	(518; 552)
Bollería Hamb	(81; 91)	(72; 87)	(72; 84)	(80; 94)	(73; 88)	(69; 86)
Bollería HD 2	(81; 91)	(72; 87)	(75,5; 85,5)	(80; 94)	(70; 90)	(69; 86)

Tabla 18. *Importancia de variables para Pan Blanco 1*

Pan Blanco 1		
Subproceso	Variable	Importancia
Leudo	Temperatura cámara de leudo (°C)	0,132
	Tiempo de leudo	0,351

	Humedad cámara de leudo (%HR)	0,517
Horno	%cierre horno	0,04
	Tiempo horno	0,078
	Temperatura horno	0,882
Enfriamiento	Tiempo enfriamiento (min)	1

Tabla 19. *Importancia de variables para Pan Blanco 3*

Pan Blanco 3		
Subproceso	Variable	Importancia
Leudo	Temperatura leudo	0,206
	Tiempo leudo	0,216
	Humedad leudo	0,578
Horno	Tiempo horno	0,107
	%cierre horno	0,207
	Temperatura horno	0,686
Enfriamiento	Tiempo enfriamiento (min)	1

Tabla 20. *Importancia de variables para Integral 2*

Integral 2		
Subproceso	Variable	Importancia
Leudo	Tiempo de fermentación o leudo	0,108
	Humedad cámara de leudo (%HR)	0,286
	Temperatura cámara de leudo (°C)	0,606
Horno	Turbo 1	0
	Turbo 2	0
	%Vapor	0
	Turbo 3	0,001
	Campana 2	0,001
	Campana 1	0,001
	Tiempo cocción	0,002
	Turbo 4	0,003
	Campana 3	0,004
	Solera 4	0,004
	Solera 1	0,004
	Radio 4	0,005
	Campana 4	0,009
	Radio 3	0,01
	Temperatura horno 4	0,018
	Radio 2	0,087
	Radio 1	0,091
	Solera 2	0,101
	Solera 3	0,105
Temperatura horno 2	0,172	
Temperatura horno 1	0,188	
Temperatura horno 3	0,194	
Enfriamiento	Tiempo enfriamiento (min)	0,051
	Humedad Ambiente (%HR)	0,21

	Temperatura Ambiente (°C)	0,74
--	---------------------------	------

Tabla 21. *Importancia de variables para Sanduchero 3*

Sanduchero 3		
Subproceso	Variable	Importancia
Leudo	Tiempo de fermentación o leudo	0
	Temperatura cámara de leudo (°C)	0,299
	Humedad cámara de leudo (%HR)	0,701
Horno	Turbo 1	0
	Tiempo cocción	0
	%Vapor	0
	Solera 1	0,004
	Turbo 3	0,005
	Solera 3	0,005
	Turbo 2	0,016
	Radio 1	0,018
	Solera 4	0,019
	Temperatura horno 3	0,022
	Turbo 4	0,022
	Campana 2	0,029
	Campana 3	0,032
	Radio 3	0,037
	Radio 4	0,041
	Radio 2	0,045
	Temperatura horno 4	0,068
	Campana 4	0,073
	Solera 2	0,075
Campana 1	0,077	
Temperatura horno 2	0,145	
Temperatura horno 1	0,269	
Enfriamiento	Tiempo enfriamiento (min)	0,007
	Humedad Ambiente (%HR)	0,269
	Temperatura Ambiente (°C)	0,724

Tabla 22. *Importancia de variables Pan Ajonjoli*

Pan Ajonjoli		
Subproceso	Variable	Importancia
Leudo	Temperatura leudo	0
	Tiempo leudo	0,382
	Humedad leudo	0,618
Horno	%cierre horno	0
	Tiempo horno	0,22
	Temperatura horno	0,78
Enfriamiento	Tiempo enfriamiento (min)	1

Tabla 23. *Importancia de variables Bollería Hamb*

Bollería Hamb		
Subproceso	Variable	Importancia
Leudo sin decorado	Temperatura leudo	0,241
	Tiempo leudo	0,3
	Humedad leudo	0,459
Leudo con decorado	Humedad leudo	0,269
	Temperatura leudo	0,333
	Tiempo leudo	0,399
Horno	Tiempo horno	0
	%cierre horno	0,035
	Temperatura horno	0,376
	Humedad Horno	0,589
Enfriamiento	Tiempo enfriamiento (min)	1

Tabla 24. *Importancia de variables Bollería HD2*

Bollería HD2		
Subproceso	Variable	Importancia
Leudo sin decorado	Tiempo leudo	0,215
	Temperatura leudo	0,306
	Humedad leudo	0,479
Leudo con decorado	Temperatura leudo	0,23
	Tiempo leudo	0,256
	Humedad leudo	0,514
Horno	Tiempo horno	0
	%cierre horno	0,195
	Temperatura horno	0,805
Enfriamiento	Tiempo enfriamiento (min)	1

Tabla 25. *Análisis de los parámetros del horno*

Factor	Mínimo	Mediana	Máximo	Unidades
Temperatura zona 1	225	230	231	°C
Temperatura zona 2	235	237	240	°C
Temperatura zona 3	234	237	241	°C
Temperatura zona 4	229	230	235	°C
Solera zona 1	80	80	81	%
Solera zona 2	94	94	95	%
Solera zona 3	81	86	91	%
Solera zona 4	80	86	91	%
Radio solera 1	30	30	45	%
Radio solera 2	35	40	46	%
Radio solera 3	45	45	61	%
Radio solera 4	46	46	61	%
Turbo zona 1	80	80	80	%
Turbo zona 2	95	95	95	%
Turbo zona 3	80	85	95	%
Turbo zona 4	70	85	95	%

Campana zona 1	31	31	31	%
Campana zona 2	31	40	41	%
Campana zona 3	30	45	45	%
Campana zona 4	20	45	46	%
Tiempo	36	38	38	Minutos
Vapor	0	0	0	%

Tabla 26. Plan de control propuesto para cada mejora

Mejora implementada	Plan de control
Colocar los parámetros actuales establecidos para cada máquina de forma física	Hoja impresa y emplastificada suministrada por el Dept. Calidad donde se detalle cada parámetro según el SKU y colocarlo junto a cada máquina
Reporte de cambios en los parámetros	<i>Template</i> de reporte diario acerca de los parámetros utilizados y la razón de cambiarlos en caso de aplicarse (Figura 53 a Figura 56)
Calibración de la balanza de la banda transportadora L1	Comentarios de operadores en el plan de producción diario donde se detallen comparaciones entre el peso obtenido por la pesa de la banda y el peso obtenido con la balanza portátil
Cambiar la balanza portátil L2 y estabilizar su base	Comentarios de operadores en el plan de producción diario donde se detallen comparaciones entre el peso obtenido por la balanza portátil de la línea y el peso obtenido con otra balanza portátil de la planta
Política de evasión de control de pesos manual	Comentarios de operadores en el plan de producción diario donde se detallen si hubo masas que fueron pesadas de forma manual y cuál fue su peso en la balanza portátil
Política de control de máquina de División	<i>Template</i> de reporte diario acerca de al menos las primeras 20 unidades de masa pesada tras haber finalizado un SKU e inicio del siguiente (Figura 57)
Política para el cambio de turno en Amasado	Hojas impresas diarias suministradas por el Dept. Producción en el que se detalle la hora en el que finalizó el SKU más cercana a la hora en el que se presenta el cambio de turno junto a la firma del responsable de Amasado
Política de comunicación constante entre Amasado y División	Kanban en el que se detalle las masas por procesar, las masas que están siendo realizadas y las que ya han sido realizadas
Política de intervención en el espiral de Enfriamiento	<i>Template</i> de reporte diario acerca de la temperatura de producto terminado para asegurar a través de la medición de temperatura que el tiempo del enfriamiento está siendo respetado (Anexo 58)

ANEXOS

Project Charter																					
Problem Statement		Business Case & Benefits																			
Se presenta sobrepeso en 8 SKUs de la empresa panificadora en relación con su peso especificado, lo cual ocasiona una pérdida económica para la empresa. Esto ocasiona que haya un incremento en los costos de producción y por tanto, reducción en la utilidad neta.		La realización del proyecto ayudará a mejorar la eficiencia del proceso de elaboración de productos de la empresa panificadora. Es importante hacerlo ahora para evitar que las pérdidas económicas relacionadas al problema sigan ocurriendo. Caso contrario, los productos seguirán presentando sobrepeso lo que representa una disminución en la productividad de la planta y en la utilidad neta de la misma.																			
Goal Statement		Timeline																			
Disminuir el rango de sobrepeso ya que actualmente se presenta entre 30 y 60 gramos excedentes en cada unidad de producto de 8 SKUs hasta noviembre de 2022 con el fin de evitar costos extra de producción y disminuir la pérdida de peso durante el proceso productivo.		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Phase</th> <th>Planned Completion Date</th> <th>Actual</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Define:</td> <td>11/07 - 17/07</td> <td>11/07 - 17/07</td> </tr> <tr> <td>Measure:</td> <td>18/07 - 27/08</td> <td>01/08 - 08/10</td> </tr> <tr> <td>Analyze:</td> <td>28/08 - 18/09</td> <td>19/09 -</td> </tr> <tr> <td>Improve:</td> <td>19/09 - 10/10</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Control:</td> <td>11/10 - 24/10</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Phase	Planned Completion Date	Actual	Define:	11/07 - 17/07	11/07 - 17/07	Measure:	18/07 - 27/08	01/08 - 08/10	Analyze:	28/08 - 18/09	19/09 -	Improve:	19/09 - 10/10		Control:	11/10 - 24/10	
Phase	Planned Completion Date	Actual																			
Define:	11/07 - 17/07	11/07 - 17/07																			
Measure:	18/07 - 27/08	01/08 - 08/10																			
Analyze:	28/08 - 18/09	19/09 -																			
Improve:	19/09 - 10/10																				
Control:	11/10 - 24/10																				
Scope - First/Last and In/Out		Team Members																			
1st Process Step	Inducción y plan de recolección de datos	Position	Person																		
Last Process Step	Presentación de soluciones y recomendaciones en base al análisis de datos	Title	% of Time																		
In Scope:	Horario para la toma de datos, muestra de cada batch, estación para la toma de datos, seguridad	Team Lead	Raquel Armijos																		
Out of Scope:	Tamaño y tipo de batch, materia prima, temperatura y humedad del ambiente de la planta, operadores, SKUs externos a los 8 preseleccionados	Sponsor	Danny Navarrete																		
		Team Member	Sebastián Medrano																		
		Team Member	Andrés Stacey																		
		Team Member	David Armijos																		
		Team Member	Reasse Carrión																		

