

**UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA**

**Facultad de Ingeniería**



**PROPUESTA DE MEJORA EN EL PROCESO DE  
FABRICACIÓN DE MANÍ JAPONÉS EN EMPRESA DE  
INDUSTRIA ALIMENTICIA**

Tesis presentada por Emily Paola Aldana Flores para optar al  
grado académico de Licenciada en Ingeniería Química

Guatemala,

2025



**UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA**

**Facultad de Ingeniería**



**PROPUESTA DE MEJORA EN EL PROCESO DE  
FABRICACIÓN DE MANÍ JAPONÉS EN EMPRESA DE  
INDUSTRIA ALIMENTICIA**

Tesis presentada por Emily Paola Aldana Flores para optar al  
grado académico de Licenciada en Ingeniería Química

Guatemala,

2025

Vo. Bo.

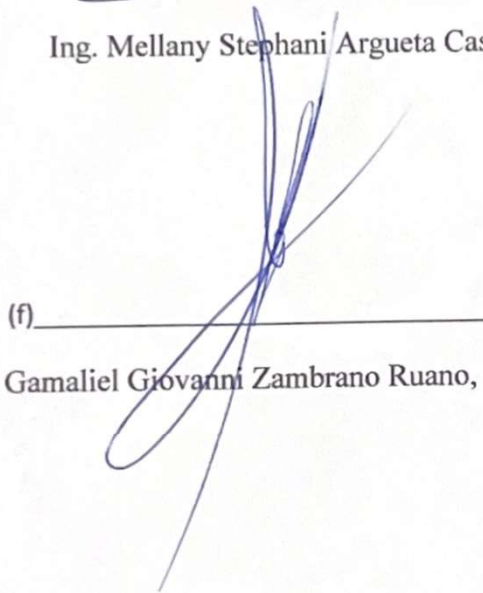
(f) 

Ing. Mellany Stephani Argueta Castillo

Terna examinadora

(f) 

Ing. Mellany Stephani Argueta Castillo

(f) 

Ing. Gamaliel Giovanni Zambrano Ruano, M.Sc.

(f) 

Ing. Luis Ernesto Núñez González

Fecha de aprobación: Guatemala, 12 de diciembre de 2025

## Prefacio

El presente trabajo surgió a partir de la implementación de una línea de maní japonés en una reconocida empresa de índole alimenticia en Guatemala, la cual amablemente me abrió sus puertas y permitió estudiar a fondo la línea para así proponerles mejoras. Al involucrarme en un ambiente tan industrial, pude poner en práctica muchos de los conocimientos adquiridos durante la carrera de ingeniería química.

En primer lugar, quiero agradecer a mi familia, a mis padres por darme su apoyo y amor incondicional, sin ustedes no hubiera podido culminar mis estudios; a mis abuelos Hector y Sandra por todo su cariño y enseñanzas, a pesar de estar lejos lograron reconfortarme y darme porras; a mis tías Mimi, Marilyn y Ani por todo su apoyo y palabras de ánimo cuando las necesitaba; y finalmente a mi hermana por ser una distracción de mis preocupaciones diarias.

Quiero agradecerles a mis amigas, por acompañarme en este largo camino hasta culminar la carrera, por haber compartido momentos inolvidables y ser un constante apoyo. En especial, quiero agradecerles a Guiss y Raquel, sin su ayuda no hubiera podido terminar de escribir este trabajo, su cariño es invaluable para mí.

Por último, pero no menos importante, quiero agradecerle a la ingeniera Mellany Argueta, asesora en este trabajo de graduación, por darme la oportunidad de trabajar en este proyecto y apoyarme a lo largo de este. Asimismo, quiero agradecerle a la licenciada Andrea Solares por su consejería, ayuda y guía en todo el proyecto; y a todo el personal del departamento de Control de Calidad y operadores de la línea de maní japonés, que me brindaron todo su apoyo para poder completar mi tesis y me dieron el espacio para poder trabajar junto a ellos.

# Índice

Prefacio .....	v
Lista de cuadros .....	viii
Lista de figuras.....	xi
Lista de ecuaciones .....	xiv
Resumen.....	xv
Abstract .....	xvi
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. ANTECEDENTES .....	3
III. JUSTIFICACIÓN .....	5
IV. OBJETIVOS .....	6
4.1 Objetivo general.....	6
4.2 Objetivos específicos .....	6
V. MARCO TEÓRICO.....	7
5.1 Maní japonés.....	7
5.2 Industria alimenticia.....	11
5.3 Atributos críticos de calidad (CQA) .....	16
5.4 Análisis sensorial .....	27
5.5 Ingeniería química .....	30
VI. METODOLOGÍA .....	33
6.1 Ingredientes.....	33
6.2 Reactivos.....	33
6.3 Equipos .....	33
6.4 Proceso de producción .....	33
6.5 Métodos de análisis y diagnóstico .....	35
6.6 Propuesta de mejoras .....	37
6.7 Análisis sensorial .....	39
VII. RESULTADOS.....	40
7.1 Diagnóstico del proceso .....	40
7.2 Propuesta de mejoras .....	45
7.3 Balances de masa .....	56
7.4 Análisis sensorial .....	59

VIII.	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	62
IX.	CONCLUSIONES .....	69
X.	RECOMENDACIONES .....	70
XI.	BIBLIOGRAFÍA .....	71
XII.	ANEXOS .....	78
12.1	Datos de placa .....	78
12.2	Cálculo de muestra.....	85
12.3	Datos originales .....	91
12.4	Datos calculados .....	100
12.5	Balances de masa y energía .....	119
12.6	Parámetros de operación .....	123
12.7	Evaluación sensorial .....	158
12.8	Análisis estadístico.....	173
XIII.	GLOSARIO .....	176

## Lista de cuadros

Cuadro	Página
Cuadro 1. Comparación de estándares HACCP e ISO .....	15
Cuadro 2. Balance de masa diagnóstico.....	40
Cuadro 3. Parámetros de operación para grageadora.....	46
Cuadro 4. Parámetros de operación para pulidora .....	49
Cuadro 5. Cotización implementación de sensor.....	50
Cuadro 6. Índices de capacidad de proceso para límites propuestos para porcentaje de sal .....	52
Cuadro 7. Parámetros de operación para tambor y bomba de saborizante .....	52
Cuadro 8. Parámetros de operación para banda secadora.....	55
Cuadro 9. Comparación balance de masa (grageadora).....	56
Cuadro 10. Comparación balance de masa (pulidora) .....	56
Cuadro 11. Comparación balance de masa (horno) .....	57
Cuadro 12. Comparación balance de masa (tambor rotatorio) .....	57
Cuadro 13. Comparación balance de masa (banda de secado) .....	57
Cuadro 14. Rendimientos totales del proceso .....	58
Cuadro 15. Recuento de datos de análisis sensorial.....	60
Cuadro 16. Análisis sensorial antes y después de la implementación de mejoras.....	61
Cuadro 17. Datos de placa balanza de mesa .....	78
Cuadro 18. Datos de placa báscula portátil.....	78
Cuadro 19. Datos de placa analizador de humedad .....	78
Cuadro 20. Datos de placa titulador potenciométrico para sal .....	79
Cuadro 21. Datos de placa motor de grageadora .....	79
Cuadro 22. Datos de placa horno tostador .....	79
Cuadro 23. Datos de placa motor de tambor de sazonado .....	79
Cuadro 24. Datos de placa bomba de cavidad progresiva .....	80
Cuadro 25. Datos de placa controlador de velocidad bomba de sazonado .....	80
Cuadro 26. Datos de placa motor eléctrico multiuso .....	81
Cuadro 27. Datos de placa bomba de lóbulos.....	81
Cuadro 28. Datos de placa sensor de vibración .....	82
Cuadro 29. Datos de placa de fuente de alimentación .....	82
Cuadro 30. Datos de placa de chasis de adquisición de datos .....	83
Cuadro 31. Datos de placa módulo NI-9234 para sensores IEPE.....	84
Cuadro 32. Especificaciones del producto y materia prima para producción de maní japonés .....	91
Cuadro 33. Datos parámetros de producción .....	92
Cuadro 34. Controlador de velocidad de bomba y sus conversiones .....	94
Cuadro 35. Muestreo propuesta de control de velocidad de bomba (Nivel 7).....	94
Cuadro 36. Factores para la construcción de cartas de control.....	96
Cuadro 37. Datos análisis sensorial previo a implementación de mejoras .....	97
Cuadro 38. Datos análisis sensorial posterior a implementación de mejoras .....	99

Cuadro 39. Análisis estadístico de porcentaje de sal para propuesta de parámetros corregidos.....	100
Cuadro 40. Promedios de porcentaje de sal para propuesta de parámetros corregidos ..	101
Cuadro 41. Propuesta de límites de control para porcentaje de sal.....	101
Cuadro 42. Análisis de capacidad del proceso para porcentaje de sal para propuesta de parámetros corregidos.....	101
Cuadro 43. Estadística descriptiva prueba de bomba (apariciencia) .....	102
Cuadro 44. Estadística descriptiva prueba de bomba (textura).....	102
Cuadro 45. Estadística descriptiva prueba de bomba (olor) .....	102
Cuadro 46. Estadística descriptiva prueba de bomba (sabor).....	102
Cuadro 47. Estadística descriptiva prueba de bomba (color).....	102
Cuadro 48. Análisis sensorial prueba de bomba por niveles .....	103
Cuadro 49. Datos porcentaje de maní (grageadora).....	103
Cuadro 50. Datos porcentaje de maní (pulidora) .....	106
Cuadro 51. Datos porcentaje de pegados (salida de pulidora).....	110
Cuadro 52. Resultado parámetros de operación grageadora (izquierda) .....	111
Cuadro 53. Resultado parámetros de operación grageadora (medio) .....	112
Cuadro 54. Resultado parámetros de operación grageadora (derecha).....	113
Cuadro 55. Resultados parámetros de operación en pulidora.....	114
Cuadro 56. Resultados parámetros de operación banda secadora .....	116
Cuadro 57. Estadística descriptiva del análisis sensorial comparativo .....	117
Cuadro 58. Desglose de balance de energía.....	120
Cuadro 59. Parámetros de operación grageadora (prueba de 3 etapas) .....	123
Cuadro 60. Resultados prueba de 3 etapas grageadora (izquierda) .....	124
Cuadro 61. Resultados prueba de 3 etapas grageadora (medio) .....	125
Cuadro 62. Resultados prueba de 3 etapas grageadora (derecha).....	127
Cuadro 63. Parámetros de operación grageadora (prueba de 17 ciclos).....	129
Cuadro 64. Resultados prueba de 17 ciclos grageadora (izquierda).....	129
Cuadro 65. Resultados prueba de 17 ciclos grageadora (medio).....	131
Cuadro 66. Resultados prueba de 17 ciclos grageadora (derecha) .....	133
Cuadro 67. Parámetros de operación grageadora (prueba de 16 ciclos).....	135
Cuadro 68. Resultados prueba de 16 ciclos grageadora (izquierda).....	135
Cuadro 69. Resultados prueba de 16 ciclos grageadora (medio).....	137
Cuadro 70. Resultados prueba de 16 ciclos grageadora (derecha) .....	139
Cuadro 71. Parámetros de operación pulidora (prueba mayor tiempo de residencia) ....	141
Cuadro 72. Resultados mayor tiempo de residencia en pulidora.....	141
Cuadro 73. Parámetros de operación pulidora (prueba menor tiempo de residencia) ....	143
Cuadro 74. Resultados menor tiempo de residencia en pulidora.....	144
Cuadro 75. Parámetros de operación para horno .....	146
Cuadro 76. Parámetros de operación tambor y bomba de saborizante (nivel 6) .....	146
Cuadro 77. Muestreo propuesta de control de velocidad de bomba (nivel 6) .....	146
Cuadro 78. Parámetros de operación tambor y bomba de saborizante (nivel 5) .....	149
Cuadro 79. Muestreo propuesta de control de velocidad de bomba (nivel 5) .....	149

Cuadro 80. Parámetros de operación banda secadora (prueba 8 minutos de residencia)	152
Cuadro 81. Resultados variación de residencia en banda (8 minutos).....	152
Cuadro 82. Parámetros de operación banda secadora (prueba 6 minutos de residencia)	155
Cuadro 83. Resultados variación de residencia en banda (6 minutos).....	155

## Lista de figuras

Figura	Página
Figura 1. Yoshigei Nakatani y su esposa .....	7
Figura 2. Diagrama de bloques producción de maní japonés .....	9
Figura 3. Los 7 principios de implementación de HACCP.....	15
Figura 4. Ejemplo de X-Chart.....	21
Figura 5. Ejemplo de R-Chart.....	22
Figura 6. Diagrama de flujo para balances con recirculación (a), By-Pass (b) y purga (c) .....	23
Figura 7. Balance de masa para un proceso batch .....	24
Figura 8. Ejemplo de un diagrama de Ishikawa.....	25
Figura 9. Escala de Likert de 7 puntos.....	28
Figura 10. Escala lineal de análisis sensorial.....	29
Figura 11. Diagrama de flujo para cálculos de balance de energía.....	30
Figura 12. Diagrama de flujo de proceso para una planta de tratamiento de agua .....	31
Figura 13. Diagrama del balance de masa diagnóstico de la línea de maní japonés .....	41
Figura 14. Variabilidad de porcentaje (m/m) de maní (Grageadora).....	42
Figura 15. Variabilidad de porcentaje (m/m) de maní (Pulidora).....	42
Figura 16. Variabilidad de porcentaje (m/m) de pegados.....	43
Figura 17. Variabilidad de límites establecidos para porcentaje de sal .....	44
Figura 18. Diagrama de causa y efecto para grageadora .....	45
Figura 19. Variación de porcentaje de maní (m/m) en lado izquierdo (grageadora 15 ciclos) .....	46
Figura 20. Variación de porcentaje de maní (m/m) en lado medio (grageadora 15 ciclos) .....	47
Figura 21. Variación de porcentaje de maní en lado derecho (grageadora 15 ciclos) .....	47
Figura 22. Diagrama de causa y efecto para pulidora.....	48
Figura 23. Variación de porcentaje de maní en el proceso (pulidora) .....	49
Figura 24. Diagrama de causa y efecto para tambor y bomba de saborizante.....	51
Figura 25. Gráfica X de límites propuestos para porcentaje de sal.....	52
Figura 26. Variación de porcentaje de sal (m/m) en nivel 7 de bomba .....	53
Figura 27. Gráfica radial análisis sensorial prueba de bomba de saborizante .....	53
Figura 28. Diagrama de causa y efecto para banda de secado.....	54
Figura 29. Variación de humedad en banda de secado (10 minutos) .....	55
Figura 30. Muestra de maní japonés antes de la validación de propuesta de mejoras.....	59
Figura 31. Muestra de maní japonés obtenida en prueba de validación de propuesta de mejoras.....	60
Figura 32. Gráfica radial prueba de análisis sensorial con implementación de mejoras ..	61
Figura 33. Clasificación para picking .....	91
Figura 34. Balance de masa y energía teórico .....	119
Figura 35. Balance de masa previo a la implementación de mejoras .....	121
Figura 36. Balance de masa posterior a la implementación de mejoras .....	122

Figura 37. Posición de toma de muestras en grageadora .....	123
Figura 38. Variación de porcentaje de maní en lado izquierdo (grageadora 3 etapas) ...	125
Figura 39. Variación de porcentaje de maní en lado medio (grageadora 3 etapas) .....	127
Figura 40. Variación de porcentaje de maní en lado derecho (grageadora 3 etapas) .....	129
Figura 41. Variación de porcentaje de maní en lado izquierdo (grageadora 17 ciclos)..	131
Figura 42. Variación de porcentaje de maní en lado medio (grageadora 17 ciclos).....	133
Figura 43. Variación de porcentaje de maní en lado derecho (grageadora 17 ciclos) ....	135
Figura 44. Variación de porcentaje de maní en lado izquierdo (grageadora 16 ciclos)..	137
Figura 45. Variación de porcentaje de maní en lado medio (grageadora 16 ciclos).....	139
Figura 46. Variación de porcentaje de maní en lado derecho (grageadora 16 ciclos) ....	141
Figura 47. Variación de porcentaje de maní en pulidora (mayor tiempo de residencia)	143
Figura 48. Variación de porcentaje de maní en pulidora (menor tiempo de residencia)	145
Figura 49. Variación de porcentaje de sal (m/m) en nivel 6 de bomba .....	148
Figura 50. Variación de porcentaje de sal (m/m) en nivel 5 de bomba .....	152
Figura 51. Variación de humedad en banda de secado (8 minutos) .....	154
Figura 52. Variación de humedad en banda de secado (6 minutos) .....	157
Figura 53. Ejemplo de boleta para comparación de evaluación sensorial .....	158
Figura 54. Comparación sensorial boleta 1 .....	158
Figura 55. Comparación sensorial boleta 2.....	159
Figura 56. Comparación sensorial boleta 3.....	159
Figura 57. Comparación sensorial boleta 4.....	160
Figura 58. Comparación sensorial boleta 5.....	160
Figura 59. Comparación sensorial boleta 6.....	161
Figura 60. Comparación sensorial boleta 7.....	161
Figura 61. Comparación sensorial boleta 8.....	162
Figura 62. Comparación sensorial boleta 9.....	162
Figura 63. Comparación sensorial boleta 10.....	163
Figura 64. Comparación sensorial boleta 11.....	163
Figura 65. Comparación sensorial boleta 12.....	164
Figura 66. Comparación sensorial boleta 13.....	164
Figura 67. Comparación sensorial boleta 14.....	165
Figura 68. Comparación sensorial boleta 15.....	165
Figura 69. Comparación sensorial boleta 16.....	166
Figura 70. Comparación sensorial boleta 17.....	166
Figura 71. Comparación sensorial boleta 18.....	167
Figura 72. Comparación sensorial boleta 19.....	167
Figura 73. Comparación sensorial boleta 20.....	168
Figura 74. Comparación sensorial boleta 21.....	168
Figura 75. Comparación sensorial boleta 22.....	169
Figura 76. Comparación sensorial boleta 23.....	169
Figura 77. Comparación sensorial boleta 24.....	170
Figura 78. Comparación sensorial boleta 25.....	170
Figura 79. Comparación sensorial boleta 26.....	171

Figura 80. Comparación sensorial boleta 27.....	171
Figura 81. Comparación sensorial boleta 28.....	172
Figura 82. Comparación sensorial boleta 29.....	172
Figura 83. Comparación sensorial boleta 30.....	173

## Lista de ecuaciones

Ecuación	Página
Ecuación 1. Índice de capacidad de proceso.....	24
Ecuación 2. Índice de capacidad de proceso centrado.....	25
Ecuación 3. Índice de Taguchi.....	25
Ecuación 4. Porcentaje (m/m) de rendimiento del proceso .....	35
Ecuación 5. Determinación porcentaje de maní.....	36
Ecuación 6. Límite de control superior (UCL) .....	38
Ecuación 7. Límite de control inferior (LCL).....	38
Ecuación 8. Porcentaje de preferencia .....	39
Ecuación 9. Tamaño de muestra .....	85
Ecuación 10. Primera Ley de la termodinámica .....	87
Ecuación 11. Trabajo tambor de sazonado .....	87
Ecuación 12. Potencia eléctrica (monofásico) .....	87
Ecuación 13. Potencia eléctrica (trifásico).....	88
Ecuación 14. Cálculo de entalpía.....	89
Ecuación 15. Balance de energía del horno .....	89
Ecuación 16. Entalpía para bombas .....	89
Ecuación 17. Balance de energía para bombas .....	90
Ecuación 18. Propagación de error para sumas y restas .....	173
Ecuación 19. Propagación de error para multiplicación y división .....	174
Ecuación 20. Media aritmética .....	174
Ecuación 21. Desviación estándar .....	175
Ecuación 22. Coeficiente de variación.....	175

## Resumen

El presente estudio contiene el diagnóstico, análisis y resultados obtenidos en la propuesta de mejoras en un proceso de fabricación de maní japonés en una empresa de la industria alimentaria. El fin es reducir la variabilidad entre lotes y cumplir con las especificaciones de calidad del producto terminado. Se identificaron las etapas críticas del proceso a través de un balance de masa inicial y análisis fisicoquímicos, tales como porcentaje de maní (m/m), porcentaje de sal (m/m) y humedad. Se detectaron cuatro puntos en la línea con mayor variación: grageadora, pulidora, tambor y bomba de saborizante y banda de secado.

Posteriormente, empleando análisis de causa y efecto (Ishikawa), se determinaron las principales causas de variabilidad en cada etapa y se propusieron mejoras específicas para reducir estas diferencias. Entre las propuestas planteadas se incluye el ajuste de parámetros de operación en la grageadora con una configuración de dos etapas que suman 15 ciclos. En la pulidora y banda de secado, se fijó un tiempo de residencia de  $600 \pm 0.01$  s. Finalmente, en la bomba de saborizante, una velocidad de operación en el nivel 7 del controlador, que equivale a  $12.69 \pm 1.4$  L/h. Asimismo, se planteó la implementación de un sensor acústico de vibración para detectar maníes pegados en la salida del tambor de pulido.

Para validar las propuestas realizadas, se llevaron a cabo balances de masa comparativos y análisis sensorial del producto terminado. Los resultados del balance muestran un incremento en el rendimiento del proceso de  $87.60 \pm 0.0021$  % a  $93.90 \pm 0.0019$  % (m/m). En la comparación del análisis sensorial, la aceptación del producto pasó del 56% al 78% en sabor y del 82% al 90% en textura. Esto muestra que las mejoras planteadas tienen un impacto positivo en las características organolépticas.

## Abstract

The following study presents the diagnosis, analysis, and results obtained from the proposed improvements to a Japanese peanut manufacturing process at a food industry company. The aim is to reduce batch-to-batch variability and meet the quality specifications of the finished product. The critical stages of the process were identified through an initial mass balance and physicochemical analyzes, such as peanut percentage (w/w), salt content (w/w), and moisture. Four points along the line with the greatest variability were detected: the coating machine, the polisher, the flavoring drum and pump, and the drying belt.

Afterwards, using cause-and-effect (Ishikawa) analysis, the main sources of variability at each stage were identified, and specific improvements were proposed to reduce these differences. Among the proposed measures is the adjustment of operating parameters on the coating machine, using a two-stage configuration totaling 15 cycles. In the polisher and drying belt, a residence time of  $600 \pm 0.01$  s was set. Finally, at the flavoring pump, the operating speed was set to level 7 on the controller, which corresponds to  $12.69 \pm 1.4$  L/h. Additionally, the implementation of an acoustic vibration sensor was proposed to detect peanuts stuck at the outlet of the polishing drum.

To validate the impact of the proposed changes, comparative mass balances and sensory analyzes of the finished product were conducted. The results show an increase in process yield from  $87.60 \pm 0.0021$  % to  $93.90 \pm 0.0019$  % (w/w). In the sensory analysis comparison, product acceptance increased from 56% to 78% for flavor and from 82% to 90% for texture. This shows that the proposed improvements have a positive impact on the organoleptic characteristics.

# I. INTRODUCCIÓN

Cuando se habla de ingeniería química, usualmente la industria alimenticia no es lo primero en lo que se piensa. Sin embargo, un área en donde el control de calidad y la innovación son tareas del día a día, involucrar una de las ramas de la ingeniería con mayor involucramiento en los procesos es crítico. Este sector industrial en constante crecimiento es uno de los mayores impulsores de la economía a nivel mundial, alcanzando los USD 693 mil millones en ventas minoristas solamente de snacks durante 2024. (Euromonitor International, 2025). Los snacks, o botanas, han abierto camino por sí mismos para posicionarse como algunos de los productos de mayor consumo por la población en general. (Li et al., 2010). En el caso de Guatemala, el mercado de snacks se proyecta alrededor de los USD 16.08 millones para 2025, lo cual representa aproximadamente un 0.0023 % del mercado global de snacks. Aunque puede parecer una proporción pequeña del mercado, a nivel local conlleva gran importancia en términos de desarrollo industrial. (Statista, 2025).

Es en este contexto que entra el maní japonés, una de las botanas más famosas a lo largo de Latinoamérica por su mezcla única de sabores y texturas, aunque no se encontraron cifras específicas para este alimento como subcategoría dentro del mercado de snacks en Guatemala o a nivel mundial, por lo que es probable que no esté en las estadísticas disponibles públicamente o sea un valor tan bajo en el país que no figure en los datos. Aunque el maní japonés como producto tiende a parecer simple, pues consiste en un cacahuate recubierto por varias capas de masa, su producción implica una serie de pasos técnicos complejos en los que hasta el más mínimo detalle puede ser determinante. Factores como el porcentaje de maní en la etapa de grageado, la temperatura de horneado y el contenido de sal, entre otros, son críticos para asegurar que el producto final cumpla con las especificaciones de calidad. Alteraciones menores en estos parámetros pueden provocar inconsistencias entre lotes, afectando negativamente las características sensoriales y físicas del producto.

El caso observado en la empresa de la industria alimentaria donde se desarrolló el presente trabajo cae en esta categoría, ya que la línea para la producción de maní japonés recientemente adquirida presenta variabilidad entre equipos, lo que repercute directamente en el producto final. En respuesta a esta problemática, la presente tesis se centra en la propuesta y evaluación de mejoras técnicas en el proceso de producción de maní japonés dentro de una empresa nacional de la industria alimentaria. El análisis se concentra en la reducción de la variabilidad a nivel de proceso, por lo cual se inició por identificar los puntos críticos donde se presentan las mayores diferencias entre lotes. Para ello, se emplearon herramientas estadísticas y muestreos periódicos para verificar el cumplimiento de las especificaciones del producto en cada etapa.

Una vez que los puntos críticos se definieron, se buscó la causa de la variabilidad en cada etapa específica, por lo que se realizaron análisis de causa y efecto para poder determinar la raíz del problema. Asimismo, se utilizaron análisis de capacidad del proceso

en las etapas con variabilidad elevada para determinar si la variación era inherente del proceso o causada por factores secundarios. Finalmente, se propusieron mejoras al proceso con base en lo detectado en el proceso anterior, entre las cuales se incluye un ajuste a los límites permisibles para porcentaje de sal en el producto final, la implementación de un sensor acústico para la reducción maníes pegados y un rango de operación para la dispersión de saborizante en el maní horneado.

Asimismo, se realizaron pruebas en cada uno de los equipos que componen la línea de maní japonés para proponer parámetros de operación que reduzcan la variabilidad en cada etapa, validando el impacto de estas propuestas a través de la realización de balances de masa. En cuanto a las propiedades organolépticas del producto, se emplearon pruebas de análisis sensorial comparativas antes y después de la implementación de mejoras, siguiendo el procedimiento establecido por la empresa, para evaluar el impacto de las propuestas.

## II. ANTECEDENTES

En la industria alimentaria, donde el más mínimo de los errores puede llevar a graves consecuencias, la implementación de tecnologías de control y monitoreo en tiempo real han demostrado ser eficientes a la hora de mantener la calidad de los productos y controlar los procesos de producción. En el caso de la empresa con la que se trabajó en el presente estudio, se ha reportado una recurrente variabilidad entre los lotes de producción de la recientemente adquirida línea de maní japonés, llevando a desperdicio fuera de lo estimado e inconformidad con el producto final por parte de clientes. A pesar de tener monitoreo de calidad constante, no se cuenta con un sistema que permita correlacionar los datos de proceso con las propiedades finales del producto, lo que dificulta detectar las causas raíz de la variación.

Debido a esto, surge la necesidad de diagnosticar e identificar las etapas críticas del proceso de fabricación de maní japonés para poder proponer mejoras a este, utilizando herramientas como el análisis estadístico, balances de masa y evaluación de las propiedades organolépticas del producto como apoyo. Estudios como el de Álvarez et al. (2022) destacan la importancia del control estadístico de calidad en el análisis de capacidad del proceso dentro de la producción de alimentos, demostrando que este tipo de metodologías pueden verificar, monitorear y controlar la variabilidad para mejorar el producto final.