Figura 15. Project Charter de empresa panificadora

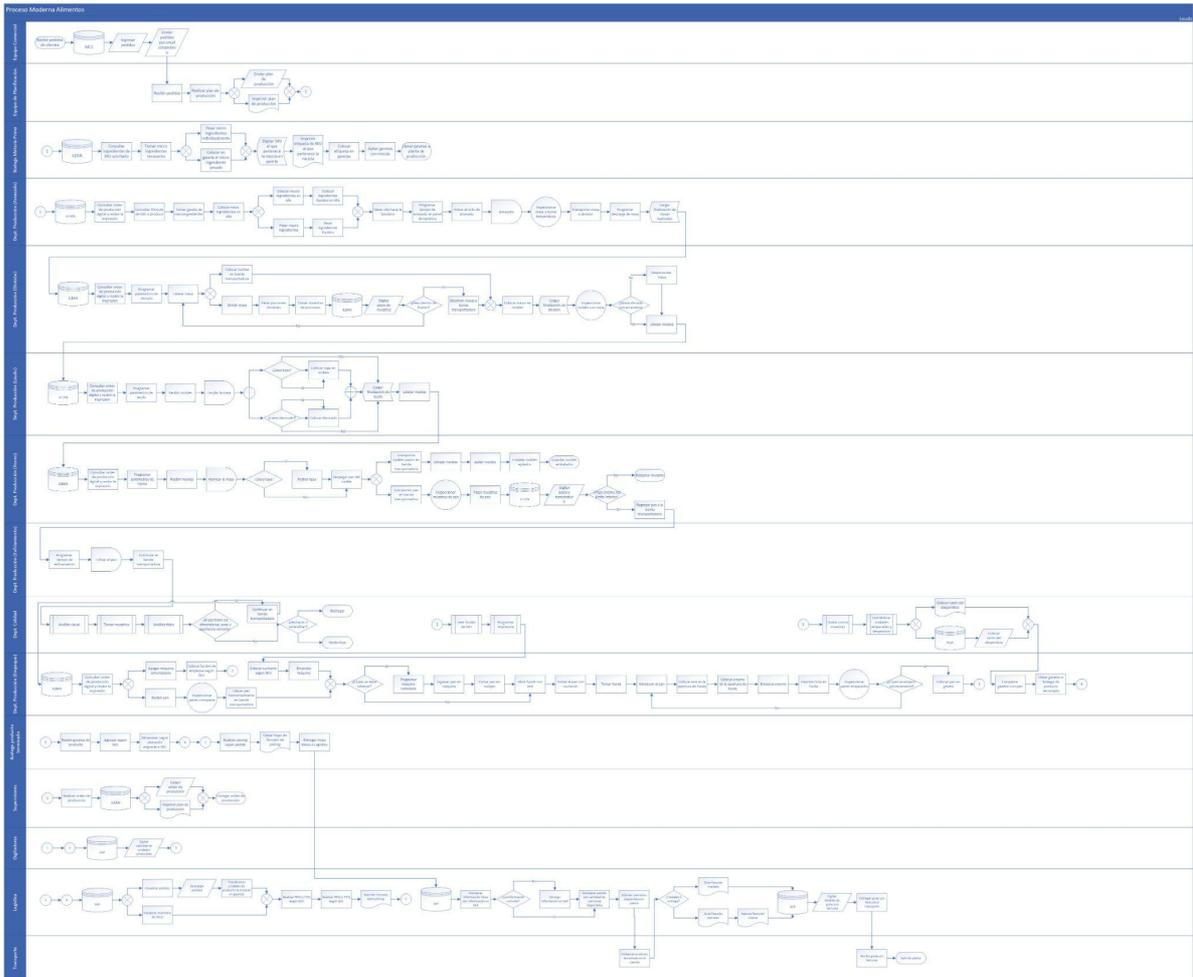


Figura 16. Swimlane Diagram del proceso de elaboración de pan

Data Collection Plan "Amasado"					
Measure	Data Type	Operational Definition	Stratification Factors	Sampling Notes	Who and How
Temperatura en °C de la masa	Grados centígrados - Continuo	La temperatura (en grados centígrados) que tiene la masa al terminar la mezcla de ingredientes y microingredientes en las batidoras industriales	Por masa producida, por SKU	Se muestrea al menos una masa dependiendo del plan de producción del SKU de interés	David Armijos y Reasse Carrión, colocando los termómetros en la orilla y en la parte central de la masa que se genera en todas las batidoras
Tiempo en minutos del amasado en velocidad lento y en rápido de las batidoras industriales	Minutos - Continuo	El tiempo (en minutos) que se configura en cada una de las batidoras antes de iniciar el ciclo de amasado	Por velocidad de amasado, por SKU	Se muestrean dos temperaturas por cada masa que se muestree dependiendo del plan de producción del SKU de interés	David Armijos y Reasse Carrión, al anotar la configuración de los tiempos de amasado de acuerdo al monitor de cada batidora
Temperatura en °C del ambiente en el área de amasado	Grados centígrados - Continuo	La temperatura (en grados centígrados) que tiene el área de amasado mientras se amasa la muestra de interés	Por masa producida, por SKU	Se toma una temperatura ambiente por cada masa muestreada al haber finalizado su ciclo de amasado en velocidad lenta y rápida	David Armijos y Reasse Carrión, cuando se están realizando las mediciones de temperatura de la masa y tiempo de amasado, se anota la temperatura que indica el reloj del área

Figura 17. Plan de recolección de datos del subproceso Amasado

Data Collection Plan "División"					
Measure	Data Type	Operational Definition	Stratification Factors	Sampling Notes	Who and How
Peso en gramos de la masa dividida para cada unidad de pan	Gramos - Continuo	Peso (en gramos) de la masa dividida en porciones y esté en la banda transportadora	Por SKU	Se muestrea al menos 40 porciones divididas de masa, una porción cada minuto para tomar muestras aleatorias	David Armijos y Reasse Carrión, retirando porciones de masa de la banda transportadora para pesarlos de manera manual en una balanza en Línea 1 y anotando los pesos desplegados en la balanza integrada a la banda transportadora en Línea 2
Tipo de molde a utilizar para la producción de pan	Nombre del molde y características - Nominal	Catálogo de tipos de molde con sus características (cantidad de unidades que caben, con o sin tapa, etc.) que se utilizan para el SKU de interés	Por tipo de molde	Anotar el tipo de molde utilizado para cada SKU de interés	David Armijos y Reasse Carrión, observando los moldes en los que se ubica la masa dividida o platicando con los operadores de dicha actividad
Temperatura en °C del ambiente en el área de división	Grados centígrados - Continuo	La temperatura (en grados centígrados) que tiene el área de división mientras se porciona el SKU de interés	Por SKU	Se toma una temperatura ambiente por cada porción de masa muestreada al haber tomado su peso	David Armijos y Reasse Carrión, cuando se están realizando las mediciones de peso de porciones, se anota la temperatura que indica el reloj del área

Figura 18. Plan de recolección de datos del subproceso División

Data Collection Plan "Leudo Línea 1"					
Measure	Data Type	Operational Definition	Stratification Factors	Sampling Notes	Who and How
Temperatura en °C de la masa a la salida del leudo	Grados centígrados - Continuo	La temperatura (en grados centígrados) que tiene la masa al terminar el ciclo de leudado dentro del horno	Por SKU	Se muestrean al menos 30 masas de varios moldes seleccionados aleatoriamente	David Armijos y Reasse Carrión, retirando masas de los moldes que se encuentran en la banda transportadora tras haber salido del horno de leudo e introduciendo un termómetro en el centro de la masa
Peso total en gramos de la masa tras leudar	Gramos - Continuo	Peso (en gramos) de la masa que ya ha culminado el ciclo de leudo y ha salido del horno	Por SKU	Se muestrean al menos 30 masas de varios moldes seleccionados aleatoriamente	David Armijos y Reasse Carrión, retirando masas de los moldes que se encuentran en la banda transportadora tras haber salido del horno de leudo y pesando en una balanza las masas que fueron utilizadas para muestrear la temperatura
Temperatura en °C de cámara de leudo	Grados centígrados - Continuo	La temperatura (en grados centígrados) que se obtiene dentro del horno en relación con la temperatura que se configuró en monitor	Por SKU	Se anota la temperatura que registra el monitor cada que se toma una masa para muestrear	David Armijos y Reasse Carrión, observando en el monitor la temperatura que ese momento registra
Humedad en %HR de cámara de leudo	Porcentaje de humedad relativa - Continuo	La humedad relativa (en porcentaje) que se obtiene dentro del horno en relación con la temperatura que se configuró en monitor	Por SKU	Se anota la humedad relativa que registra el monitor cada que se toma una masa para muestrear	David Armijos y Reasse Carrión, observando en el monitor la humedad relativa que ese momento registra
Tiempo en minutos de fermentación o leudo de la masa	Minutos - Continuo	El tiempo (en minutos) que se configura en el monitor del horno de leudo para homogeneizar el tiempo que cada masa está dentro del horno	Por SKU	Se anota el tiempo configurado en el monitor cada que se toma una masa para muestrear	David Armijos y Reasse Carrión, observando en el monitor el tiempo configurado

Figura 19. Plan de recolección de datos del subproceso Leudo para Línea 1

Data Collection Plan "Leudo Línea 2"					
Measure	Data Type	Operational Definition	Stratification Factors	Sampling Notes	Who and How
Temperatura en °C de la masa a la salida del leudo	Grados centígrados - Continuo	La temperatura (en grados centígrados) que tiene la masa al terminar el ciclo de leudado dentro del horno	Por SKU	Se muestrean al menos 30 masas de varios moldes seleccionados aleatoriamente	David Armijos y Reasse Carrión, retirando masas de los moldes que se encuentran en la banda transportadora tras haber salido del horno de leudo e introduciendo un termómetro en el centro de la masa
Peso total en gramos de la masa tras leudar y sin decorar	Gramos - Continuo	Peso (en gramos) de la masa que ya ha salido del horno y aun no pasa por el proceso de decorado	Por SKU	Se muestrean al menos 30 masas de varios moldes seleccionados aleatoriamente	David Armijos y Reasse Carrión, retirando masas de los moldes que se encuentran en la banda transportadora tras haber salido del horno de leudo y pesando en una balanza las masas que fueron utilizadas para muestrear la temperatura, tras eso se reprocesa
Peso total en gramos de la masa tras leudar y con decorar	Gramos - Continuo	Peso (en gramos) de la masa que ya ha salido del horno y ya ha pasado por el proceso de decorado	Por SKU	Se muestrean al menos 30 masas de varios moldes seleccionados aleatoriamente	David Armijos y Reasse Carrión, retirando masas de los moldes que se encuentran en la banda transportadora tras haber pasado por el área de decorado y pesando en una balanza
Temperatura en °C de cámara de leudo	Grados centígrados - Continuo	La temperatura (en grados centígrados) que se obtiene dentro del horno en relación con la temperatura que se configuró en monitor	Por SKU	Se anota la temperatura que registra el monitor cada que se toma una masa para muestrear	David Armijos y Reasse Carrión, observando en el monitor la temperatura que ese momento registra
Humedad en %HR de cámara de leudo	Porcentaje de humedad relativa - Continuo	La humedad relativa (en porcentaje) que se obtiene dentro del horno en relación con la temperatura que se configuró en monitor	Por SKU	Se anota la humedad relativa que registra el monitor cada que se toma una masa para muestrear	David Armijos y Reasse Carrión, observando en el monitor la humedad relativa que ese momento registra
Tiempo en minutos de fermentación o leudo de la masa	Minutos - Continuo	El tiempo (en minutos) que se configura en el monitor del horno de leudo para homogeneizar el tiempo que cada mesa está dentro del horno	Por SKU	Se anota el tiempo configurado en el monitor cada que se toma una masa para muestrear	David Armijos y Reasse Carrión, observando en el monitor el tiempo configurado

Figura 20. Plan de recolección de datos del subproceso Leudo para Línea 2

Data Collection Plan "Horno Línea 1"					
Measure	Data Type	Operational Definition	Stratification Factors	Sampling Notes	Who and How
Temperatura en °C del pan a la salida del horno	Grados centígrados - Continuo	La temperatura (en grados centígrados) que tiene el pan al terminar el ciclo de horneado	Por SKU	Se muestrean al menos 30 panes de varios moldes seleccionados aleatoriamente	David Armijos y Reasse Carrión, retirando panes de los moldes que se encuentran en la banda transportadora tras haber salido del horno e introduciendo un termómetro en el centro del pan
Peso en gramos del pan a la salida del horno	Gramos - Continuo	Peso (en gramos) del pan que ya ha salido del horno	Por SKU	Se muestrean al menos 30 panes de varios moldes seleccionados aleatoriamente	David Armijos y Reasse Carrión, retirando panes de los moldes que se encuentran en la banda transportadora tras haber salido del horno y pesando en una balanza los panes que fueron utilizadas para muestrear la temperatura, tras eso se regresa al molde
Tiempo en minutos del horneado del pan	Minutos - Continuo	Tiempo (en minutos) que fue programado en el monitor para el horneado del pan	Por SKU	Se anota el tiempo configurado en el monitor cada que se toma un pan para muestrear	David Armijos y Reasse Carrión, observando en el monitor el tiempo configurado
Parámetros de horneado para L1 (Temperatura (BR), %Solera, %Radio, %Turbo, %Campana por zonas, %Vapor) del pan	Grados centígrados y porcentaje - Continuo	Parámetros bajo control del horno (en porcentaje) y temperatura (en grados centígrados) que fueron programados en el monitor para el horneado del pan	Por SKU	Se anotan los parámetros configurados en el monitor cada que se toma un pan para muestrear	David Armijos y Reasse Carrión, observando en el monitor los parámetros configurados