Por otro lado, el uso de sensores, particularmente en etapas críticas de la producción, ha permitido optimizar parámetros como tamaño de partícula, apariencia y hasta propiedades organolépticas. Una de estas investigaciones, hecha por Bruwer *et al.* (2006), plantea la implementación de sensores en busca de la mejora en la calidad de snacks, específicamente al desarrollar un sensor de vibración en línea para predecir las propiedades de textura de las botanas. Utilizando acelerómetros para registrar las vibraciones provocadas por la caída del snack sobre una plancha metálica, se pudo diferenciar la firma acústica de las muestras evaluadas mediante un análisis de Fourier. Con base en estos datos, se construyó un modelo de regresión de mínimos cuadrados parciales (PLS) para predecir atributos de textura, como la fragilidad del producto, y se logró obtener una precisión del 96%, lo que permitió la implementación del control estadístico en tiempo real y abrió la posibilidad de un control automático de la calidad del producto. (Bruwer *et al.*, 2006).

La conclusión del estudio fue que los sensores de vibración pueden proveer información sobre las características físicas de la botana sin necesidad de interrumpir o muestrear el proceso, siendo una alternativa útil a los métodos tradicionales de evaluación de textura. Siguiendo esta metodología, se podría llegar a corregir parámetros de producción de manera inmediata, mejorando la calidad del producto con una menor cantidad de desechos, sin pausas y reduciendo costos a largo plazo. (Bruwer *et al.*, 2006). Para el presente trabajo, la implementación de un sistema similar a la salida del tambor giratorio utilizado para pulir el maní podría llegar a ser beneficioso. Al poder monitorear el proceso en línea, se evitarían pérdidas en el horno al saber si los maníes van muy pegados o con exceso de galleta, ajustando la temperatura conforme sea necesario.

Además de emplear sensores para controlar el proceso, el análisis sensorial del producto terminado es un factor importante para evaluar la calidad del alimento. Una tesis realizada en la Universidad del Valle de Guatemala por Von Ahn Saragó (2022) tuvo como principal objetivo evaluar las características sensoriales de diferentes snacks a través de pruebas descriptivas y afectivas, para así identificar las preferencias de los consumidores y mejorar la formulación de los productos. Los resultados obtenidos en el estudio demostraron que factores como la textura crujiente, el contenido de grasa y el sabor residual determinan los factores de aceptación del producto. (Von Ahn Saragó, 2022). Esto se relaciona con el presente trabajo al recalcar la importancia de realizarse evaluaciones sensoriales del maní japonés, ya que este producto depende de características como su textura crujiente y sabor característico para asegurar su aceptación en el mercado.

En esta misma línea, la empresa posee su propia metodología para realizar las pruebas de análisis sensorial, específicamente las pruebas de tipo comparativo. De acuerdo con este procedimiento, se seleccionan hasta cincuenta voluntarios ajenos a la línea de producción de la muestra que se está poniendo a prueba para que no exista ningún tipo de sesgo en los resultados. Asimismo, se asegura de que las boletas utilizadas para la toma de datos sean anónimas, siguiendo los estándares de buenas prácticas de laboratorio para evitar influencias externas en los juicios de los panelistas. Una vez que se ha asegurado esto, se evalúa el snack empleando una escala hedónica de uno hasta cinco para cuantificar la preferencia sobre una de las muestras a comparar.

### III. JUSTIFICACIÓN

El mercado global de snacks, uno de los más lucrativos, alcanzó en 2024 un valor de USD 679 mil millones según Euromonitor International (2025), en donde Guatemala es responsable de una porción del mercado estimada en USD 16.08 millones. (Statista, 2025). Actualmente, la industria de snacks enfrenta la necesidad de mejorar continuamente la eficiencia y calidad de sus procesos productivos para cumplir con los estándares internacionales y las expectativas de los consumidores. Según Francisco Paz (2020), se estima que los consumidores son cada vez más exigentes en cuanto a la consistencia, calidad y seguridad de los productos alimenticios que consumen, especialmente en mercados competitivos donde la variedad de opciones es amplia. Esta necesidad de mejoras no solo se centra en la reducción de costos, sino también en la minimización de defectos y variabilidad en el producto final, lo cual es esencial para mantener la lealtad del consumidor y asegurar una ventaja competitiva en la industria. (Alli, 2003).

En el caso del maní japonés, un snack popular en la región de Latinoamérica por su característico sabor y textura, las variaciones en el proceso de fabricación pueden tener un impacto en la calidad del producto final. Como señala el Peanut Collaborative Research Support Program (2007), factores como la calibración incorrecta de los equipos dosificadores o los tiempos de residencia inadecuados en etapas críticas del proceso de producción pueden llevar a problemas. Estos incluyen aglomeraciones, recubrimiento desigual y otros defectos sensoriales que afectan la percepción del consumidor. En conjunto con la empresa donde se desarrolló este estudio, se detectó que la línea de fabricación de maní japonés presenta una alta variabilidad entre equipos y los lotes, consecuentemente afectando el rendimiento del proceso y la estabilidad del producto final.

Aunque existe una amplia variedad de estudios sobre propuestas de mejoras en procesos de la industria alimentaria, no se encontraron investigaciones que aborden la variabilidad del proceso en la producción de este snack, particularmente análisis que combinen herramientas estadísticas, balances de masa y análisis sensoriales para proponer mejoras basadas en evidencia cuantitativa. Debido a esto, el presente trabajo lleva a cabo un diagnóstico completo de todo el proceso de fabricación de maní japonés, logrando identificar las etapas críticas del proceso en las cuales hay mayor variabilidad o pérdida de insumos. A partir de este análisis, se proponen mejoras técnicas basadas en un estudio de causa y efecto. Estas mejoras incluyen ajustes en los parámetros de operación de equipos como la grageadora, la pulidora, la bomba de saborizante y la banda de secado. Asimismo, se plantea la implementación de un sensor acústico de vibración para detectar maníes pegados y permitir realizar correcciones al proceso en tiempo real.

Este estudio se centra en encontrar y disminuir las fuentes de variabilidad en el proceso de fabricación de maní japonés. Para ello, se utilizan herramientas estadísticas, análisis de causa y efecto, y evaluaciones de las características sensoriales del producto final. Con esto, se busca mejorar el rendimiento del proceso y lograr que el producto cumpla con las especificaciones de calidad definidas por la empresa.

## **IV. OBJETIVOS**

### **4.1 Objetivo general**

Determinar los puntos críticos con mayor variabilidad en la línea de fabricación de maní japonés a través del análisis de especificaciones del producto en las distintas etapas del proceso, control de variables de operación y evaluación sensorial del producto terminado, para proponer y validar mejoras que permitan dar cumplimiento a los estándares definidos por la empresa.

### **4.2 Objetivos específicos**

- a. Realizar un diagnóstico de la situación actual del proceso de fabricación de maní, identificando puntos críticos que tengan la mayor variabilidad de parámetros técnicos y orientar la propuesta de mejoras hacia estos.
- b. Utilizando análisis de causa y efecto, proponer mejoras a realizar en los puntos críticos del proceso de fabricación de maní japonés para reducir la variabilidad en estos.
- c. Comprobar el impacto de las propuestas ligadas a modificaciones de parámetros de operación a través de balances de masa y análisis estadístico de resultados para verificar la efectividad de los cambios implementados en la reducción de variaciones.
- d. Comparar resultados de análisis sensorial del producto terminado actual con el que se produce al modificar los parámetros de operación propuestos para establecer el impacto que los cambios tienen en las características organolépticas.

## V. MARCO TEÓRICO

### 5.1 Maní japonés

#### 5.1.1 Origen

El maní japonés es una de las botanas más populares y queridas en México, y ahora gran parte de Latinoamérica. Su crujiente cubierta con sabor a soya y su combinación equilibrada entre lo dulce y lo salado han conquistado el paladar de generaciones, sin embargo, lo que muchos desconocen es que este snack no tiene un origen japonés como su nombre lo indica, sino que fue inventado en México por inmigrantes japoneses que encontraron en la gastronomía una forma de integrarse y sobrevivir en su nuevo hogar (Martínez, 2022).

Antes de conocer el origen del maní japonés, es importante entender cómo es que llegó a México en primer lugar. A finales del siglo XIX y principios del XX, miles de japoneses emigraron a América en busca de mejores oportunidades económicas al mismo tiempo que en Japón, las condiciones de vida eran difíciles, especialmente para los campesinos y trabajadores de clase baja, por lo que muchos decidieron buscar un futuro en el extranjero. México se convirtió en un destino atractivo debido a su política de puertas abiertas hacia los inmigrantes japoneses. Mientras que en Estados Unidos y Canadá se imponían restricciones a la inmigración asiática, México mantenía relaciones amistosas con Japón y ofrecía oportunidades laborales en la agricultura, la minería y la industria manufacturera (López-Calvo, 2015).

Los primeros grupos de inmigrantes japoneses llegaron a México a finales del siglo XIX, estableciéndose en estados como Chiapas, Veracruz y Baja California. Sin embargo, con el tiempo, muchos de ellos se trasladaron a la Ciudad de México, donde comenzaron a trabajar en diversos oficios, desde la confección de ropa hasta la fabricación de botones de concha nácar (López-Calvo, 2015). Fue aquí donde surgió la historia de Yoshigei Nakatani, el hombre que revolucionaría el mercado de las botanas en México.

*Figura 1. Yoshigei Nakatani y su esposa*



Nota. Martínez, 2022.

Yoshigei Nakatani nació en Japón y emigró a México en la década de los 30s y, como muchos otros inmigrantes japoneses, enfrentó dificultades para establecerse en un país con una cultura y un idioma completamente diferentes. En sus primeros años en México, trabajó como obrero en una fábrica de botones de concha nácar en la Ciudad de México, pero sus ideas como emprendedor lo llevaron a buscar nuevas oportunidades e innovar en el ámbito gastronómico (Nihei, 2018).

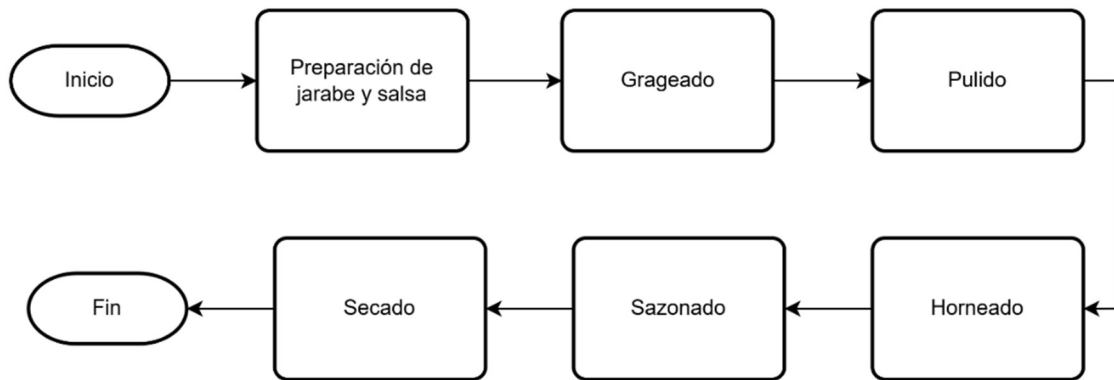
En 1945, en plena posguerra, Nakatani decidió experimentar con un producto que fuera accesible, fácil de vender y con un toque distintivo. Inspirado en técnicas tradicionales de botanas japonesas, ideó una receta en la que recubría los cacahuates con una pasta a base de harina de trigo y salsa de soya, dándoles un sabor único y una textura crujiente tras ser horneados. La combinación de ingredientes no solo aportaba un sabor diferente a los cacahuates, sino que también permitía conservarlos por más tiempo sin que perdieran su frescura, siendo una ventaja en un México donde no se acostumbraba a tener refrigerador aún (Nihei, 2018).

Los primeros maníes japoneses fueron vendidos en el barrio de La Merced, una de las zonas comerciales más importantes de la Ciudad de México. Nakatani comenzó ofreciendo su producto en pequeños puestos de mercado, donde rápidamente captó la atención de los consumidores. Su éxito no tardó en expandirse, siendo proveedor para los vendedores ambulantes y comerciantes de botanas que comenzaron a comprarlos al por mayor para revenderlos en distintas partes de la ciudad. La demanda creció tanto que Nakatani decidió formalizar su negocio y, en 1975, junto con su esposa mexicana Eva Ávila fundó la marca “Nipón”, cuyo nombre proviene de la palabra japonesa “Nihon”, que significa “el origen del sol” o “donde el sol nace” (Martínez, 2022).

A pesar del éxito de su invento, Yoshigei Nakatani nunca registró una patente que lo acreditara como el creador del maní japonés. Esto permitió que, en la década de 1980, otras marcas de botanas en México comenzaran a producir su propia versión del producto. Empresas como Barcel, Sabritas y Nishikawa lanzaron al mercado sus propias líneas de cacahuates japoneses, aumentando la competencia y llevando el producto a un nivel masivo de distribución en todo el país (Martínez, 2022). Si bien Nakatani no obtuvo el reconocimiento legal por su invención, su legado quedó plasmado en la industria de las botanas en México, su creación trascendió generaciones y se convirtió en un símbolo de la fusión gastronómica entre Japón y México (Nihei, 2018).

### 5.1.2 Proceso de producción

Figura 2. Diagrama de bloques producción de maní japonés



Nota. Elaboración propia.