Figura 21. Plan de recolección de datos del subproceso Horno para Línea 1

Data Collection Plan "Horno Línea 2"					
Measure	Data Type	Operational Definition	Stratification Factors	Sampling Notes	Who and How
Temperatura en °C del pan a la salida del horno	Grados centígrados - Continuo	La temperatura (en grados centígrados) que tiene el pan al terminar el ciclo de horneado	Por SKU	Se muestrean al menos 35 panes de varios moldes seleccionados aleatoriamente	David Armijos y Reasse Carrión, retirando panes de los moldes que se encuentran en la banda transportadora tras haber salido del horno e introduciendo un termómetro en el centro del pan
Peso en gramos del pan a la salida del horno	Gramos - Continuo	Peso (en gramos) del pan que ya ha salido del horno	Por SKU	Se muestrean al menos 35 panes de varios moldes seleccionados aleatoriamente	David Armijos y Reasse Carrión, retirando panes de los moldes que se encuentran en la banda transportadora tras haber salido del horno y pesando en una balanza los panes que fueron utilizadas para muestrear la temperatura, tras eso se regresa al molde
Tiempo en minutos del horneado del pan	Minutos - Continuo	Tiempo (en minutos) que fue programado en el monitor para el horneado del pan	Por SKU	Se anota el tiempo configurado en el monitor cada que se toma un pan para muestrear	David Armijos y Reasse Carrión, observando en el monitor el tiempo configurado
Parámetros de horneado para L2 (Temperatura, %Cierre, %Humedad) del pan	Grados centígrados y porcentaje - Continuo	Parámetros bajo control del horno (en porcentaje) y temperatura (en grados centígrados) que fueron programados en el monitor para el horneado del pan	Por SKU	Se anotan los parámetros configurados en el monitor cada que se toma un pan para muestrear	David Armijos y Reasse Carrión, observando en el monitor los parámetros configurados

Figura 22. Plan de recolección de datos del subproceso Horno para Línea 2

Data Collection Plan "Enfriamiento L1"					
Measure	Data Type	Operational Definition	Stratification Factors	Sampling Notes	Who and How
Temperatura en °C del pan antes de ser cortado	Grados centígrados - Continuo	La temperatura (en grados centígrados) que tiene el pan al terminar el ciclo de enfriamiento	Por SKU	Se muestrean al menos 60 panes que se toman de forma aleatoria de la banda transportadora	David Armijos y Reasse Carrión, retirando panes que se encuentran en la banda transportadora tras haber salido de enfriamiento e introduciendo un termómetro en el centro del pan
Peso en gramos del pan antes de ser cortado	Gramos - Continuo	Peso (en gramos) del pan que ya ha salido de las bandas de enfriamiento	Por SKU	Se muestrean al menos 60 panes que se toman de forma aleatoria de la banda transportadora	David Armijos y Reasse Carrión, retirando panes que se encuentran en la banda transportadora tras haber salido de enfriamiento y pesando en una balanza los panes que fueron utilizadas para muestrear la temperatura, tras eso se regresan a la banda transportadora
Tiempo en minutos que el pan estuvo en las bandas de enfriamiento	Minutos - Continuo	Tiempo (en minutos) que fue programado en el monitor para el enfriamiento del pan	Por SKU	Se anota el tiempo configurado en el monitor cada que se toma un pan para muestrear	David Armijos y Reasse Carrión, observando en el monitor el tiempo configurado
Temperatura en °C del ambiente en el área de enfriamiento	Grados centígrados - Continuo	La temperatura (en grados centígrados) que tiene el área de enfriamiento mientras se encuentra el SKU de interés	Por SKU	Se toma una temperatura ambiente por cada pan muestreado al haber tomado su peso y temperatura	David Armijos y Reasse Carrión, cuando se están realizando las mediciones de temperatura y peso, se anota la temperatura que indica el reloj del área
Humedad en %HR del ambiente en el área de enfriamiento	Porcentaje de humedad relativa - Continuo	La humedad relativa (en porcentaje) que tiene el área de enfriamiento mientras se encuentra el SKU de interés	Por SKU	Se toma una humedad relativa del ambiente por cada pan muestreado al haber tomado su peso y temperatura	David Armijos y Reasse Carrión, cuando se están realizando las mediciones de temperatura y peso, se anota la humedad relativa que indica el reloj del área

Figura 23. Plan de recolección de datos del subproceso Enfriamiento para Línea 1

Data Collection Plan "Enfriamiento L2"					
Measure	Data Type	Operational Definition	Stratification Factors	Sampling Notes	Who and How
Temperatura en °C del pan antes de ser cortado	Grados centígrados - Continuo	La temperatura (en grados centígrados) que tiene el pan al terminar el ciclo de enfriamiento	Por SKU	Se muestrean al menos 60 panes que se toman de forma aleatoria de la banda transportadora	David Armijos y Reasse Carrión, retirando panes que se encuentran en la banda transportadora tras haber salido de enfriamiento e introduciendo un termómetro en el centro del pan
Peso en gramos del pan antes de ser cortado	Gramos - Continuo	Peso (en gramos) del pan que ya ha salido de las bandas de enfriamiento	Por SKU	Se muestrean al menos 60 panes que se toman de forma aleatoria de la banda transportadora	David Armijos y Reasse Carrión, retirando panes que se encuentran en la banda transportadora tras haber salido de enfriamiento y pesando en una balanza los panes que fueron utilizadas para muestrear la temperatura, tras eso se regresan a la banda transportadora
Tiempo en minutos que el pan estuvo en las bandas de enfriamiento	Minutos - Continuo	Tiempo (en minutos) que fue programado en el monitor para el enfriamiento del pan	Por SKU	Se anota el tiempo configurado en el monitor cada que se toma un pan para muestrear	David Armijos y Reasse Carrión, observando en el monitor el tiempo configurado

Figura 24. Plan de recolección de datos del subproceso Enfriamiento para Línea 2

Data Collection Plan "Empaque"					
Measure	Data Type	Operational Definition	Stratification Factors	Sampling Notes	Who and How
Peso en gramos del pan después de ser cortado y enfundado	Gramos - Continuo	Peso (en gramos) del pan que ya ha sido empacado y está listo para almacenar	Por SKU, por lote	Se muestrean 2 unidades almacenadas que se seleccionan aleatoriamente de las gavetas	David Armijos y Reasse Carrión, retirando unidades empacadas de las gavetas para pesarlas con la ayuda de una balanza
Humedad relativa en %HR del pan después de ser cortado y enfundado	Porcentaje de humedad relativa - Continuo	La humedad relativa (en porcentaje) que tiene el pan tras haber sido empacado	Por SKU, por lote	Se muestrean 2 unidades empacadas y se obtienen 3 humedades por cada unidad que se seleccionan aleatoriamente de las gavetas, tras haber monitorado su peso	David Armijos y Reasse Carrión, tomando 3 rodajas en panes cortados y 2 unidades en panes de bollería por cada unidad que se muestreó y se colocan 2gr en la termobalanza

Figura 25. Plan de recolección de datos del subproceso Empaque

Data Collection Plan "Vida útil"					
Measure	Data Type	Operational Definition	Stratification Factors	Sampling Notes	Who and How
Peso en gramos del pan tras ser almacenado	Gramos - Continuo	Peso (en gramos) del pan que ya ha sido almacenado hasta que culmine su vida útil (21 días) y siendo monitoreado cada dos días	Por SKU, por lote, por día	Se muestrean 3 unidades almacenadas que se seleccionan aleatoriamente de las gavetas	David Armijos y Reasse Carrión, retirando unidades empacadas de las gavetas para pesarlas con la ayuda de una balanza. Se pesa cada unidad cada dos días durante 21 días
Humedad relativa en %HR del pan tras haber culminado su vida útil (21 días)	Porcentaje de humedad relativa - Continuo	La humedad relativa (en porcentaje) que tiene el pan tras haber culminado su vida útil	Por SKU, por lote	Se muestrean 3 unidades empacadas y se obtiene 1 humedad por cada unidad que se seleccionan aleatoriamente de las gavetas, tras haber monitorado su peso durante su vida útil	David Armijos y Reasse Carrión, tomando 3 rodajas en panes cortados y 2 unidades en panes de bollería por cada unidad que se muestreó y se colocan 2gr en la termobalanza. Esto tras finalizar su vida útil