La producción de maní japonés conlleva una secuencia de pasos que combinan técnicas de tradición artesanal con las innovaciones que ha traído la ingeniería en alimentos. El proceso comprende diversas etapas que permiten obtener un producto con características sensoriales específicas, como su forma redondeada, su textura crujiente y su sabor característico. En términos generales, para obtener un maní japonés se necesitan seguir los pasos detallados en la Figura 2: preparar la salsa y jarabes, realizar el grageado, pulir, hornear, sazonar y secar. A continuación, se detallan las etapas clave, respaldadas por literatura técnica y patentes como la CN101816445B, que describe un método optimizado para el recubrimiento y fritura del maní (Li et al., 2010)

Para comenzar, se debe preparar dos mezclas esenciales en el proceso: el jarabe y la salsa. El jarabe en si es una solución acuosa compuesta principalmente por agua y azúcar, cuya función es actuar como agente adherente para las capas de harina durante la etapa de grageado. Esta mezcla debe alcanzar una concentración adecuada que facilite que la harina se pegue de forma uniforme sobre los cacahuates sin formar grumos (Li et al., 2010, [sección 0017]). Por otro lado, la salsa se elabora con ingredientes como salsa de soya, especias, cítricos u otros sabores, y se aplica posteriormente al horneado para proporcionar el sabor final característico del producto. La preparación de ambas mezclas se realiza bajo condiciones controladas de temperatura y agitación para garantizar su homogeneidad (Martínez, 2022).

Continuando con las etapas, el grageado es una de las etapas más importantes en la fabricación del maní japonés, ya que es aquí donde se forman las capas crujientes que lo caracterizan. Este proceso consiste en la aplicación alternada de jarabe y mezcla de harinas sobre los maníes crudos mientras giran dentro de un tambor rotatorio. En cada ciclo, se adiciona primero el jarabe y luego una porción de harina, de forma secuencial, permitiendo que las capas se acumulen poco a poco alrededor del cacahuete, y se repite hasta alcanzar

el grosor deseado. Un grageado bien hecho es crucial para asegurar una cobertura uniforme y una textura óptima en el producto final (Li et al., 2010, [sección 0018]).

Una vez alcanzado el número de capas deseadas en el grageado, los maníes recubiertos pasan por un proceso de pulido. En esta etapa, los maníes son sometidos nuevamente a movimiento dentro de un tambor rotatorio, sin añadir ingredientes adicionales, con el objetivo de suavizar y hacer más prolija la superficie del recubrimiento, eliminando irregularidades y redondeando cada unidad (Li et al., 2010).

Pasado el pulido, se continua hacia el horneado, una etapa crucial que transforma la masa húmeda de jarabe y harina en una costra crujiente, dándole al maní japonés su textura característica. Los maníes pulidos se introducen en hornos a temperaturas controladas que permiten evaporar la humedad del recubrimiento, fijar la forma del producto, crear el color dorado y el sabor tostado del exterior. La temperatura y el tiempo de horneado deben ajustarse de acuerdo con el flujo masico que ingrese al horno, ya que una cocción insuficiente puede generar productos blandos, mientras que un horneado excesivo puede provocar sabores amargos o quemados (Li et al., 2010, [sección 0023]).

Una vez horneados los maníes, se pasa a la etapa de sazonado. Este proceso consiste en aplicar la salsa preparada previamente sobre los cacahuates calientes, utilizando un tambor rotatorio para lograr una distribución homogénea, favoreciendo que la salsa se adhiera uniformemente a cada maní sin formar acumulaciones. Finalmente, el producto sazonado se traslada a una banda secadora, donde se elimina el exceso de humedad generado por la aplicación de la salsa. Este secado es esencial para fijar el sabor en la superficie del maní, mejorar su vida útil y evitar que el producto final tenga una textura pegajosa (Li et al., 2010, [sección 0017]).

### **5.1.3 Características sensoriales**

El maní japonés es una botana que destaca por su combinación única de texturas y sabores, lo que lo convierte en un producto altamente apreciado en la gastronomía mexicana y latinoamericana en general. “La receta original de los cacahuates “Nipón” incluía ingredientes como cítricos y un toque de azúcar, lo que le daba un ligero dulzor que contrastaba con el sabor salado de la soya. Esta combinación única contribuyó a que la botana se volviera aún más popular” (Martínez, 2022).

Una de las características principales del maní japonés es su textura, ya que cuenta con una cubierta crujiente que se quiebra fácilmente al morder, revelando en su interior una nuez suave y mantecosa. En cuanto a su sabor, el snack se distingue por su equilibrio entre lo salado y lo dulce. La presencia de salsa de soya en la cubierta le aporta un sabor umami característico, mientras que en algunas versiones tradicionales se percibe un ligero toque dulce debido a la adición de azúcar o cítricos (Nihei, 2018). Además, el proceso de tostado resalta notas ahumadas y le otorga una intensidad que realza el sabor del maní.

Su olor es otro factor clave en su atractivo sensorial. Al abrir un paquete de maní japonés, se perciben notas tostadas provenientes del cacahuate horneado, complementadas con un sutil aroma especiado, especialmente en aquellas versiones que contienen

ingredientes como chile o ajo (Nihei, 2018). En algunas recetas, también se pueden notar matices dulces provenientes de la azúcar caramelizada. Visualmente, el maní japonés presenta una forma ovalada e irregular, con una cubierta que varía en grosor y textura. Su color dorado o marrón claro refleja el proceso de horneado o fritura al que ha sido sometido, mientras que su superficie rugosa y mate le da un aspecto artesanal.

## **5.2 Industria alimenticia**

### **5.2.1 Descripción**

La industria alimenticia es uno de los sectores más dinámicos y críticos en la economía mundial, dado su impacto en la salud, la seguridad alimentaria y el desarrollo social. Su principal tarea es transformar materias primas en productos alimenticios seguros, nutritivos y de alta calidad que satisfagan las necesidades y expectativas de los consumidores (Sadiku *et al.*, 2019). Este sector enfrenta desafíos constantes, como la necesidad de adaptarse a las regulaciones cambiantes, responder a las nuevas tendencias del consumidor y manejar los riesgos asociados al cambio climático y la sostenibilidad. A pesar de estos retos, la innovación permite a las empresas mejorar la eficiencia, reducir costos y ofrecer productos más seguros y sostenibles (Alli, 2003).

Este sector abarca desde la agricultura y la cría de ganado hasta la manufactura, pasando por el procesamiento de alimentos, el empaque, el almacenamiento y la distribución (Sadiku *et al.*, 2019). La producción de alimentos involucra una cadena compleja de actores, que incluye personal de distintos rubros trabajando en conjunto para llevar productos seguros y de calidad al mercado. En la actualidad, la industria alimenticia está dominada por grandes corporaciones multinacionales, aunque también incluye a numerosas pequeñas y medianas empresas que contribuyen a la diversidad del sector (Andersen *et al.*, 2023).

### **5.2.2 Importancia del control de calidad en la industria alimenticia**

El control de calidad se define como un conjunto de procesos y sistemas diseñados para garantizar que, en este caso, los alimentos producidos cumplan con los estándares de calidad y seguridad exigidos tanto por normativas nacionales e internacionales, así como por las expectativas de los consumidores (Sikora, 2005). La calidad en los alimentos no solo se refiere a aspectos visibles, como la textura, el color o el sabor, sino que también abarca elementos críticos como la seguridad alimentaria, la composición nutricional y la higiene durante la producción (Alli, 2003).

Para los consumidores, la seguridad alimentaria es el aspecto más relevante de la calidad de los alimentos. Las leyes alimentarias establecen requisitos claros de seguridad para proteger la salud de los consumidores, lo que genera confianza en los productos que adquieren. “Las regulaciones especifican las condiciones que deben cumplirse para asegurar la seguridad de los alimentos y recomiendan la implementación de soluciones prácticas que minimicen los riesgos, convirtiendo la seguridad alimentaria en una prioridad del control de calidad” (Sikora, 2005).

Además de la seguridad, la calidad en alimentos también considera otros atributos que responden a las expectativas del consumidor, como la frescura, el sabor, el valor nutricional y la presentación. Aunque estos aspectos no están regulados por ley, son fundamentales para la aceptación del producto en el mercado (Alli, 2003). Para asegurar que los alimentos cumplan con estas características, las empresas implementan sistemas de gestión de calidad y aseguramiento, como la Norma ISO 9001, que estandarizan procesos, establecen controles y permiten evaluar el desempeño continuo de los productos (Arvanitoyannis, 2009).

Las condiciones del proceso de producción y la calidad de las materias primas tienen un impacto directo en la seguridad y calidad del producto final. Por esta razón, es primordial realizar controles en cada etapa, desde la adquisición de ingredientes hasta la producción y almacenamiento, con el objetivo es reducir cualquier riesgo de contaminación y mantener la calidad del alimento a lo largo de toda la cadena de producción. Herramientas como la trazabilidad permiten rastrear cada ingrediente, facilitando la identificación de posibles problemas en la cadena de suministro (Sadiku *et al.*, 2019).

### **5.2.3 Estándares de calidad y normativas alimentarias para snacks**

#### **ISO**

Específicamente en normativas para alimentos, la ISO 22000 es el estándar internacional genérico para los sistemas de gestión de la inocuidad alimentaria (FSMS, por sus siglas en inglés). Esta certificación define un conjunto de requisitos generales aplicables a todas las organizaciones dentro de la cadena alimentaria, desde productores de alimentos y operadores de logística hasta proveedores de equipos, materiales de empaque y aditivos (Arvanitoyannis, 2009).

El objetivo principal de ISO 22000 es asegurar que los productos alimenticios no generen efectos adversos en la salud de los consumidores, eliminando las discrepancias que surgen debido a normas alimentarias regionales, nacionales o específicas de un sector o tipo de alimento. Además, promueve la conformidad de productos y servicios con estándares internacionales, brindando confianza sobre su calidad, seguridad y confiabilidad. (Arvanitoyannis, 2009).

La implementación de ISO 22000 se ha convertido en una prioridad para empresas de la industria alimentaria debido a la necesidad de demostrar su capacidad de proporcionar alimentos seguros y cumplir con regulaciones internacionales (Andersen *et al.*, 2023). Además, este estándar responde a las demandas de consumidores y mercados globales, promoviendo procesos más ágiles y simplificados sin comprometer la calidad ni la seguridad (Arvanitoyannis, 2009)

De manera resumida, los pasos a seguir para considerar implementar esta normativa son los siguientes:

- Establecer el Sistema de Gestión de Inocuidad Alimentaria (FSMS) – Lo primero es crear un sistema organizado que garantice la seguridad de los alimentos, esto incluye identificar todos los riesgos posibles para la seguridad alimentaria y

establecer medidas para controlarlos en cada etapa del proceso (Faergemand, & Jespersen, 2004). También es necesario documentar todos los procedimientos para asegurar que todos los involucrados en la producción conozcan cómo manejar los riesgos y qué medidas deben tomar (Andersen et al., 2023).

- Asignar roles y responsabilidades – Se deben asignar responsabilidades claras a cada miembro del equipo relacionado con la seguridad alimentaria, incluyendo el asegurarse que todo el personal esté capacitado para identificar y manejar los peligros alimentarios. La comunicación de estas responsabilidades debe ser clara en todos los niveles de la organización, desde los directivos hasta el personal operativo (Arvanitoyannis, 2009).
- Desarrollar programas básicos de prerequisites (PRPS) – Es esencial establecer programas básicos que aseguren un ambiente de producción seguro, como el saneamiento, mantenimiento de equipos y control de proveedores (Sadiku et al., 2019). Estos programas ayudan a prevenir contaminaciones por peligros biológicos, químicos o físicos y deben ser auditados regularmente para asegurar que se estén cumpliendo correctamente (Faergemand, & Jespersen, 2004).
- Identificar y controlar los peligros en el proceso – Cada etapa del proceso de producción debe ser evaluada para identificar posibles peligros (como bacterias o contaminantes). Luego, se deben establecer medidas de control en los puntos críticos del proceso (llamados Puntos Críticos de Control o CCPs). Estos puntos deben ser monitoreados constantemente para asegurar que los productos sean seguros (Faergemand, & Jespersen, 2004).
- Realizar análisis de peligros y determinar niveles aceptables – Se debe realizar un análisis para identificar todos los peligros que pueden ocurrir y establecer los niveles aceptables de esos peligros en los productos finales. Esto incluye el uso de información histórica y comunicación con la cadena de suministro para garantizar que los productos no representen un riesgo para los consumidores (Andersen et al., 2023).
- Definir y monitorear las medidas de control – Una vez identificados los peligros, se deben seleccionar las medidas de control apropiadas. Estas medidas deben ser verificadas y monitoreadas de forma regular para asegurar que estén funcionando correctamente o tomar acciones correctivas de inmediato (Faergemand, & Jespersen, 2004).
- Control de productos no conformes – Cuando se detecta un producto que no cumple con los requisitos de seguridad alimentaria, se deben tomar medidas inmediatas. Esto puede incluir la reevaluación del producto, su corrección o incluso su retiro del mercado si es necesario (Arvanitoyannis, 2009). Se debe tener un procedimiento claro para manejar estos productos no conformes y evitar que lleguen al consumidor.
- Establecer un sistema de trazabilidad - Es necesario tener un sistema que permita rastrear todos los productos desde la recepción de los materiales hasta el envío del producto final. Esto es fundamental para poder identificar rápidamente cualquier

problema de seguridad alimentaria y tomar las acciones necesarias, como la retirada de productos del mercado (Sadiku et al., 2019).

- Prepararse para emergencias – El sistema debe estar preparado para manejar situaciones de emergencia que puedan comprometer la seguridad alimentaria, como contaminaciones, sabotajes o accidentes (Arvanitoyannis, 2009) La organización debe tener procedimientos claros para gestionar estas situaciones, incluyendo entrenamientos, simulacros y la asignación de responsabilidades específicas (Faergemand, & Jespersen, 2004).
- Mejorar continuamente el sistema – Finalmente, el sistema debe ser revisado y mejorado de forma continua. Esto incluye la evaluación de los resultados de las auditorías, la validación de las medidas de control y la implementación de nuevas soluciones para mejorar la seguridad alimentaria (Arvanitoyannis, 2009).