Figura 26. Plan de recolección de datos de Vida útil

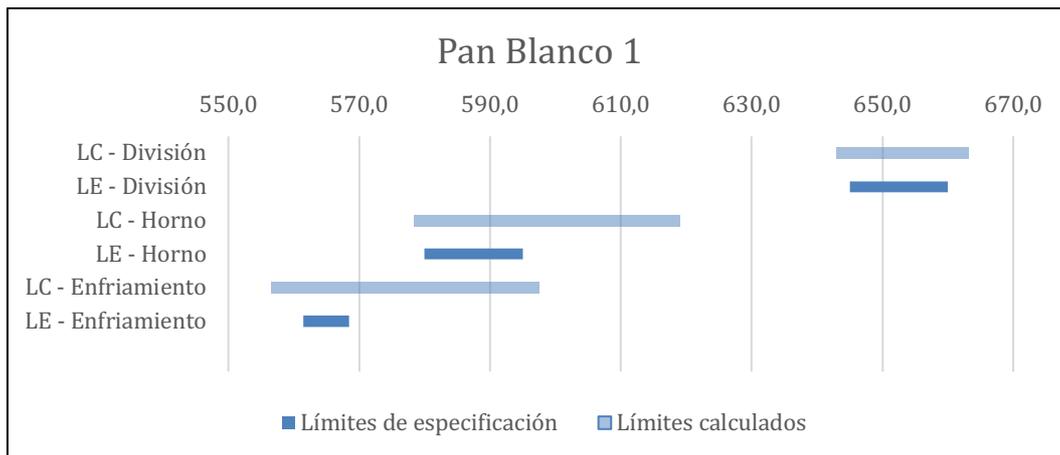


Figura 27. Comparación gráfica de los límites para Pan Blanco 1

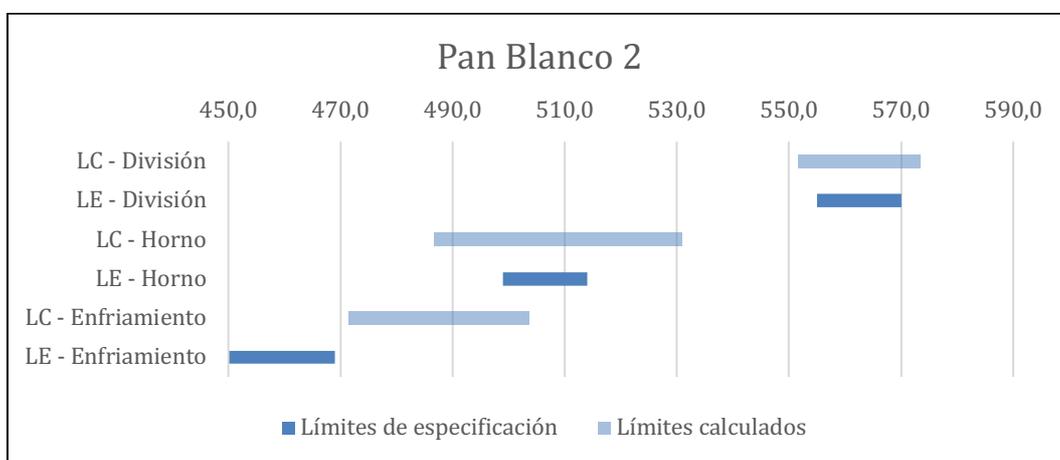


Figura 28. Comparación gráfica de los límites para Pan Blanco 2

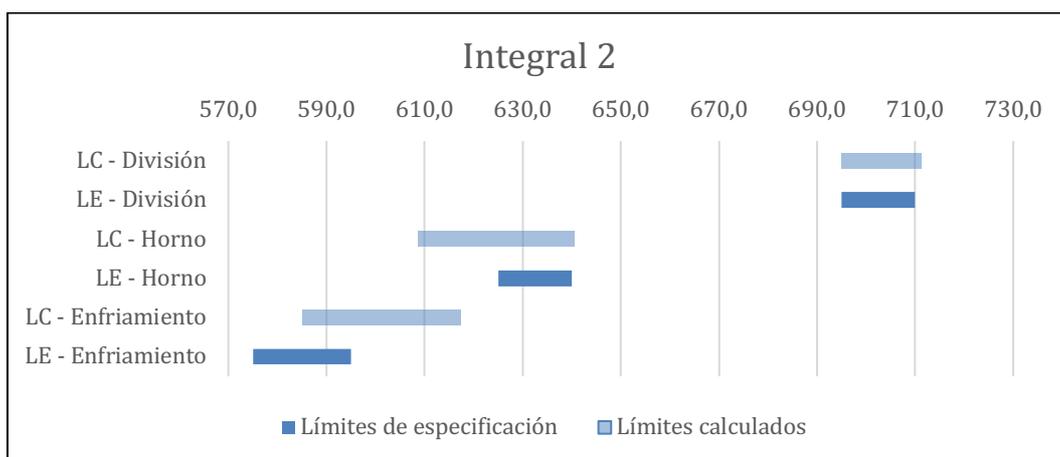


Figura 29. Comparación gráfica de los límites para Integral 2

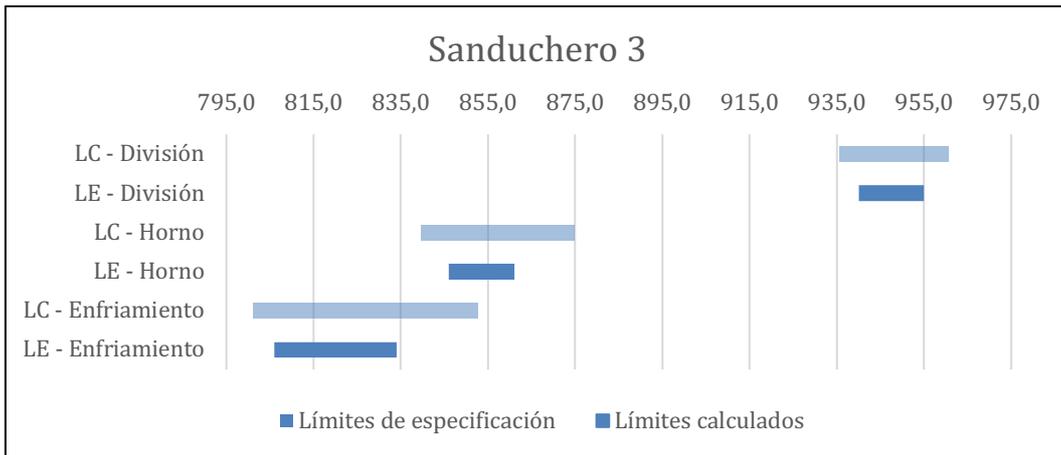


Figura 30. Comparación gráfica de los límites para Sanduchero 3

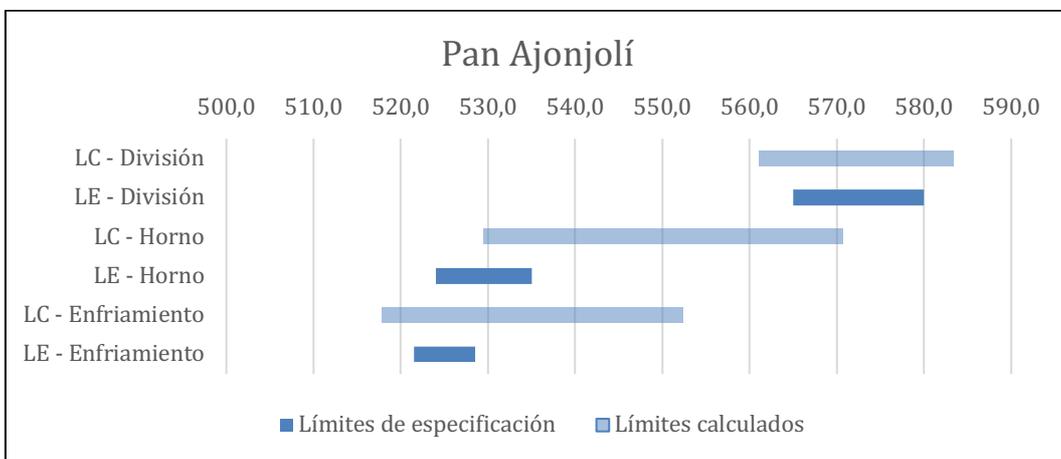


Figura 31. Comparación gráfica de los límites para Pan Ajonjolí

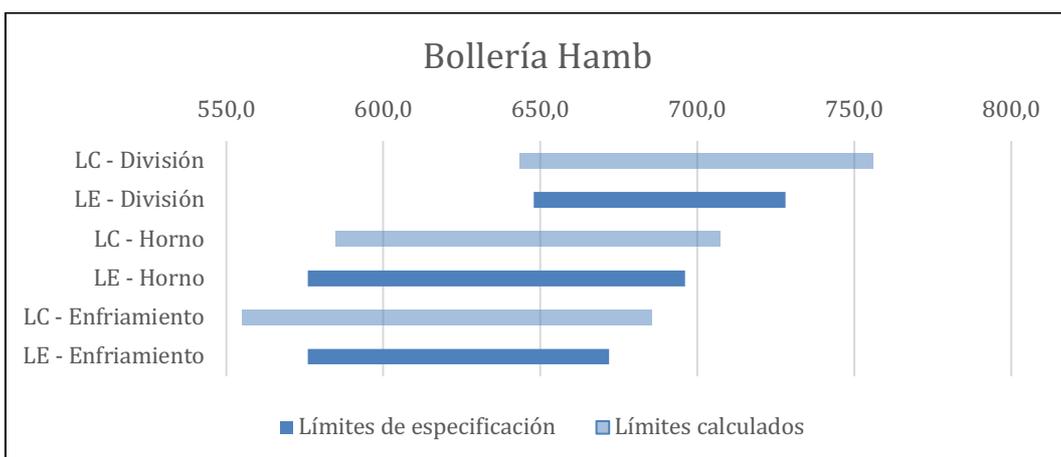


Figura 32. Comparación gráfica de los límites para Bollería Hamb

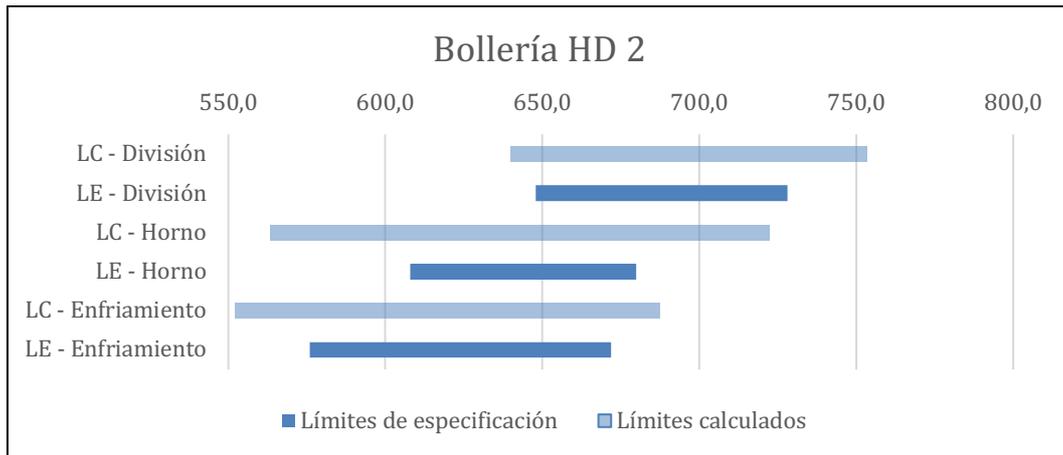


Figura 33. Comparación gráfica de los límites para Bollería HD 2

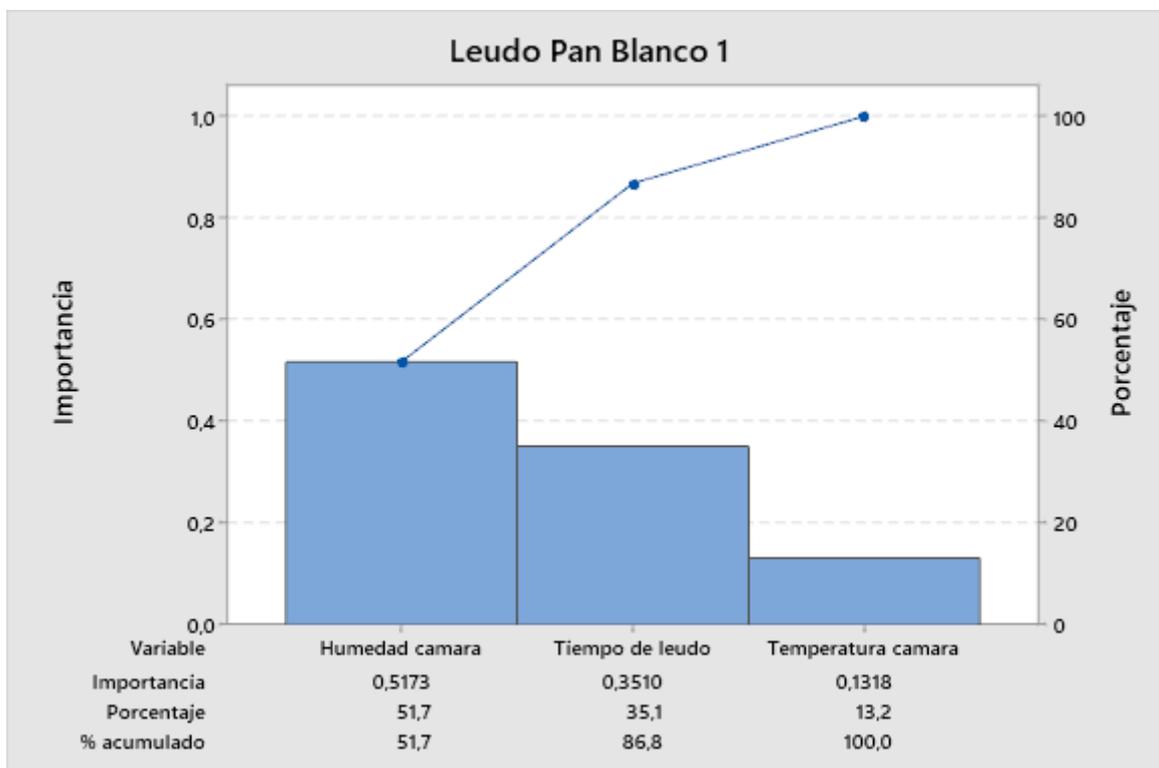