## **HACCP**

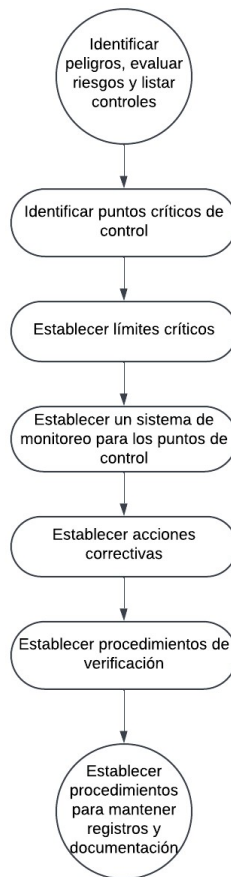
El sistema HACCP, cuyas siglas significan Hazard Analysis and Critical Control Points (Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control), es ampliamente reconocido como el método de referencia para garantizar la seguridad alimentaria a nivel mundial. Según la Comisión del Codex Alimentario (2003), este sistema “identifica, evalúa y controla peligros significativos para la seguridad de los alimentos” (Andersen et al., 2023).

Originalmente, el HACCP fue diseñado para garantizar la seguridad microbiológica de los alimentos. Sin embargo, su alcance se ha ampliado para incluir peligros químicos, alérgenos y peligros físicos, así como sistemas auxiliares, como asegurar la calidad del abastecimiento de agua (Wallace, 2014). A pesar de su importancia, la implementación del HACCP no está exenta de retos. Incluso en grandes operaciones alimentarias, su aplicación puede ser compleja por percepciones erróneas o falta de experiencia. Para poder llegar a conseguir esta certificación de calidad, es necesario seguir estos pasos, establecidos por el Códex Alimentario y adaptados para la comprensión del público general por Wallace (2014).

- Realizar un análisis de peligros – El equipo debe examinar cada etapa del proceso, identificar los peligros que podrían llegar a ocurrir, evaluar que tan importantes son para el proceso y establecer las mejores formas de controlarlos.
- Determinar los Puntos Críticos de Control (CCP) – Aquí se identifican los puntos clave para la seguridad del producto. Esto puede lograrse mediante experimentación o herramientas más formales, como un Árbol de Decisión.
- Establecer límites críticos – Los límites críticos son parámetros que separan a un alimento seguro y uno potencialmente inseguro. Estos deben establecerse para gestionar todos los CCP.
- Establecer un sistema para monitorear el control de los CCP – El sistema de monitoreo debe demostrar que los CCP están bajo control diariamente y ser capaz de detectar cualquier pérdida de control.

- Definir acciones correctivas – Si el monitoreo muestra que un CCP no está bajo control, se deben tomar acciones correctivas para proteger al consumidor y poder arreglarlo.
- Verificar la eficacia del sistema HACCP - Se deben implementar procedimientos para confirmar que el sistema controla los peligros relevantes y le funciona a la industria en la práctica.
- Documentar todo el proceso – Es necesario mantener registros sobre los procedimientos, diagramas de flujo y tablas desarrolladas durante el estudio HACCP, así como los registros de monitoreo.

Figura 3. Los 7 principios de implementación de HACCP



Nota. Arvanitoyannis, 2009; Wallace, 2014.

### Comparación de normativas

Cuadro 1. Comparación de estándares HACCP e ISO

Aspecto	HACCP	ISO 22000
<b>Definición general</b>	Un sistema de control de seguridad alimentaria que identifica y controla peligros específicos en el proceso.	Un estándar internacional que integra HACCP y un sistema de gestión global para la seguridad alimentaria.

<b>Aspecto</b>	<b>HACCP</b>	<b>ISO 22000</b>
<b>Alcance</b>	Se centra exclusivamente en la seguridad alimentaria a través del control de puntos críticos en el proceso.	Tiene un alcance más amplio, incluyendo gestión organizacional, comunicación interna y externa, y mejora continua.
<b>Requisitos de implementación</b>	No es un estándar certificable por sí mismo. Requiere aplicación directa y puede ser adaptado a procesos individuales.	Es certificable por terceros, lo que otorga reconocimiento formal y mejora la confianza en los mercados globales.
<b>Estructura del sistema</b>	Basado en principios del Codex Alimentarius y enfocado en los 7 principios de HACCP.	Sigue una estructura alineada con otras normas de ISO (como ISO 9001 e ISO 14001), permitiendo integración con otros sistemas de gestión.
<b>Documentación y trazabilidad</b>	Menos exigente en términos de documentación, aunque requiere registros detallados de los PCCs.	Exige una documentación más robusta y detallada, facilitando la trazabilidad y la comunicación en toda la cadena de suministro.
<b>Facilidad de aplicación</b>	Más sencillo de entender y aplicar, pero percibido como complejo por pequeñas empresas.	Puede parecer más complicado inicialmente debido a la integración de elementos de gestión organizacional.
<b>Adaptabilidad</b>	Particularmente útil para operaciones nuevas o procesos específicos.	Aplicable a todo tipo de organizaciones en la cadena alimentaria, independientemente de su tamaño o nivel de desarrollo.
<b>Mejora continua</b>	No tiene un enfoque explícito en la mejora continua.	Incluye el principio de mejora continua como parte central del sistema de gestión.

Nota. Andersen et al., 2023; Arvanitoyannis, 2009; Codex Alimentarius Commission, 2003; Faergemand, & Jespersen, 2004

### **5.3 Atributos críticos de calidad (CQA)**

Un atributo crítico de calidad (CQA) es una característica esencial de un producto que debe ser controlada y monitoreada para asegurar que el producto final cumpla con los estándares de calidad establecidos. Los CQA incluyen “propiedades químicas, físicas, biológicas y microbiológicas que pueden ser definidas, medidas y supervisadas de manera continua” (Hejnaes & Ransohoff, 2018). Su propósito es garantizar que el producto final se mantenga dentro de los límites especificados, asegurando así la seguridad, eficacia y consistencia del producto (Andersen et al., 2023)

En la industria alimenticia, estos atributos críticos son fundamentales, ya que permiten evaluar y mantener la calidad del producto durante todo el proceso de fabricación (Hejnaes & Ransohoff, 2018). Por ejemplo, en el caso de los snacks, algunos CQA podrían incluir el porcentaje de humedad, el contenido de azúcares medido en grados Brix, la textura, el tamaño y la forma del producto, así como la presencia de contaminantes microbiológicos. Estos atributos son monitoreados y controlados para evitar desviaciones

que puedan afectar la calidad o seguridad del producto final, asegurando que cumpla con las expectativas del consumidor y con las normativas de seguridad alimentaria.

### **5.3.1 Atributos físicos y químicos de los snacks**

#### **Porcentaje de humedad**

La humedad se refiere a la cantidad de vapor de agua presente en el aire o en cualquier entorno gaseoso. Normalmente se expresa como un porcentaje y puede variar según factores como la temperatura y la presión atmosférica. Asimismo, si se tiene aire cálido, este puede contener más vapor de agua que el frío, y cuando el aire está completamente saturado, alcanza el 100% de humedad (Green & Southard, 2018).

En los snacks, la humedad es un atributo físico fundamental que influye directamente en la calidad del producto. Los alimentos tienen una tendencia natural a absorber o liberar humedad del entorno hasta alcanzar un equilibrio. En ambientes de alta humedad, los alimentos secos, como cereales o galletas, tienden a absorber agua, lo que reduce su crujiente textura y acorta su tiempo de vida. Por otro lado, en condiciones de baja humedad, los productos con un alto contenido de agua, como frutas y verduras, pueden perder humedad y deshidratarse (Andersen et al., 2023). Para mantener su calidad, es esencial mantener un control riguroso de la humedad, como niveles bajos de humedad en áreas de almacenamiento para alimentos secos o almacenarlos en ambientes controlados de alta humedad para ayudar a retener su contenido de agua si se tratara de alimentos frescos (Wilkinson, 2023).

La humedad también influye en las reacciones químicas dentro de los productos alimenticios. Por ejemplo, la oxidación, un proceso químico que afecta el sabor, color y valor nutricional de los alimentos, puede acelerarse en ambientes con alta humedad. Esto puede llevar a la rancidez en grasas y aceites, así como a la degradación de ciertas vitaminas y antioxidantes. Por esta razón, el control de la humedad es una parte vital durante la producción, almacenamiento y transporte de los alimentos (Wilkinson, 2023).

#### **Grados Brix**

Los grados Brix se usan para medir la concentración de azúcar en una solución, siendo un grado Brix (°Brix) equivalente a 1 gramo de sacarosa o alguna azúcar reductora disuelta en 100 gramos de solución, lo que corresponde a un contenido de azúcar del 1%. Este valor se obtiene generalmente utilizando un refractómetro, un dispositivo óptico que mide el índice de refracción de la luz en la muestra, lo que permite determinar la cantidad de sólidos disueltos, predominantemente azúcares, en líquidos como jugos, bebidas, y jarabes (Jaywant et al., 2022).

En la industria de snacks, los grados Brix juegan un papel importante como atributo fisicoquímico, ya que permiten evaluar el contenido de azúcar y la dulzura del producto final. “El control de los grados Brix es esencial para asegurar la consistencia en el sabor y la calidad del snack, influenciando factores como la textura, el contenido de humedad, y la percepción sensorial general del producto” (Jaywant et al., 2022). Un nivel adecuado de °Brix puede indicar la madurez y calidad de los ingredientes, especialmente en productos

que incluyen frutas o ingredientes dulces, lo que es fundamental para mantener un estándar de calidad esperado por los consumidores (Ryan, 2014).

### **Porcentaje de sal**

El contenido de sal (cloruro de sodio, NaCl) constituye un parámetro crítico de calidad en la producción de snacks debido a su influencia en propiedades sensoriales, tiempo de vida y cumplimiento normativo. Desde el punto de vista sensorial, la sal contribuye a la aceptabilidad, actuando como potenciador de sabor, y ejerce efectos en la textura y conservación del producto (Taormina, 2010). En productos como el maní japonés, una cantidad excesiva de sal puede generar rechazo sensorial, mientras que niveles insuficientes pueden disminuir la percepción de sabor característico y afectar la satisfacción del consumidor.

No obstante, su consumo excesivo se asocia con riesgos para la salud, lo que ha llevado a organismos como la Organización Mundial de la Salud (World Health Organization: WHO, 2023) a recomendar un límite máximo de 5 gramos (g) diarios para adultos. Esta situación ha impulsado a la industria a implementar rigurosos controles analíticos para garantizar niveles óptimos de sal, que satisfagan tanto las preferencias del consumidor como los requerimientos de salud pública (Dötsch et al., 2009). Para ello, se emplean diversas metodologías analíticas estandarizadas, entre las que destacan la volumetría por titulación de Mohr, la espectrofotometría de absorción atómica que ofrece alta precisión en la cuantificación de sodio y los electrodos selectivos de iones que permiten determinaciones rápidas y son ideales para monitoreos en línea (AOAC International et al., 2007; Li et al., 2016). La selección del método analítico depende de factores como la matriz del alimento, la precisión requerida y los recursos disponibles, siendo fundamental para asegurar el cumplimiento de normativas como las establecidas por la FDA (2021) respecto al etiquetado nutricional y las declaraciones de contenido reducido de sodio.

### **5.3.2 Proceso de verificación de CQA**

El proceso de verificación de los Atributos Críticos de Calidad (CQA) conlleva la implementación de métodos y herramientas que aseguren que cada etapa de la producción cumpla con los estándares establecidos. Esto es importante para garantizar la consistencia en la calidad del producto final, minimizar riesgos para la salud del consumidor y cumplir con las normativas establecidas por organismos de control. (Hejnaes & Ransohoff, 2018). A continuación, se presentan los principales componentes de este proceso.

#### **Métodos de medición y control**

##### **a. Monitoreo en tiempo real y control de procesos**

El monitoreo en tiempo real y control de procesos en la industria alimentaria implica la supervisión continua de las operaciones mediante sistemas que pueden evaluar y ajustar parámetros instantáneamente para mantener la calidad y eficiencia. (Zhang, 2010). Un sistema de control en tiempo real asegura que los resultados no solo sean correctos desde un punto de vista lógico, sino que también se produzcan en un intervalo de tiempo específico, algo esencial en la industria para garantizar la calidad y seguridad del producto

(Laplante & Ovaska, 2011). Para ser considerado en tiempo real, un sistema de control debe cumplir tres criterios:

- Ejecución confiable – la estabilidad implica que el sistema debe producir resultados consistentes bajo las mismas condiciones. Si los resultados varían para los mismos datos de entrada, la operación no es estable. Para ser considerado en tiempo real, también debe realizar las operaciones dentro del mismo marco de tiempo de manera constante, lo que implica soporte para la ejecución repetida y fiable bajo el mismo entorno de hardware y software (Laplante & Ovaska, 2011).
- Plazo determinado de operación – cada operación debe completarse dentro de un intervalo de tiempo definido, desde la entrada de datos o el reconocimiento de un error hasta la generación de una respuesta. En sistemas de monitoreo en tiempo real, este intervalo debe ser predecible y respetar un límite de tiempo para que la operación sea efectiva y segura (Laplante & Ovaska, 2011). Este aspecto es vital para evitar problemas como la pérdida de datos o fallos en los ciclos de control, que pueden afectar la calidad del producto (Zhang, 2010).
- Resultado predecible – en un sistema de control en tiempo real, los resultados deben ser predecibles y no estar sujetos a factores desconocidos. La precisión y consistencia del sistema dependen de conocer y controlar todas las variables que puedan afectar la operación, lo que minimiza la incertidumbre y asegura que las decisiones en tiempo real sean confiables (Zhang, 2010).

#### b. Sistemas SCADA en la producción de alimentos

Los sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) son tecnologías de control industrial que permiten supervisar, adquirir datos y controlar procesos complejos en diversas industrias. Originalmente desarrollados como una extensión de los controladores lógicos programables (PLC), los sistemas SCADA han evolucionado para integrarse en una amplia gama de instalaciones, desde fábricas de manufactura hasta plantas de tratamiento de agua y plantas nucleares (Sverko et al., 2022). En la industria alimentaria, aunque algunos procesadores de alimentos ya utilizan estos sistemas, su adopción ha sido más lenta debido a la complejidad de integración y la justificación del costo en relación con los beneficios que ofrecen (Holmes et al., 2013).

El principal rol de SCADA en la producción de alimentos es optimizar el control de los procesos, especialmente en operaciones de alto volumen donde es fundamental mantener la calidad del producto a través de un control preciso de variables como el flujo, la temperatura y el tiempo (Holmes et al., 2013). SCADA utiliza una unidad maestra (MTU) que supervisa varias unidades remotas (RTUs), las cuales operan a altas velocidades de datos y reportan la información del proceso a la MTU. Esto permite la implementación de algoritmos avanzados de control, lo que mejora la eficiencia del proceso y la consistencia del producto final (Sverko et al., 2022). Entre los beneficios que

aporta SCADA a la industria alimentaria se incluyen el almacenamiento y visualización de grandes cantidades de datos en tiempo real, la integración de miles de sensores para monitorear diferentes parámetros del proceso, la mejora de la calidad y consistencia del producto, la reducción de la mano de obra, los sistemas automáticos de advertencia ante problemas y el monitoreo remoto de las operaciones (Holmes et al., 2013).

Sin embargo, también existen desventajas y desafíos asociados a su implementación. La complejidad del sistema puede resultar en costos elevados, especialmente en industrias con márgenes de ganancia bajos, como la alimentaria. Además, la integración de SCADA requiere habilidades especializadas dentro de la organización, lo que puede generar la necesidad de contar con un personal de IT calificado, lo cual representa otro costo adicional. Asimismo, la seguridad es una preocupación importante, ya que el acceso remoto y la recopilación de grandes volúmenes de datos pueden crear vulnerabilidades que comprometan la seguridad de los procesos y los datos (Sverko et al., 2022). A pesar de estos desafíos, la implementación de SCADA en la industria alimentaria ofrece mejoras sustanciales en la calidad del producto, la seguridad alimentaria y la eficiencia operativa. La automatización de procesos y el control preciso permiten una ventaja competitiva significativa al reducir costos y minimizar el riesgo de retiradas de productos del mercado.

### **Evaluación de resultados**

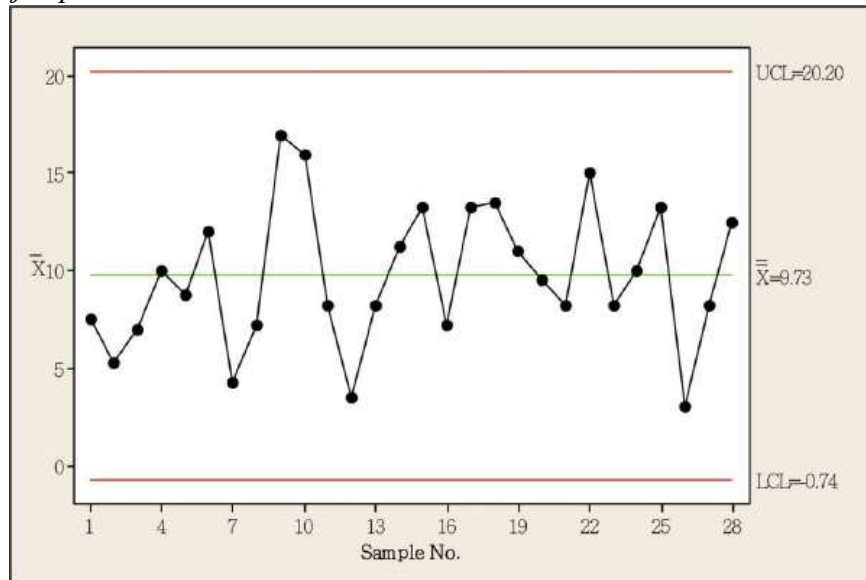
#### **a. Análisis estadístico de datos**

En la industria alimentaria, el análisis estadístico de datos es un pilar fundamental para el control de calidad y la optimización de procesos, consistiendo en la aplicación de métodos matemáticos y estadísticos para evaluar datos recolectados en las diferentes etapas de producción. Este análisis facilita la toma de decisiones informadas, minimiza el desperdicio y garantiza la consistencia del producto final mediante la identificación de la causa raíz de problemas potenciales (Ryan, 2011). Técnicas comunes incluyen el control estadístico de procesos, análisis de varianza, pruebas de hipótesis, análisis de regresión y diseño de experimentos, permitiendo monitorear la variabilidad, identificar factores críticos y optimizar las condiciones del proceso. La aplicación de herramientas estadísticas de calidad es esencial para asegurar el cumplimiento de los requisitos y mejorar el funcionamiento de los sistemas de producción (Pulido-Rojano & Bocanegra-Bustamante, 2015).

Herramientas como el control estadístico de procesos además permiten monitorear la variabilidad y estabilidad del proceso a lo largo del tiempo, utilizando gráficos de control como la X-chart y la R-chart (Montgomery, 2020). Los gráficos “X-chart”, también conocidos como gráficos de medias, rastrean el promedio de una característica de calidad a lo largo del tiempo. Estos gráficos son esenciales para detectar cambios en la tendencia central del proceso y se construyen trazando las medias de las muestras tomadas a intervalos regulares. La ecuación principal involucrada en la X-chart es el cálculo de la media muestral ( $\bar{X}$ ), que se utiliza para determinar la línea central del gráfico y los

límites de control superior e inferior, calculados a partir de las desviaciones estándar de las medias muestrales (Kostyszyn et al., 2021).

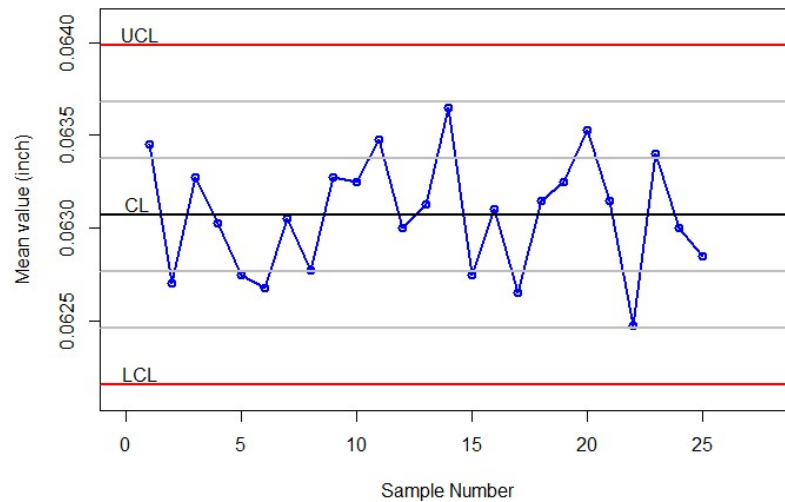
Figura 4. Ejemplo de X-Chart



Nota. Yang, 2013.

Por otro lado, los gráficos “R-chart”, o gráficos de rangos, supervisan la variabilidad dentro de las muestras. El rango se define como la diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo en una muestra. Estos gráficos son cruciales para asegurar que la variabilidad del proceso se mantenga constante. La línea central del R-chart se calcula como el promedio de los rangos muestrales ( $\bar{R}$ ), y los límites de control se determinan utilizando factores que dependen del tamaño de la muestra y de la distribución estadística de los rangos (Zhang & Wu, 2005) Del análisis conjunto de la X-chart y la R-chart se puede deducir si un proceso está bajo control estadístico. Una X-chart fuera de control indica que el proceso ha cambiado su nivel medio, mientras que una R-chart fuera de control sugiere un aumento en la variabilidad del proceso. Ambos tipos de desviaciones requieren una investigación para identificar y corregir las causas subyacentes, asegurando así la calidad y consistencia del producto (Yang, 2013).

Figura 5. Ejemplo de R-Chart



Nota. Nguyen, 2017.

El análisis de regresión, el análisis de varianza, y el diseño de experimentos son otras metodologías utilizadas para identificar factores que afectan la calidad del producto y evaluar su significancia estadística (Montgomery, 2020). El ANOVA es una herramienta estadística que permite comparar las medias de dos o más grupos para determinar si existen diferencias significativas entre ellas. Se utiliza para analizar la variabilidad de los datos y determinar si los factores estudiados tienen un efecto significativo en la respuesta (Heiberger & Neuwirth, 2009). Por otro lado, el DOE es un enfoque sistemático para planificar experimentos que permitan obtener la máxima información con el mínimo esfuerzo. A través de este, se pueden identificar los factores más importantes que influyen en un proceso, optimizar las condiciones de operación y mejorar la calidad del producto (Montgomery et al., 2000).

b. Revisión de datos históricos

La revisión de datos históricos implica el análisis de registros pasados relacionados con la producción y calidad para comprender las tendencias y patrones de desempeño a lo largo del tiempo. En la industria alimentaria, este enfoque se utiliza para identificar causas subyacentes de variaciones, evaluar la efectividad de los controles de calidad implementados, y prever posibles problemas antes de que se conviertan en fallos críticos (Ryan, 2011). Esta revisión permite comparar resultados previos con estándares actuales, detectar desviaciones y verificar si las acciones correctivas aplicadas han tenido un impacto positivo en la calidad del producto. Además, la información histórica es relevante para la planificación de mejoras continuas y para la adaptación a cambios en la normativa o en las expectativas del consumidor (Juran, 2016).

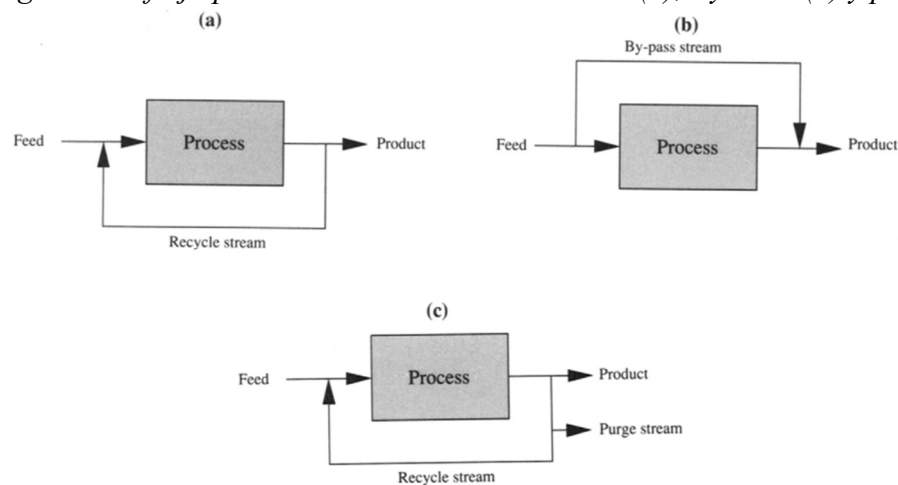
Los datos históricos pueden incluir información sobre materias primas, parámetros del proceso, resultados de pruebas de laboratorio, quejas de los clientes, datos de inspecciones y auditorías. Los datos de materias primas ofrecen información crítica sobre la calidad y la variabilidad inherente de los ingredientes empleados en los procesos

productivos, incluyendo aspectos como la composición química, características físicas, y la presencia de contaminantes o alérgenos. El análisis de estos datos permite establecer criterios de aceptación y rechazo para los lotes de materias primas, garantizando que solo los ingredientes que cumplen con los estándares de calidad sean utilizados en la producción (Sarkisyan et al., 2016).

c. Balances de masa

El balance de masa es una técnica fundamental en la ingeniería de procesos que permite el seguimiento y la cuantificación de las materias primas y los productos a lo largo de las diferentes etapas de producción (Doran, 1995). Como señala la literatura, "el diseño de un nuevo proceso o el análisis de uno ya existente no están completos hasta que se establece que las entradas y salidas de todo el proceso, y de cada unidad por separado, satisfacen las ecuaciones de balance" (Felder & Rousseau, 2003). Esta herramienta es clave en la evaluación de procesos industriales, ya que permite cuantificar la entrada, salida, acumulación y pérdida de materiales dentro de un sistema determinado. En la industria alimentaria, su aplicación es fundamental para verificar el rendimiento de las distintas etapas del proceso, detectar desviaciones no deseadas y asegurar que no existan pérdidas significativas de materia prima o producto (Hartel & Heldman, 2012).

Figura 6. Diagrama de flujo para balances con recirculación (a), By-Pass (b) y purga (c)

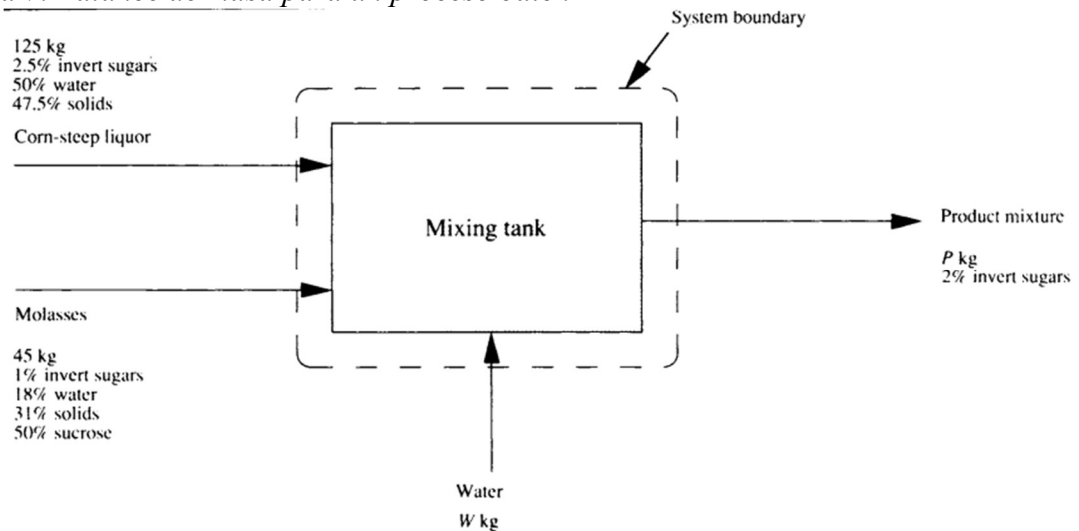


Nota. Doran, 1995.