Figura 34. Diagrama de Pareto para Leudo de Pan Blanco 1

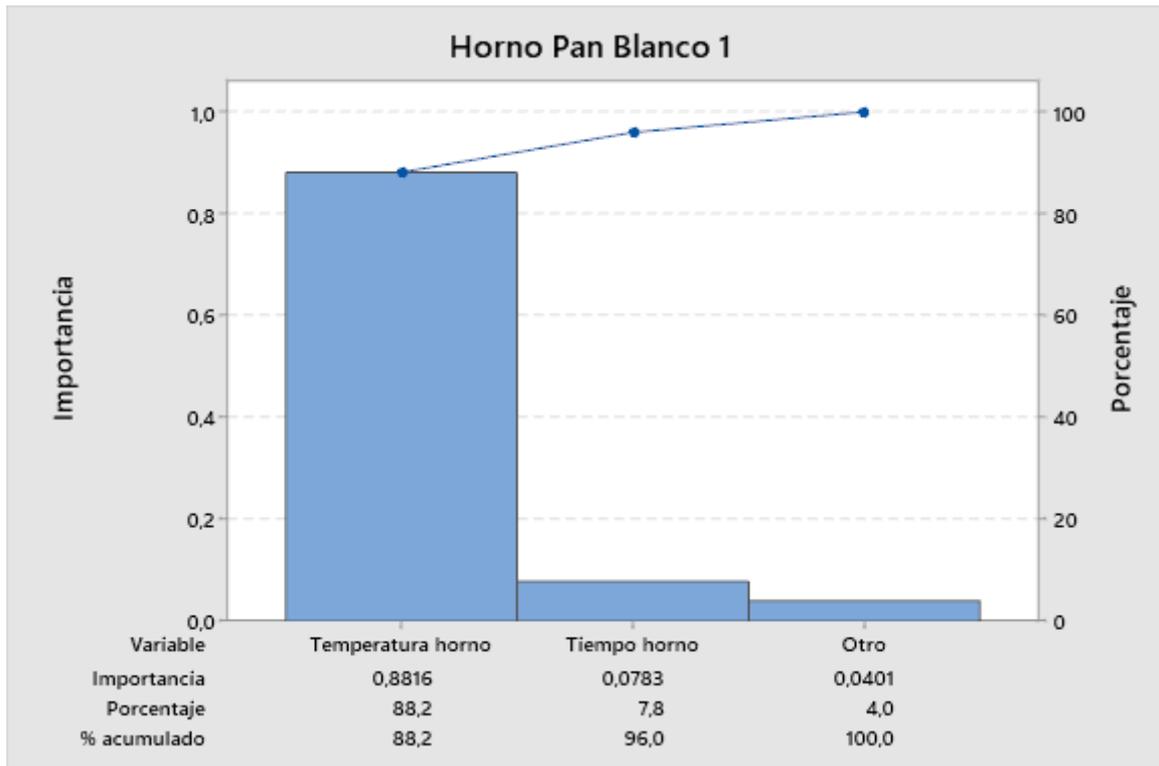


Figura 35. Diagrama de Pareto para Horno de Pan Blanco 1

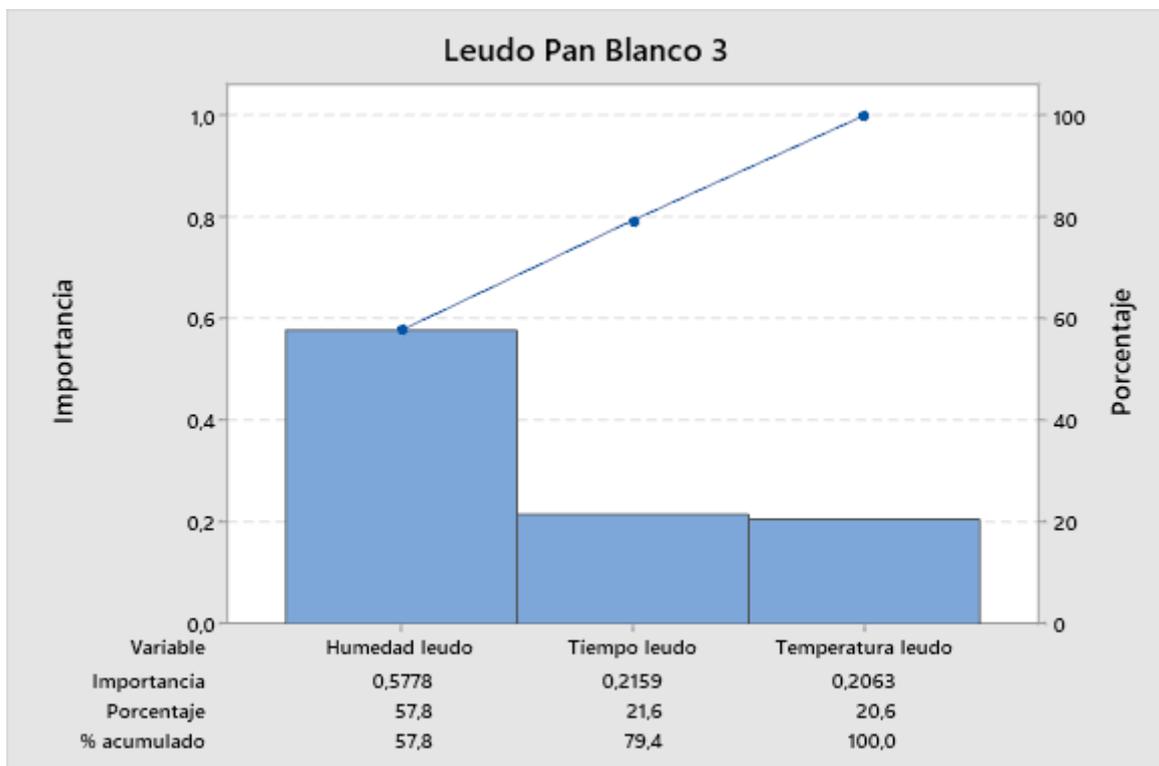


Figura 36. Diagrama de Pareto para Leudo de Pan Blanco 3

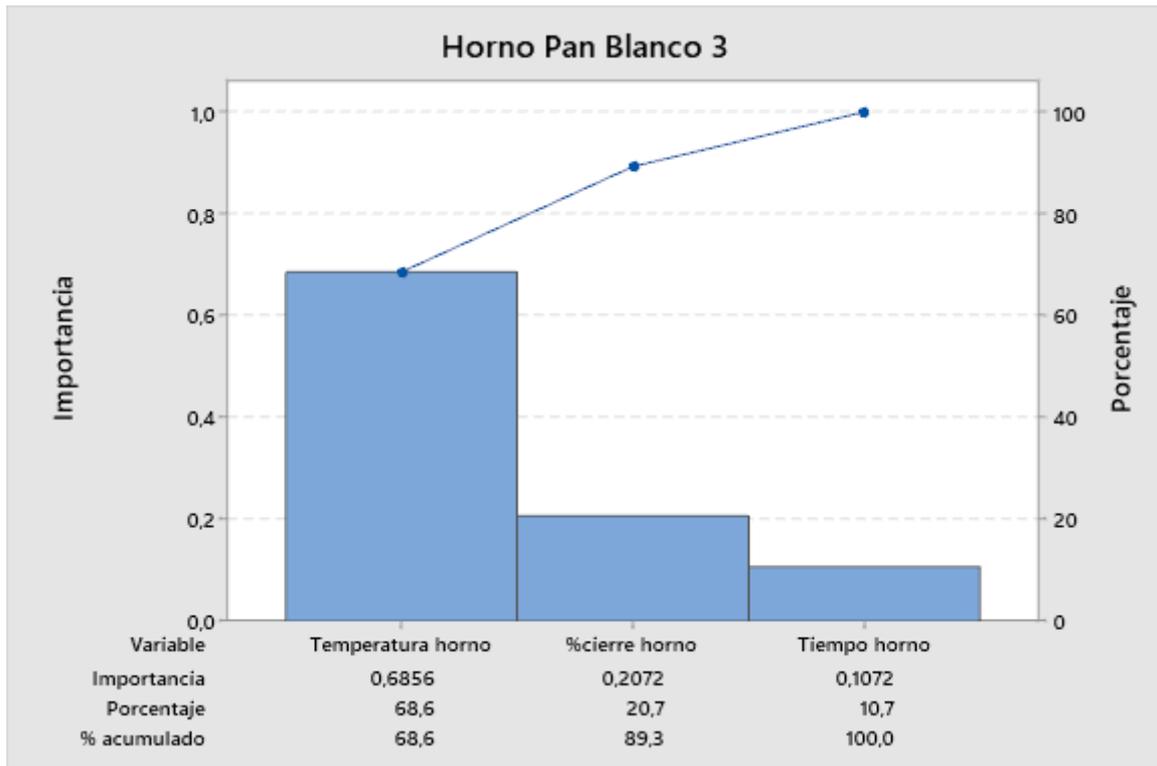


Figura 37. Diagrama de Pareto para Horno de Pan Blanco 3

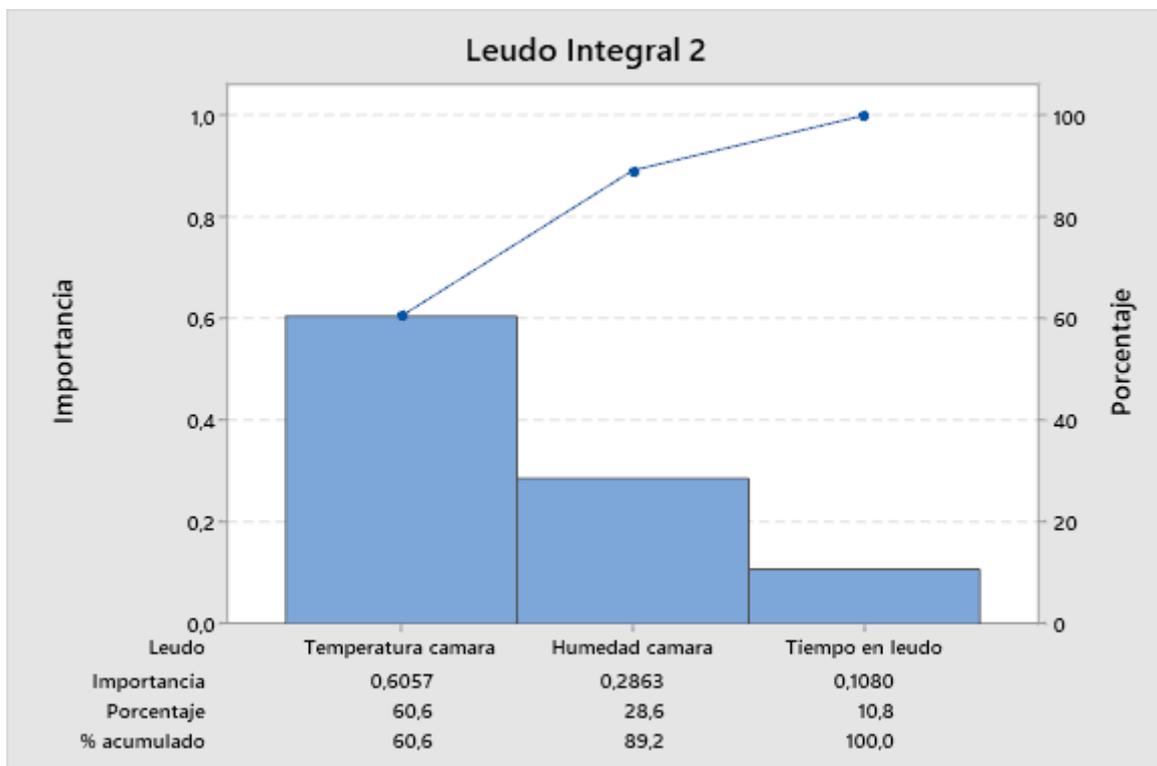


Figura 38. Diagrama de Pareto para Leudo de Integral 2

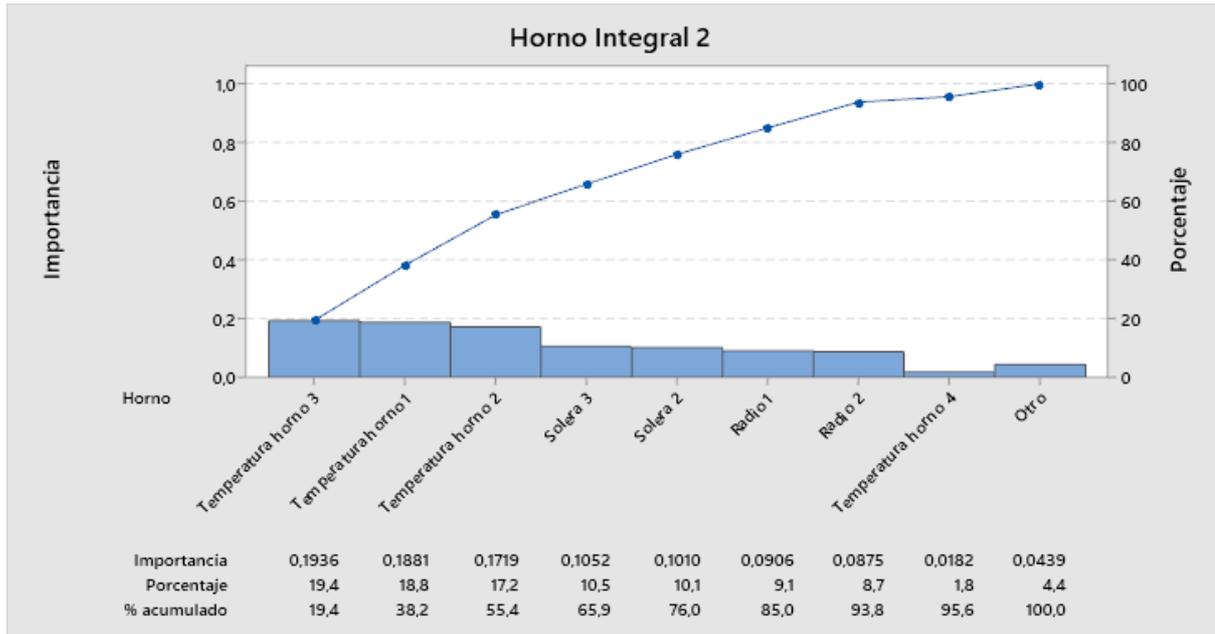


Figura 39. Diagrama de Pareto para Horno de Integral 2

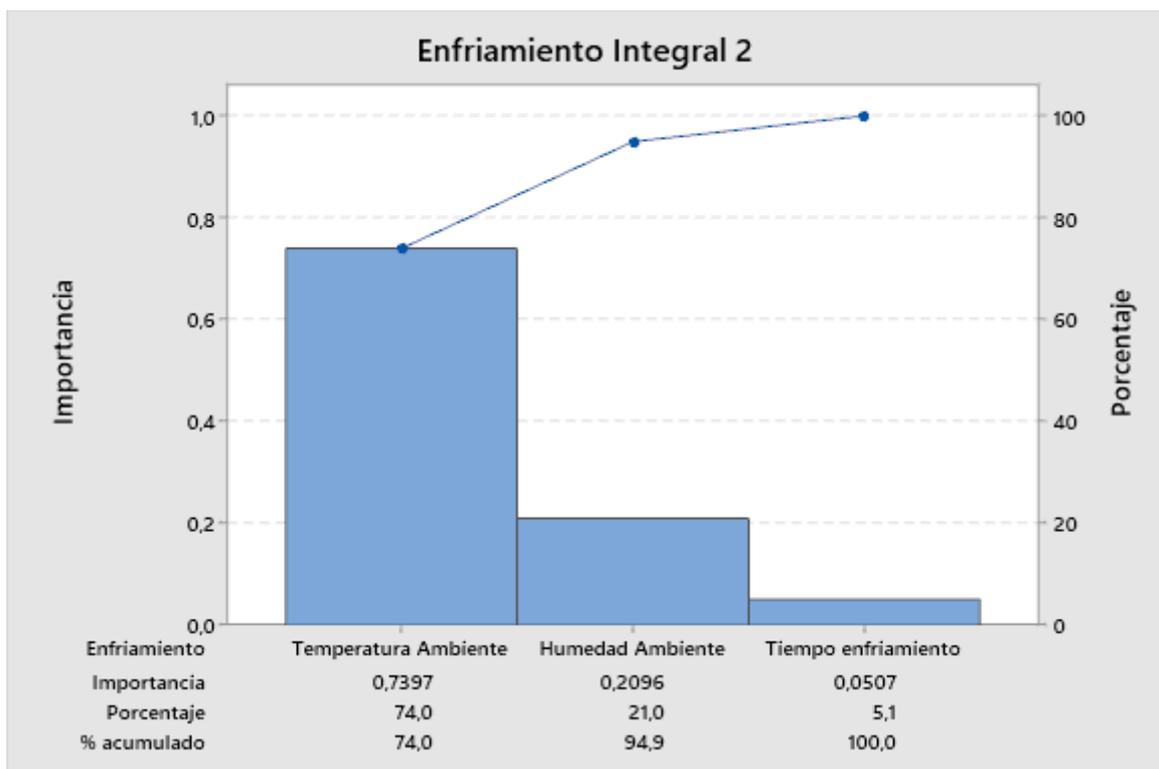


Figura 40. Diagrama de Pareto para Enfriamiento de Integral 2

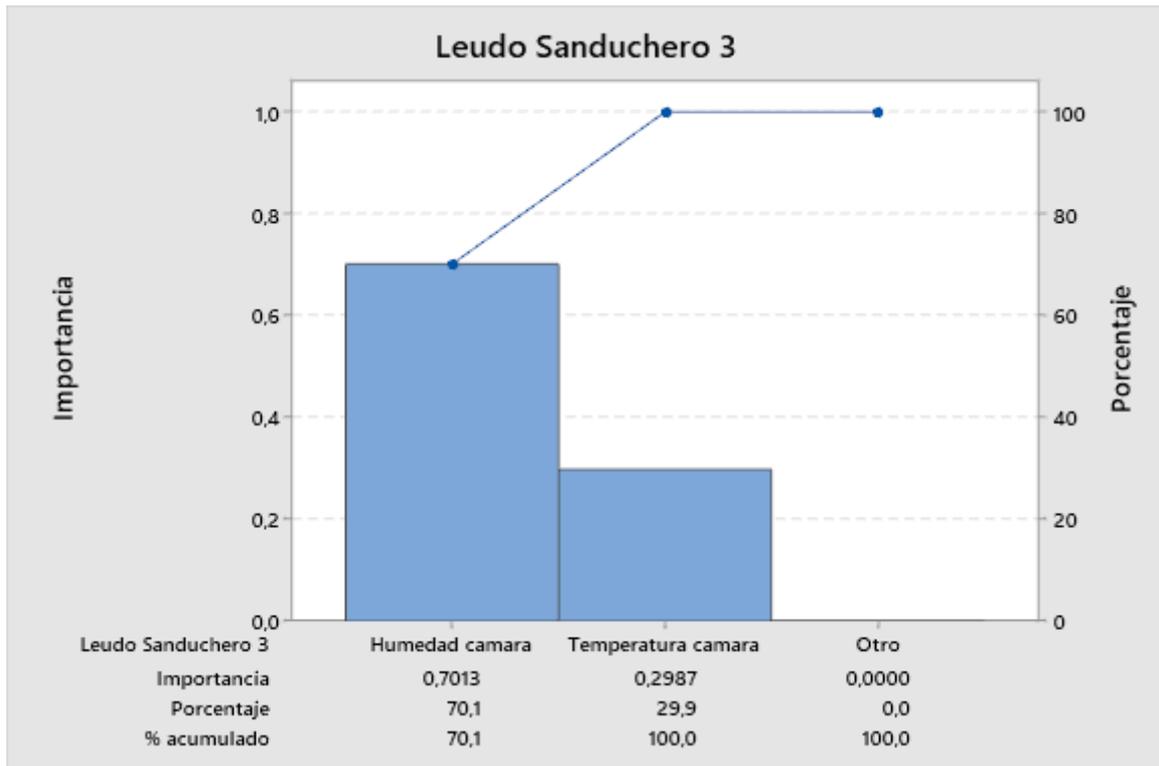


Figura 41. Diagrama de Pareto para Leudo de Sanduchero 3

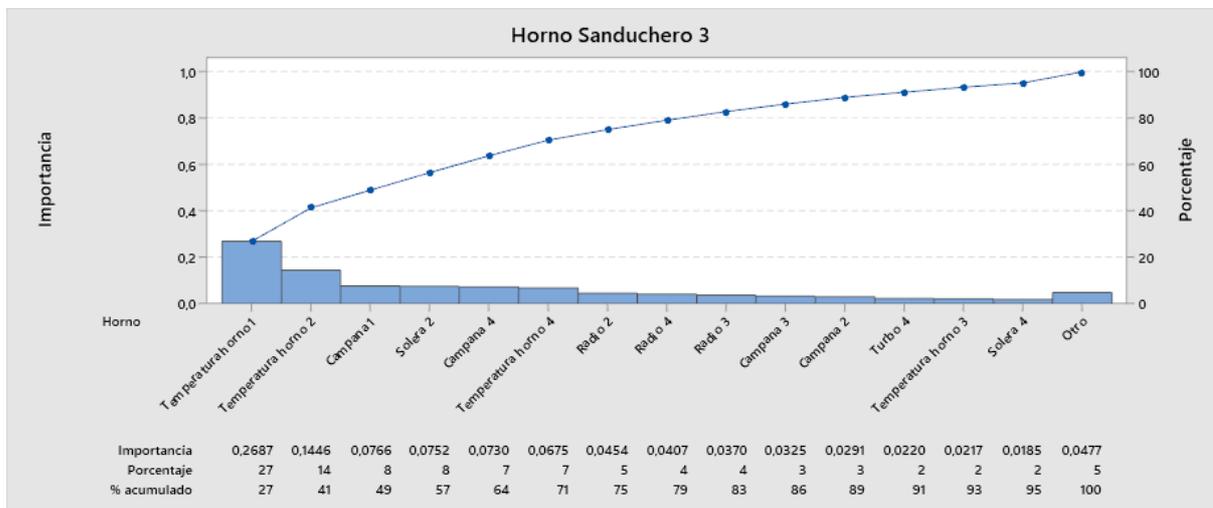


Figura 42. Diagrama de Pareto para Horno de Sanduchero 3