Un balance de masa bien ejecutado es fundamental para identificar ineficiencias en los procesos productivos, tales como el sobre procesado, la generación de subproductos no controlados o las variaciones en las proporciones de los ingredientes utilizados (Hartel & Heldman, 2012). Al comparar balances de masa antes y después de la implementación de mejoras, es posible cuantificar con precisión el impacto real de los cambios realizados (Doran, 1995). La interpretación de estos balances, en conjunto con datos sensoriales y fisicoquímicos, proporciona una visión del comportamiento del sistema productivo, permitiendo una evaluación más completa y detallada del proceso. Además, estos balances son esenciales para validar la conformidad del proceso con las normativas de calidad y

trazabilidad, asegurando que se cumplan los estándares requeridos en la industria alimentaria (Hartel & Heldman, 2012).

Figura 7. Balance de masa para un proceso batch



Nota. Doran, 1995.

d. Análisis de capacidad del proceso

El estudio de la capacidad de un proceso es un método que combina herramientas estadísticas con toma de decisiones e interpretación de los datos representativos de un proceso. El principal objetivo de este tipo de análisis es determinar el rango de variaciones en un proceso, además de considerar el efecto que tiene el tiempo sobre estas variabilidades. Este tipo de estudio se basa en la suposición de que los datos del proceso siguen una distribución normal, lo que permite cuantificar la dispersión y la tendencia central del proceso mediante indicadores numéricos. Entre los principales índices utilizados se encuentran  $C_p$ ,  $C_{pk}$ ,  $C_{pm}$  y  $P_{pk}$ , los cuales proporcionan información sobre la estabilidad y la capacidad real del proceso (Wooluru & Swamy, 2014).

El índice  $C_p$ , o *capabilty process*, representa la capacidad potencial de un proceso para cumplir con las especificaciones, considerando únicamente la dispersión de los datos. Se calcula como:

Ecuación 1. Índice de capacidad de proceso

$$C_p = \frac{UCL - LCL}{6\sigma}$$

Donde:

- UCL es el límite de control superior
- LCL es el límite de control inferior
- $\sigma$  es la desviación estándar de un conjunto de datos

Nota. Wooluru & Swamy, 2014.

Por otro lado, el  $C_{pk}$  es el índice de capacidad del proceso centrado, y este evalúa la capacidad real del proceso considerando tanto la variabilidad como el desplazamiento de la media respecto a los límites de especificación. Se define como:

*Ecuación 2. Índice de capacidad de proceso centrado*

$$C_{pk} = \text{Min}(C_{pi}, C_{ps}) = \text{Min}\left(\frac{UCL - \bar{x}}{3\sigma}, \frac{\bar{x} - LCL}{3\sigma}\right)$$

Es relevante comparar los valores de  $C_{pk}$  con el del  $C_p$  normal ya que un  $C_{pk} < C_p$  indica que el proceso está descentrado. En general,  $C_{pk} \geq 1.33$  se considera aceptable para procesos industriales bajo control estadístico (Wooluru & Swamy, 2014).

Finalmente, el índice  $C_{pm}$  o el índice de Taguchi considera la desviación de la media con respecto al valor objetivo ( $N$ ), penalizando los desplazamientos aun cuando estén dentro de los límites. Este índice es útil para procesos donde se busca minimizar la variabilidad respecto a un valor nominal específico, más allá de cumplir límites, y se calcula como:

*Ecuación 3. Índice de Taguchi*

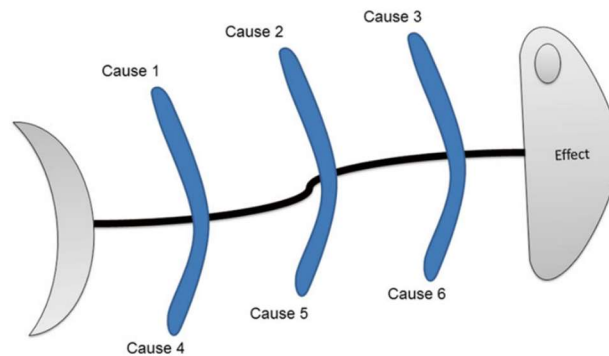
$$C_{pk} = \frac{UCL - LCL}{6\sqrt{\sigma^2 + (\bar{x} - N)^2}} = \frac{UCL - LCL}{6\sqrt{\tau}}$$

Nota. Wooluru & Swamy, 2014.

e. Análisis de causa y efecto

El análisis de causa y efecto es una técnica clave para la gestión de calidad, cuyo objetivo es detectar y entender la raíz de un problema o defecto concreto desde un punto de vista teórico. Esta técnica, que fue difundida por Kaoru Ishikawa durante los años sesenta, se concreta mediante el diagrama que lleva su nombre, también llamado diagrama de espina de pescado por su apariencia típica (Liliana, 2016).

*Figura 8. Ejemplo de un diagrama de Ishikawa*



Nota. Wong et al., 2016.

Su objetivo principal es ofrecer una representación gráfica y estructurada de la conexión entre un efecto no deseado y todas las causas posibles que lo producen, lo que hace más sencillo un análisis sistemático y completo. Este método se ha convertido en un

pilar para la mejora permanente de procesos, sobre todo en los ámbitos de manufactura e industrial. El problema o efecto por estudiar se determina de manera precisa al principio del estudio, ubicándose en la "cabeza" del pez. Las "espinas" más grandes, que representan las categorías principales de causas potenciales, se despliegan a partir de una línea central principal que se traza a continuación. Estas categorías históricamente se agrupan bajo nombres que empiezan con la letra M, como maquinaria, mano de obra, métodos, materiales, mediciones y medio ambiente (modelos 4M, 5M, 6M, etc.). Después, se emplean métodos como la lluvia de ideas para determinar causas secundarias y subclases más particulares, las cuales se registran como ramificaciones de cada categoría principal (Liliana, 2016).

La capacidad de adaptación y evolución del diagrama de causa y efecto en distintos campos, más allá de sus inicios en la ingeniería de calidad, es gracias a su versatilidad. Las categorías M se adaptan al contexto específico del problema y pueden incluir elementos como la tecnología, la gestión, las políticas o el software. Esta flexibilidad es una de sus principales virtudes, lo que permite su uso en áreas tan variadas como la sanidad, la automoción o los servicios (Liliana, 2016).

### **Acciones correctivas**

#### **a. Ajuste de parámetros de proceso**

El ajuste de parámetros de proceso se refiere a la modificación de las condiciones operativas dentro de la producción alimentaria para corregir desviaciones en la calidad del producto. Este ajuste puede involucrar cambios en la temperatura, tiempo de cocción, velocidad de mezclado, o cualquier otra variable crítica que afecte la calidad final (Evans & Lindsay, 2019). Un ajuste adecuado permite a los fabricantes asegurar la consistencia del producto, minimizar defectos, y cumplir con las especificaciones establecidas.

La implementación de ajustes efectivos de los parámetros requiere un análisis exhaustivo de los datos de producción para identificar la causa raíz de cualquier problema que llegue a afectar la calidad del producto. Metodologías como el análisis de Pareto o los diagramas de Ishikawa pueden ser invaluable en este proceso de diagnóstico (Deming, 2018). Una vez identificada la causa, los ajustes deben ponerse en marcha con cuidado, monitoreando continuamente su comportamiento. Este enfoque permite un refinamiento constante, asegurando que el proceso de producción se mantenga estable y capaz de entregar productos de alta calidad de manera consistente. Además, documentar estos ajustes y sus resultados crea una base de datos valiosa para futuras referencias y capacitación (Evans & Lindsay, 2019).

Aparte de los ajustes básicos, como los ya mencionados, los ajustes avanzados de parámetros del proceso pueden incluir sistemas de control sofisticados que utilizan datos en tiempo real para optimizar la producción. Estos sistemas suelen emplear sensores y bucles de retroalimentación para ajustar automáticamente las configuraciones según el monitoreo continuo de las características del producto (Demetgül et al., 2023). Por ejemplo, la espectroscopía de infrarrojo cercano puede usarse para medir el contenido de humedad

y ajustar los tiempos de secado en tiempo real, garantizando una textura óptima y una vida útil adecuada (Amaral et al., 2020).

b. Implementación de procedimientos correctivos estandarizados

La implementación de procedimientos correctivos estandarizados es fundamental para asegurar que, ante cualquier desviación en la calidad, se adopten acciones efectivas en la industria alimentaria (Faergemand, & Jespersen, 2004). Estos procedimientos deben estar exhaustivamente documentados en manuales operativos y el personal debe recibir capacitación integral en su aplicación; y dichos procedimientos correctivos deben incluir pasos específicos para corregir fallos, realizar ajustes precisos de parámetros y establecer protocolos de monitoreo continuo para evaluar el resultado de las acciones implementadas (Taguchi, 2010).

La estandarización facilita una respuesta rápida y coordinada ante problemas de calidad, reduce la variabilidad en la toma de decisiones y asegura que las correcciones se realicen de forma eficiente, minimizando cualquier impacto negativo en la producción. Además, un sistema bien definido de procedimientos correctivos estandarizados fomenta una cultura de mejora continua, donde cada error o desviación se analiza para evitar recurrencias y optimizar los procesos productivos (Ishikawa, 2013).

Los procedimientos correctivos estandarizados pueden mejorarse aún más al incorporarse principios de la ingeniería de resiliencia. Estos principios se enfocan en diseñar sistemas que puedan adaptarse y recuperarse ante interrupciones inesperadas, en lugar de simplemente prevenir errores. Esto implica desarrollar procedimientos que sean flexibles y adaptables, permitiendo a los empleados responder de manera efectiva a desafíos imprevistos. Un ejemplo de esto podría ser que, en lugar de establecer una serie rígida de pasos, los procedimientos pueden ofrecer un marco para la toma de decisiones, lo que empodera a los empleados a usar su juicio y experiencia para abordar situaciones únicas (Jackson, 2007).

## **5.4 Análisis sensorial**

### **5.4.1 Importancia del análisis sensorial en la industria alimenticia**

El análisis sensorial en la industria alimentaria es una herramienta imprescindible para evaluar y asegurar la calidad del producto desde la perspectiva del consumidor. Se enfoca en atributos como el sabor, textura, color, aroma y apariencia, que influyen directamente en la percepción de calidad y aceptación del producto en el mercado. Este tipo de análisis permite identificar características deseables y no deseadas, así como evaluar la consistencia entre lotes. Además, ayuda en el desarrollo de nuevos productos, la mejora de formulaciones existentes, y en la comparación de productos frente a la competencia (Stone et al., 2012; Lawless & Heymann, 2010).

Asimismo, el análisis sensorial también es fundamental en la gestión de alimentos que contienen alérgenos. En el caso del maní japonés que, valga la redundancia, contiene maní, un alérgeno reconocido, las pruebas sensoriales pueden ser complementadas con

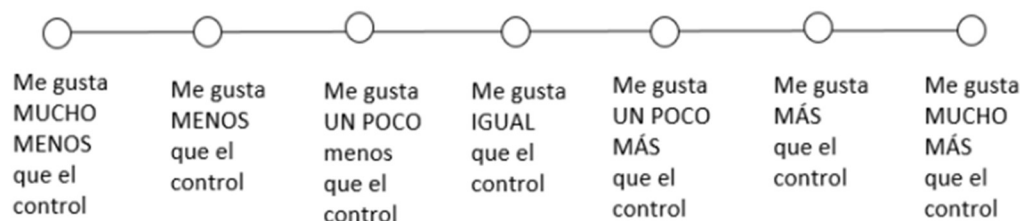
análisis químicos y etiquetado preciso para garantizar la seguridad del consumidor. (Jain & Gupta, 2005).

### 5.4.2 Panel de análisis sensorial

Un panel de análisis sensorial es un grupo de personas capacitadas para evaluar las características sensoriales de un producto alimenticio. En la industria, los paneles pueden ser descriptivos, afectivos o expertos en pruebas específicas (Jain & Gupta, 2005). El panel de análisis sensorial está compuesto por individuos seleccionados en función del tipo de prueba a realizar. Los panelistas pueden ser entrenados o consumidores comunes, dependiendo de si se busca una evaluación objetiva (como en pruebas descriptivas o discriminativas) o subjetiva (como en pruebas afectivas). La selección, capacitación y calibración del panel son aspectos críticos para asegurar la fiabilidad de los resultados obtenidos (Kemp et al., 2009).

En cuanto a las escalas utilizadas para el panel, estas varían según el objetivo del análisis sensorial y el tipo de datos a recopilar. La medición se selecciona cuidadosamente en función del tipo de panel (entrenado o de consumidores), la naturaleza del producto y el nivel de sensibilidad requerido en la simulación. Uno de los métodos de medición más utilizados es la escala de Likert, que consiste en una serie de afirmaciones o enunciados en los que los participantes deben indicar su nivel de acuerdo o satisfacción en una escala de generalmente cinco o siete puntos. Por ejemplo, en una evaluación sensorial, se puede utilizar una oración como "El olor de la comida es agradable", y el panelista debe responder seleccionando la opción "Totalmente en desacuerdo" o "Totalmente de acuerdo". Esta escala es fácil de interpretar, adecuada para consumidores sin formación y permite recopilar información sobre actitudes y preferencias de forma estructurada (Lawless y Heymann, 2010; Kemp et al., 2009).

Figura 9. Escala de Likert de 7 puntos

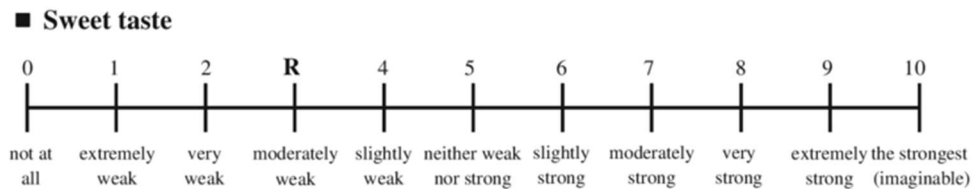


Nota. Peralta Villalba, 2022.

Otra escala común es la escala de categorías, que ofrece una serie de opciones, como palabras o números, que los evaluadores seleccionan según su percepción de la intensidad o agrado. Aunque estas escalas son fáciles de usar, su análisis se limita generalmente a estadísticas no paramétricas debido a la imposibilidad de asumir igualdad de distancias entre categorías (Kemp et al., 2009).