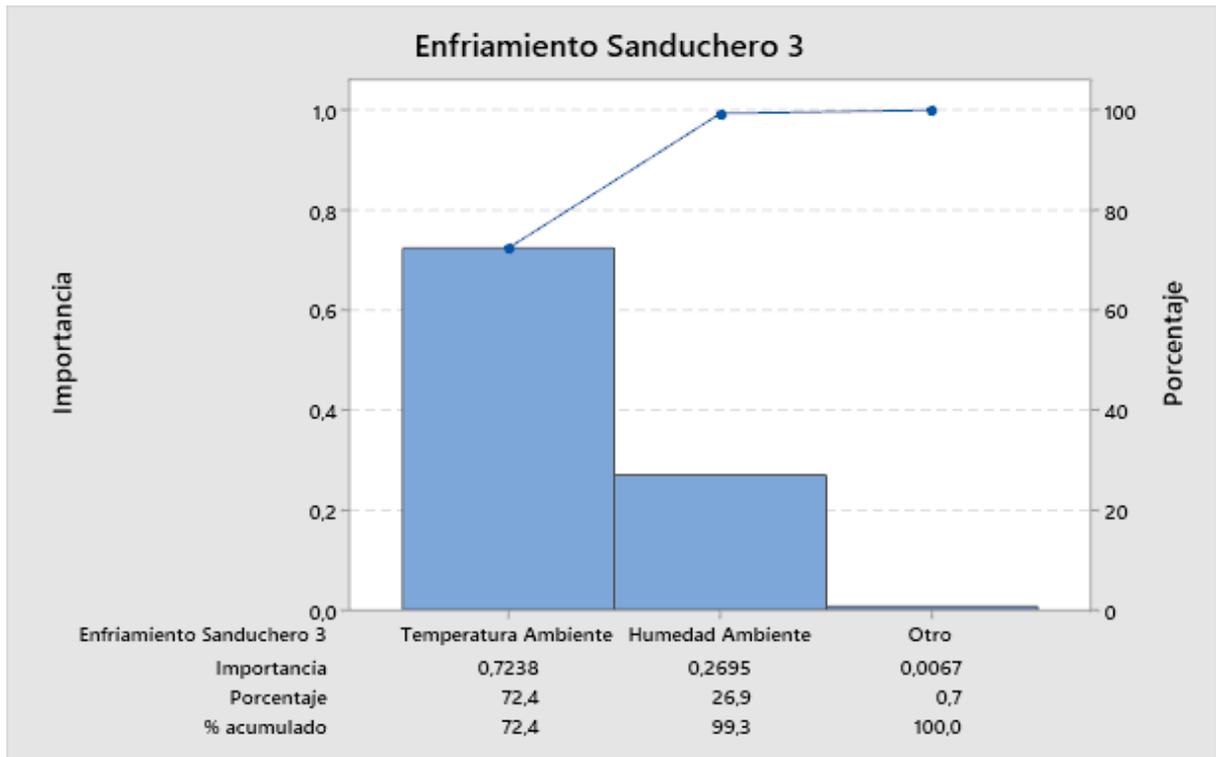


Figura 43. Diagrama de Pareto para Enfriamiento de Sanduchero 3

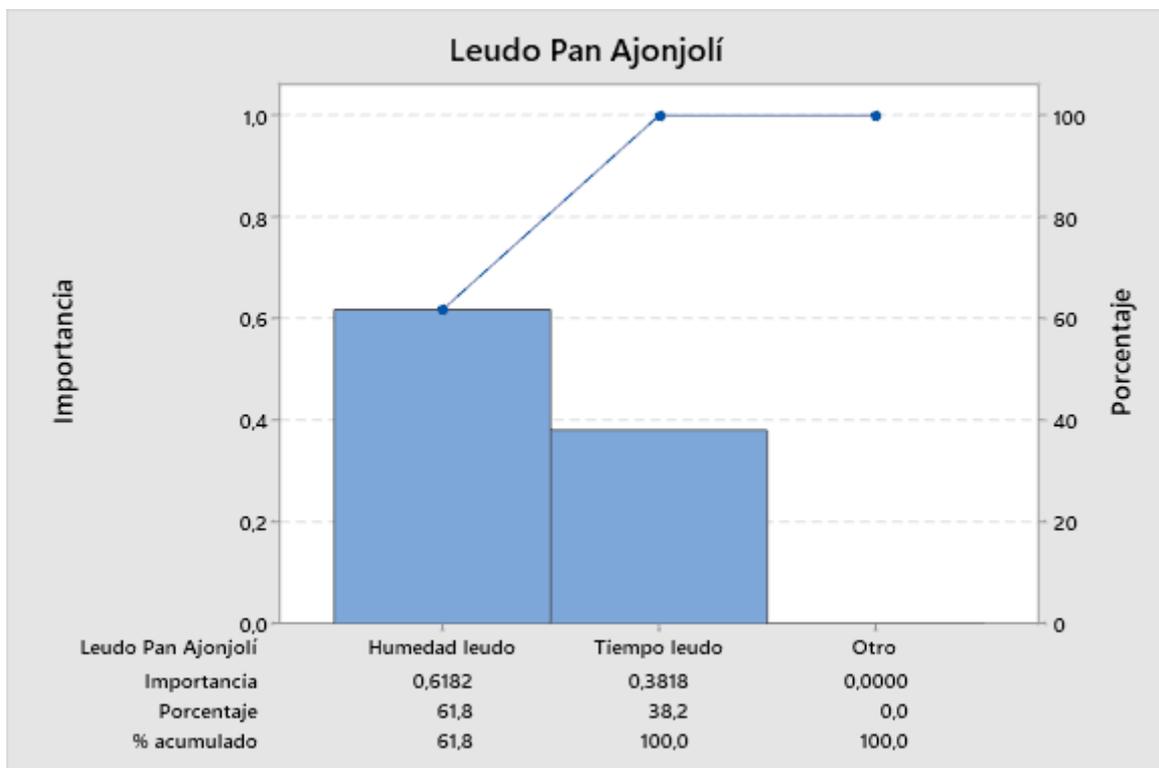


Figura 44. Diagrama de Pareto para Leudo de Pan Ajonjolí

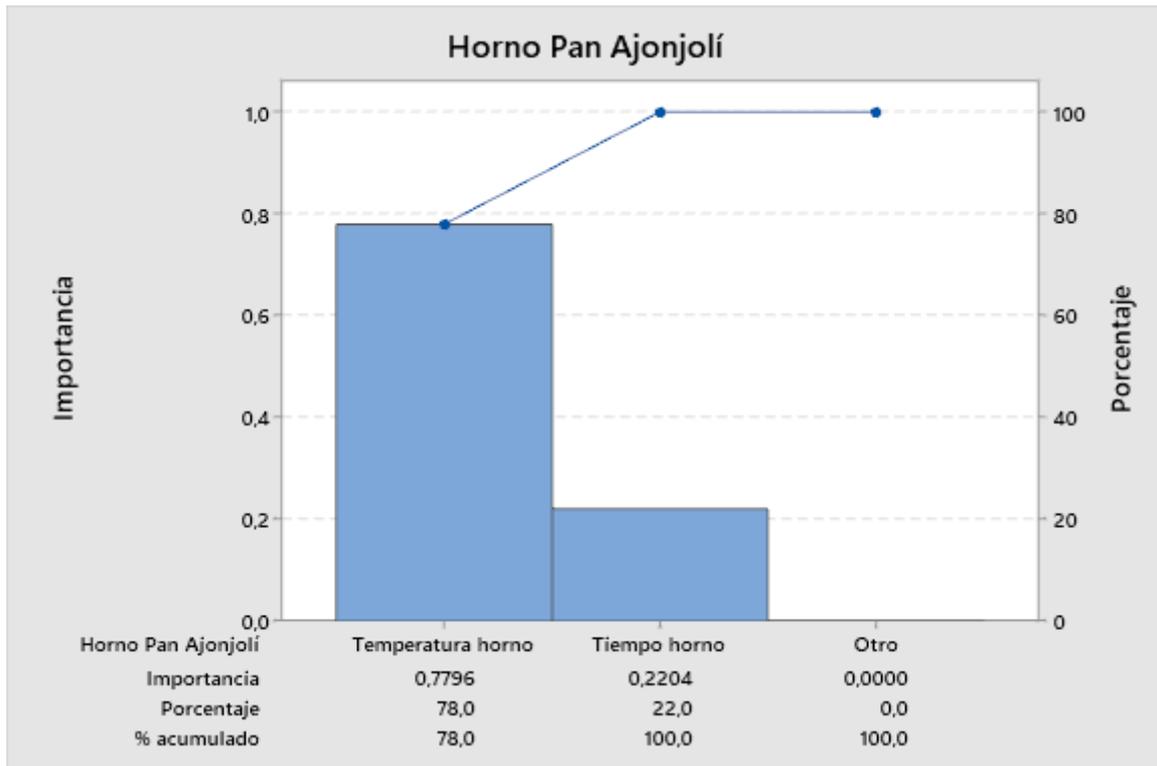


Figura 45. Diagrama de Pareto para Horno de Pan Ajonjolí

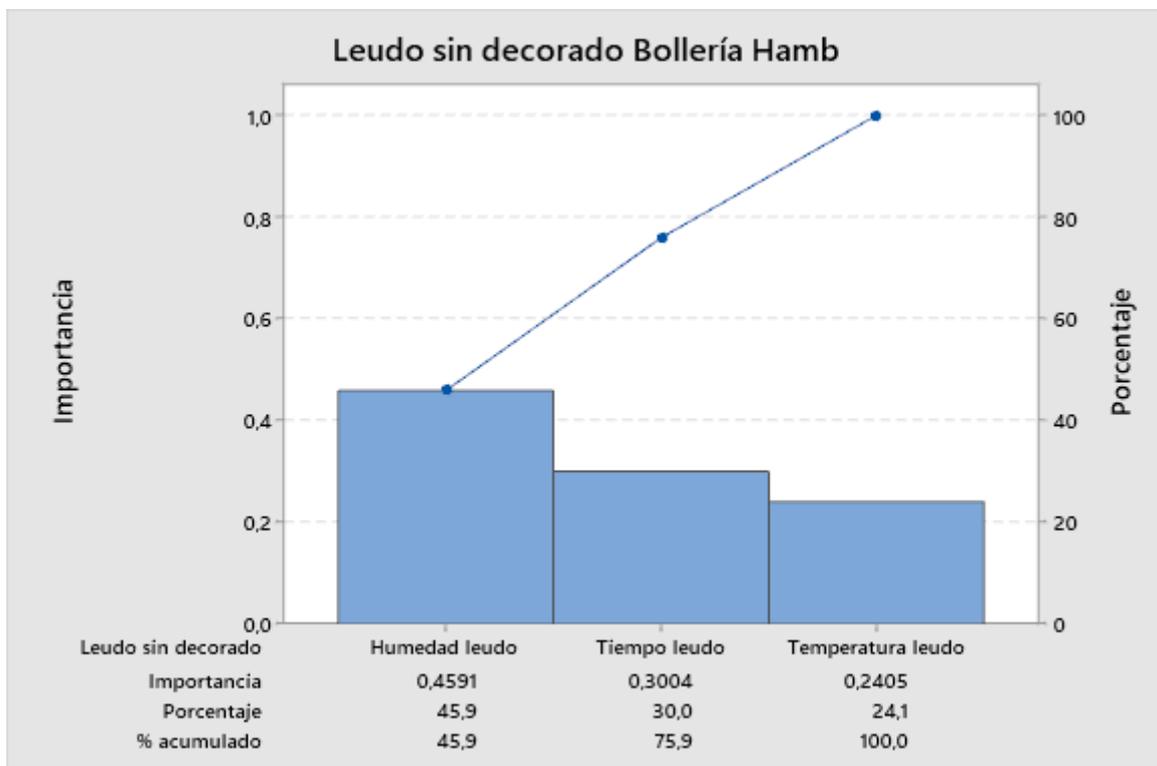


Figura 46. Diagrama de Pareto para Leudo sin decorado de Bollería Hamb

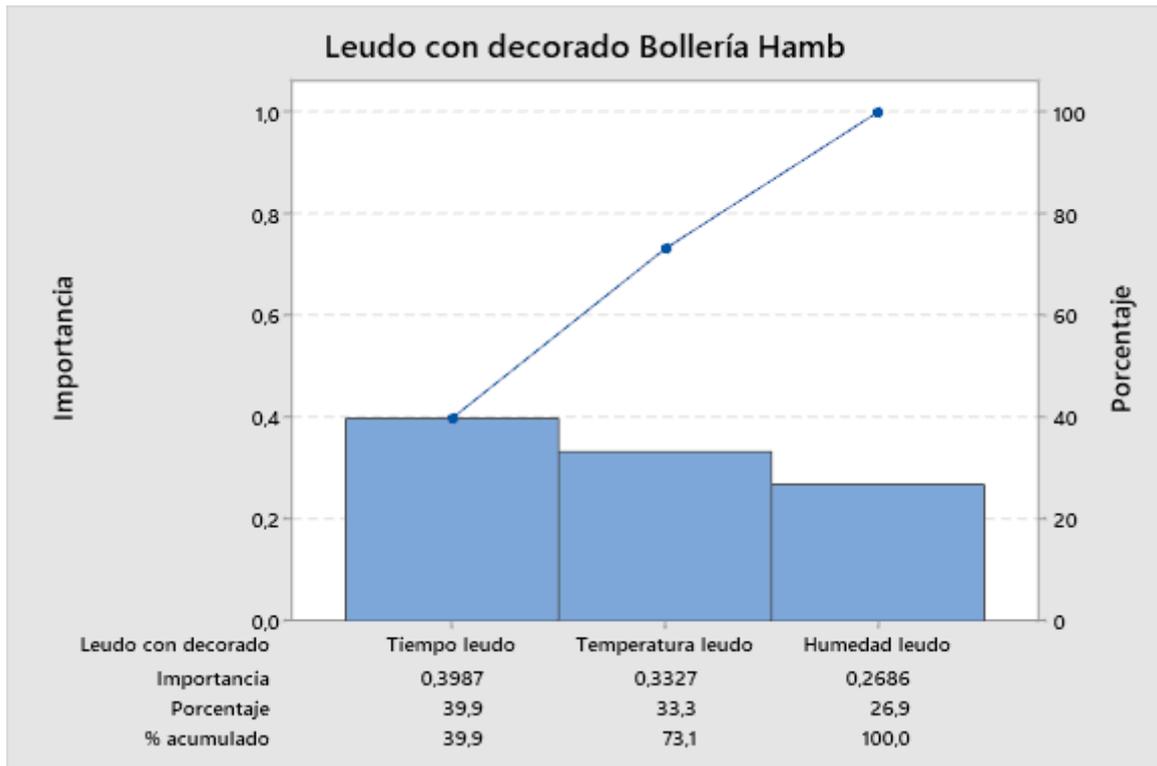


Figura 47. Diagrama de Pareto para Leudo con decorado de Bollería Hamb

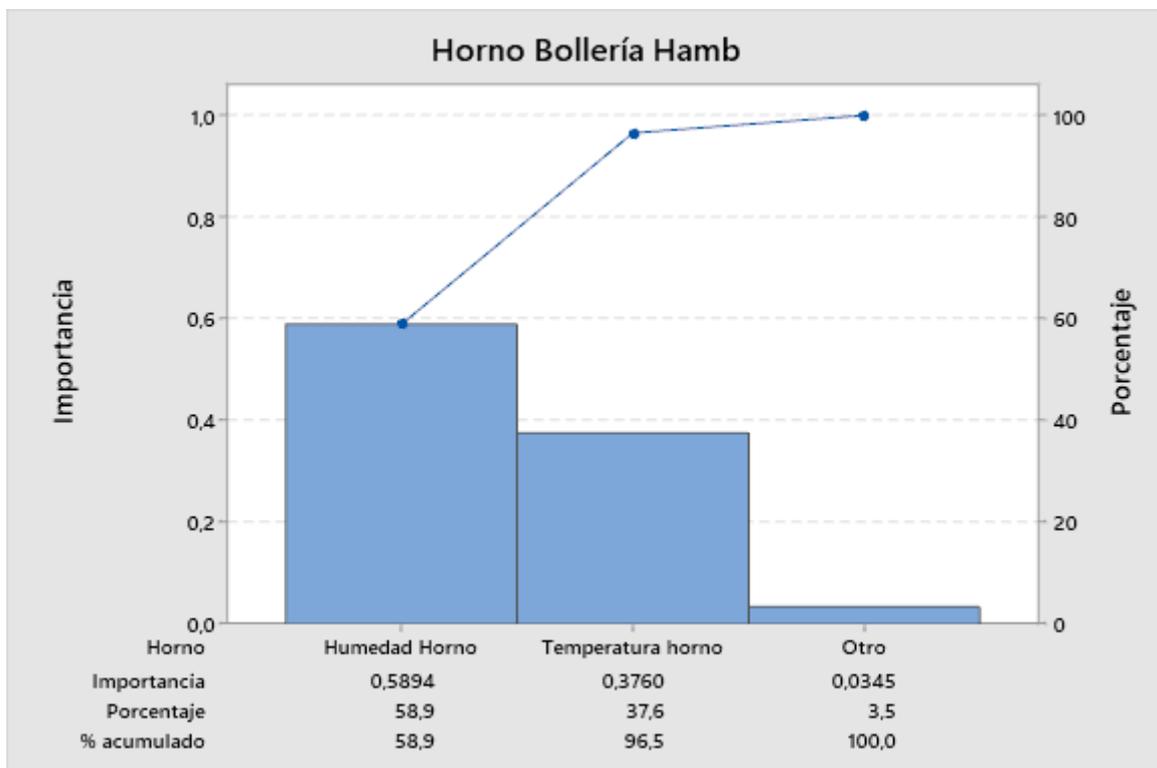


Figura 48. Diagrama de Pareto para Horno de Bollería Hamb

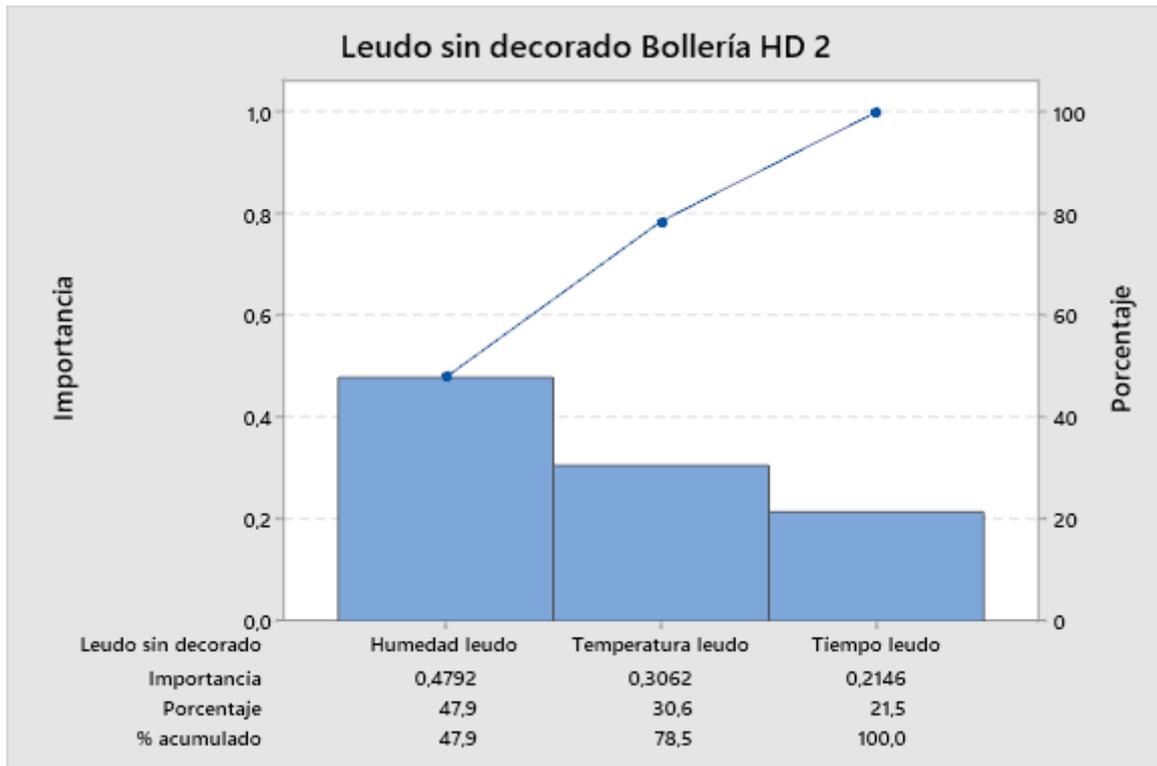


Figura 49. Diagrama de Pareto para Leudo sin decorado de Bollería HD 2

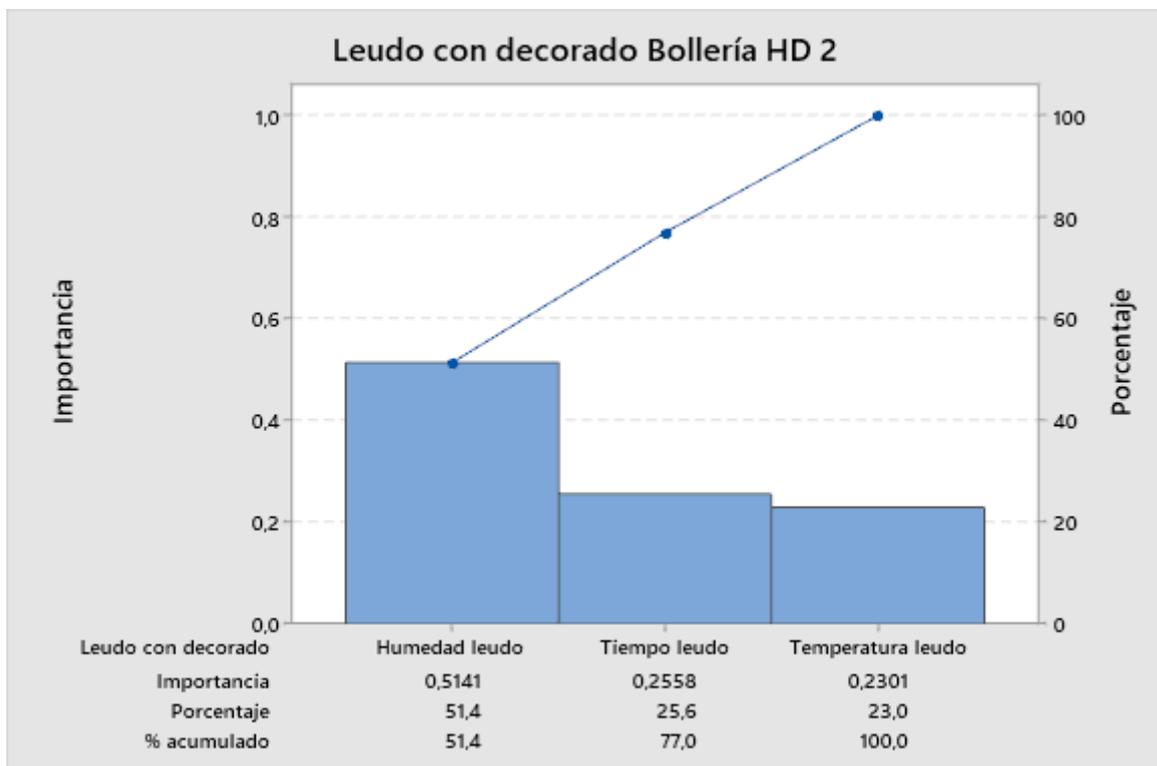


Figura 50. Diagrama de Pareto para Leudo con decorado de Bollería HD 2

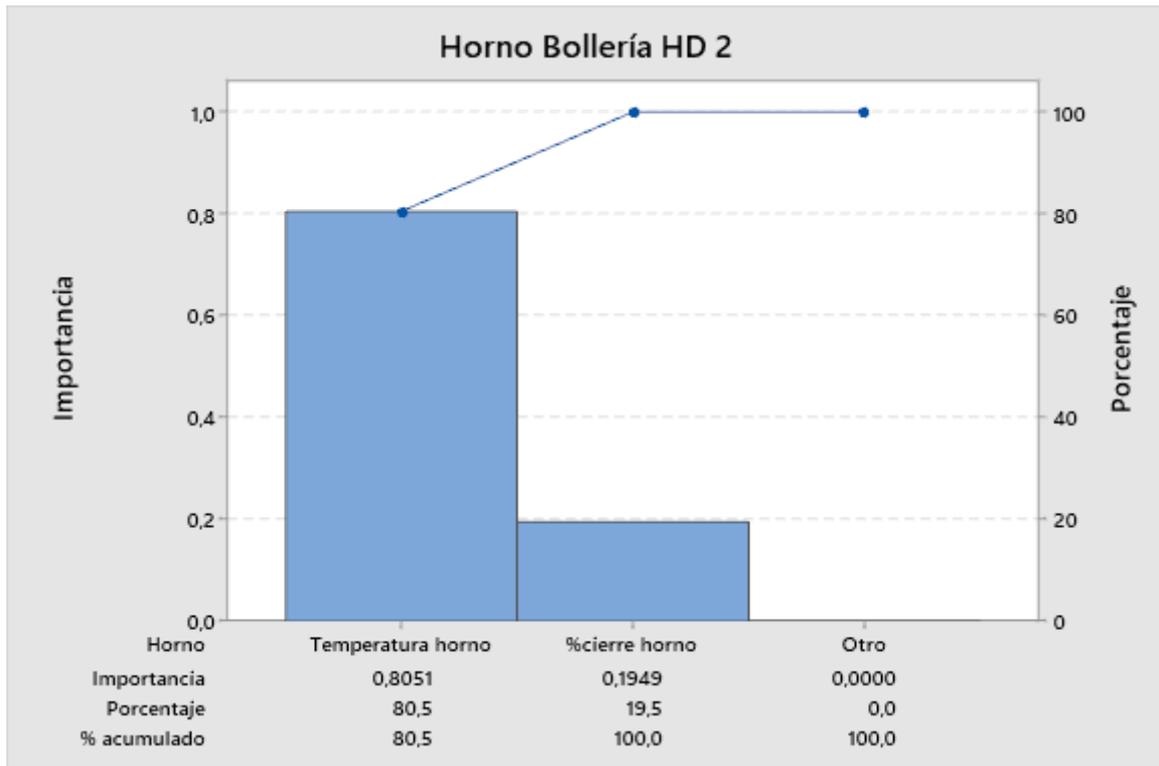


Figura 51. Diagrama de Pareto para Horno de Bollería HD 2

DIAGRAMA ISHIKAWA

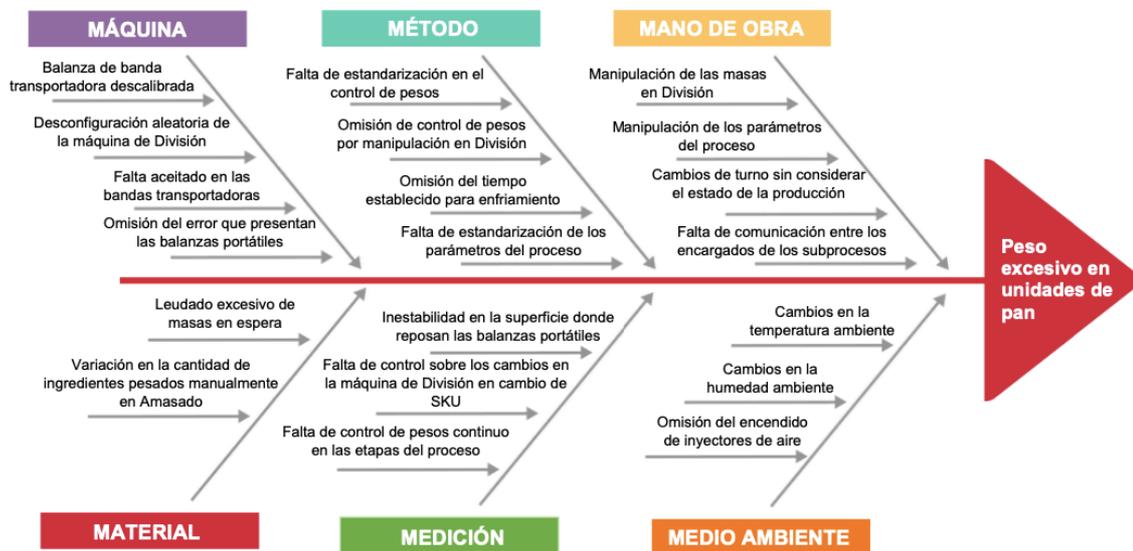


Figura 52. Diagrama Ishikawa del peso excesivo en unidades de pan

Fecha			
Responsable			
Turno			
Leudo L1 y L2			
Tiempo de fermentación (min)	Temperatura cámara de leudo (°C)	Humedad cámara de leudo (%HR)	Comentarios (¿Hubo algún cambio en el parámetro? De ser así, ¿por qué?)

Figura 53. Template de reporte de parámetros Leudo Línea 1 y Línea 2

Fecha																			
Responsable																			
Turno																			
Horno L1																			
Temperatura (BR)	%Solera				%Radio				%Turbo				%Campana por zonas				Tiempo cocción	%Vapor	Comentarios (¿Hubo algún cambio en el parámetro? De ser así, ¿por qué?)

Figura 54. Template de reporte de parámetros Horno Línea 1

Fecha				
Responsable				
Turno				
Horno L2				
Temperatura del horno(°C)	Tiempo de horneado (min)	%Cierre	Humedad del horno (%HR)	Comentarios (¿Hubo algún cambio en el parámetro? De ser así, ¿por qué?)

Figura 55. Template de reporte de parámetros Horno Línea 2

Fecha	
Responsable	
Turno	
Enfriamiento L1 y L2	
Tiempo enfriamiento (min)	Comentarios (¿Hubo algún cambio en el parámetro? De ser así, ¿por qué?)

Figura 56. *Template de reporte de parámetros Enfriamiento L1 y L2*

Fecha	
Responsable	
Turno	
División	
Peso masa (gr)	

Figura 57. *Template de reporte de primeros pesos en División tras cambio de SKU*

Fecha	
Responsable	
Turno	
Enfriamiento	
Tiempo enfriamiento (min)	Temperatura antes de cortar (gr)

Figura 58. Template de reporte de temperatura del pan tras culminar el tiempo de Enfriamiento