Siguiendo con las escalas, la escala lineal, también conocida como escala gráfica no estructurada, es una línea continua en la cual el evaluador indica la intensidad percibida de un atributo específico. Este tipo de escala permite obtener datos de intervalo, lo cual facilita un análisis estadístico más preciso mediante pruebas paramétricas (Kemp et al., 2009). La escala JAR (Just-About-Right) combina la intensidad de un atributo con una evaluación afectiva implícita. Es utilizada principalmente para detectar desviaciones perceptibles en atributos específicos, como dulzura o salinidad, indicando si el nivel está “muy bajo”, “justo” o “muy alto”. Sin embargo, esta escala puede estar influida por variaciones individuales en lo que cada persona considera como “justo” (Kemp et al., 2009).

Figura 10. Escala lineal de análisis sensorial



Nota. Seo et al., 2009.

### 5.4.3 Metodologías de análisis sensorial

#### Pruebas descriptivas

Las pruebas descriptivas son utilizadas para detallar y cuantificar los atributos sensoriales de un producto, por lo que se realizan con paneles entrenados que han sido capacitados para identificar y evaluar la intensidad de múltiples características sensoriales. Entre las metodologías más utilizadas se encuentra el Análisis Descriptivo Cuantitativo (QDA), donde los evaluadores generan una lista consensuada de atributos y los califican en escalas de intensidad. Este tipo de análisis es especialmente útil en investigación y desarrollo, estudios comparativos, control de calidad y evaluación de vida en anaquel (Kemp et al., 2009; Stone et al., 2012).

#### Pruebas afectivas

Las pruebas afectivas se centran en medir la aceptación o preferencia del producto desde la perspectiva del consumidor final, en este caso se utilizan paneles no entrenados, compuestos por consumidores representativos del mercado objetivo. Las herramientas más frecuentes son la prueba hedónica de 9 puntos y la prueba de preferencia pareada. Estas escalas evalúan el agrado general hacia el producto, siendo la hedónica una de las más difundidas, en la cual el consumidor selecciona su nivel de agrado desde “me disgusta extremadamente” hasta “me gusta extremadamente” (Kemp et al., 2009).

#### Pruebas de diferencia

Las pruebas de diferencia tienen como objetivo determinar si existen diferencias perceptibles entre dos o más productos, siendo aplicadas comúnmente para evaluar cambios en la formulación o el proceso productivo. Las pruebas más frecuentes incluyen la prueba triangular, la prueba dúo-trío y la prueba pareada. Estos métodos requieren un

número mínimo de evaluadores y se analizan mediante estadística inferencial para confirmar si la diferencia observada es estadísticamente significativa (Lawless & Heymann, 2010).

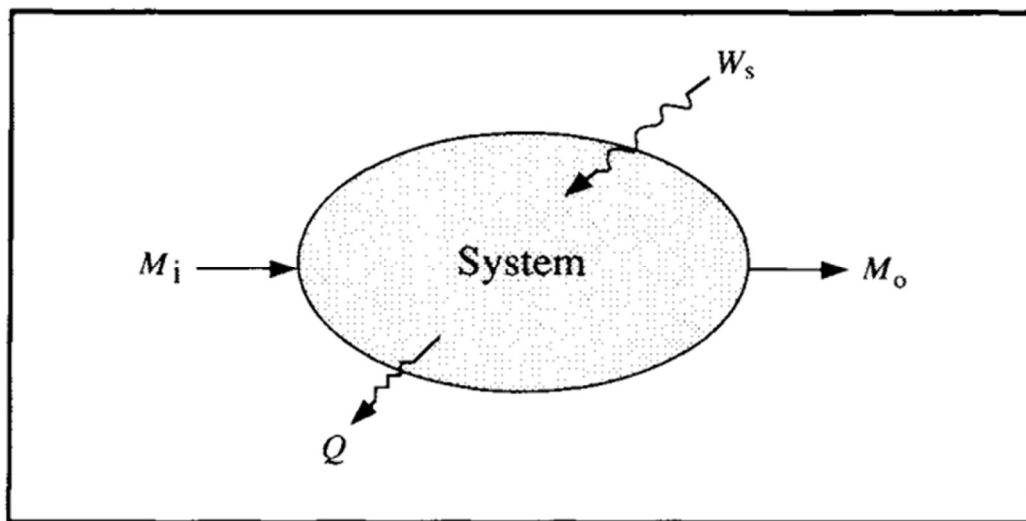
## 5.5 Ingeniería química

### 5.5.1 Balance de energía

Se define como balance de energía a la aplicación de la primera ley de la termodinámica, donde se cuantifica la energía que entra y sale de un sistema, así como la transformación de esta. Estos balances son cruciales en la ingeniería química para el diseño y la optimización de procesos, permitiendo calcular las necesidades de calentamiento o enfriamiento, así como la eficiencia energética de las operaciones (Doran, 1995).

La correcta formulación de balances de energía permite predecir el comportamiento de los sistemas bajo diferentes condiciones operativas. Esto es fundamental para asegurar que las plantas químicas operen de manera segura y eficiente, minimizando el consumo de recursos y la generación de residuos. Por ejemplo, en el diseño de reactores químicos, los balances de energía ayudan a determinar el tamaño y tipo de intercambiadores de calor necesarios para mantener la temperatura de reacción óptima, lo que impacta directamente en la cinética de la reacción y el rendimiento del producto (Doran, 1995).

Figura 11. Diagrama de flujo para cálculos de balance de energía



Nota. Doran, 1995.

Además de su aplicación en el diseño, los balances de energía son herramientas vitales para la optimización de procesos existentes. Permiten identificar oportunidades de mejora en la eficiencia energética, como la recuperación de calor residual de corrientes de alta temperatura para precalentar corrientes de entrada o generar vapor. Esta optimización no solo reduce los costos operativos, sino que también contribuye a la sostenibilidad ambiental de la industria al disminuir la huella de carbono (Stijepovic & Linke, 2011).

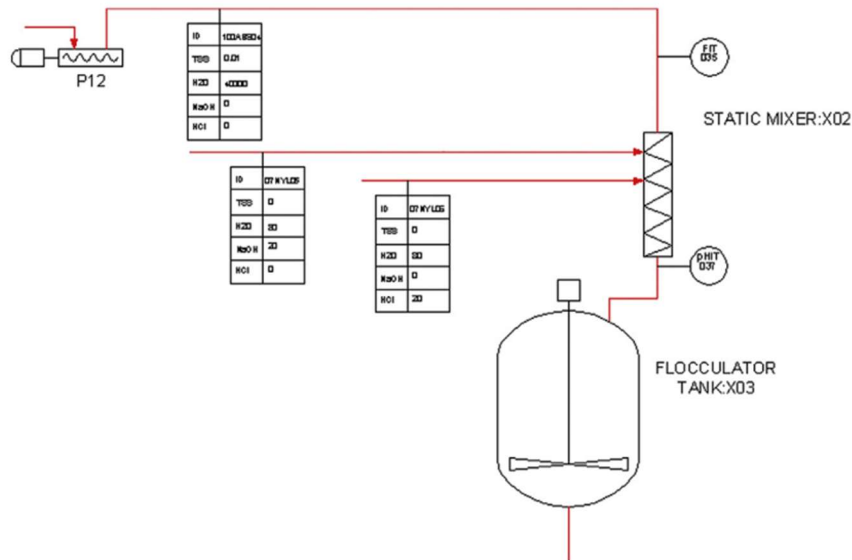
### 5.5.2 Diagrama de flujo

Los diagramas de flujo, también conocidos como flujogramas, son representaciones visuales que describen la secuencia de pasos dentro de un proceso. Utilizan símbolos estandarizados para representar diferentes tipos de operaciones, materiales, equipos y la dirección del flujo. Esta notación gráfica proporciona una forma clara y concisa de comprender procesos complejos de un vistazo. Los diagramas de flujo pueden variar desde diagramas de flujo de bloques simples que proporcionan una visión general de alto nivel hasta diagramas de flujo de proceso más detallados que incluyen equipos, corrientes y bucles de control específicos (Moran, 2019).

En entornos industriales, los diagramas de flujo cumplen múltiples propósitos. Durante la fase de diseño, los diagramas de flujo ayudan a los ingenieros a visualizar el proceso, identificar posibles cuellos de botella y asegurar que se cuente con todo el equipo y los sistemas de control necesarios. Asimismo, facilitan la comunicación entre los diferentes equipos involucrados en el proyecto, como ingenieros de procesos, diseñadores de equipos y especialistas en sistemas de control (Moran, 2019).

Una vez que un proceso está operativo, los diagramas de flujo continúan siendo valiosos para monitorear el rendimiento e identificar áreas de mejora. Al comparar el flujo real del proceso con el diagrama, los operadores pueden detectar rápidamente desviaciones de la norma y tomar acciones correctivas. Los diagramas de flujo también desempeñan un papel vital en la gestión de la seguridad, ya que ayudan a identificar peligros potenciales y aseguran que las medidas de seguridad se integren en el diseño del proceso (Moran, 2019).

Figura 12. Diagrama de flujo de proceso para una planta de tratamiento de agua



Nota. Moran, 2019.

La ingeniería química depende en gran medida de los diagramas de flujo para el diseño, análisis y control de procesos químicos. Los ingenieros químicos utilizan diagramas de flujo para representar una amplia gama de operaciones, incluyendo

reacciones químicas, separaciones, transferencia de calor, e inclusive para realizar balances de materiales y energía, diseñar equipos y desarrollar estrategias de control. Además, los diagramas de flujo son esenciales para la simulación de procesos, que es una herramienta poderosa para optimizar el rendimiento del proceso y predecir el impacto de los cambios. Los ingenieros químicos utilizan software de simulación para crear modelos virtuales del proceso basados en el diagrama de flujo y luego utilizan estos modelos para probar diferentes escenarios e identificar las condiciones operativas óptimas (Hall, 2012).

## **VI. METODOLOGÍA**

### **6.1 Ingredientes**

- Agua
- Azúcar blanca
- Harina de trigo
- Almidón de maíz
- Maní con cutícula
- Adherente
- Premezcla de saborizante

### **6.2 Reactivos**

- Agua desmineralizada
- Nitrato de plata 0.1 N

### **6.3 Equipos**

- Ollas de preparación (marmitas)
- Cabina grageadora (confectionery machine)
- Tambor rotatorio
- Horno en espiral
- Banda de secado
- Bandas transportadoras
- Elevador de cangilones
- Balanza analítica
- Titulador potenciométrico automático
- Refractómetro portátil
- Balanza de plataforma
- Termobalanza

### **6.4 Proceso de producción**

#### **6.4.1 Preparación de jarabe**

1. En un tanque con agitación continua de acero inoxidable, se agregó aproximadamente 52 kilogramos de azúcar blanca y 50 litros de agua.
2. Se revolvió a 50 rpm y 50° C hasta que se incorporaron todos los ingredientes o se alcanzaron los 50° Brix. Posteriormente, este jarabe se llevó a la cabina grageadora a través del sistema de tuberías y se aplica al maní utilizando 5 aspersores.

#### **6.4.2 Preparación de salsa**

1. En un tanque de acero inoxidable con agitación continua y control de temperatura, se agregaron 50 kilogramos de premezcla de saborizante para maní japonés y 50 litros de agua.
2. Se agitó a 50 rpm y 50°C hasta que se incorporaron todos los ingredientes y/o se alcanzó un mínimo de 35° Brix.

#### **6.4.3 Grajeado**

1. Se introdujo en el equipo 135 kg de maní, posteriormente iniciando un ciclo del equipo en el cual se rocía jarabe por 1.5 segundos, se pausa por 8, se añadió la mezcla de harina por 30 segundos y nuevamente se pausa por 3 segundos. La velocidad de banda durante este ciclo se mantuvo a 1500 rpm.
2. Se repitió el proceso por dos ciclos más.
3. Pasando la etapa inicial de cobertura, se realizaron 14 ciclos a una velocidad de 1400 rpm en los cuales se rocío jarabe por 1.6 segundos, pausan por 3 segundos, añaden harina por 30 segundos y se pausó otra vez por 3 segundos, haciendo este ciclo las 14 veces.

#### **6.4.4 Pulido**

1. Cuando el maní terminó los ciclos por la grajeadora se transportó con banda a la pulidora, en donde se buscaba redondearlo y que la cobertura de harina se adhiera más.
2. El equipo fue alternando entre un giro normal, a 650 rpm, y un contra giro, a 500 rpm, para evitar las aglomeraciones y adherencias a las paredes.
3. El proceso duró entre 10 y 15 minutos, dependiendo de qué tan rápido estuviera listo el siguiente lote en la grajeadora.

#### **6.4.5 Horneado**

1. El maní redondeado pasó a hornearse por 13 minutos a una temperatura entre 190 y 200 ° C dependiendo del flujo masico que se tuviera dentro del horno.
2. Una vez que salieron del horno, se descartó una parte del producto del primer lote, alrededor de 10%, ya que arrastró consigo el hollín del equipo.

#### **6.4.6 Recubrimiento de salsa**

1. Luego de que el maní grajeado y pulido pase por el horno, este pasó a ser condimentado en un tambor rotatorio de acero inoxidable conectado a una bomba de tornillo.
2. La bomba llevó el sazónador previamente hecho hasta un aspersor para recubrir equitativamente al maní a una velocidad de 10 a 12 rpm.
3. El tambor rotatorio operó a 12 rpm para asegurar una cobertura pareja y reducir las fuentes de daño al producto, dejando que este residiera en el equipo entre 2 y 5 minutos.

### 6.4.7 Secado

1. El maní ya recubierto con sazonador pasan a la banda de secado, en donde tienen un tiempo de residencia de aproximadamente 8 minutos.
2. La banda posee una velocidad de alrededor de 10 rpm, y esta a su vez posee tres ventiladores que operan a 60 rpm y son los encargados de secar por completo los maníes.
3. Una vez que el maní pase por la banda, está listo para empacar.

## 6.5 Métodos de análisis y diagnóstico

### 6.5.1 Balance de masa experimental

1. Se llevó a cabo un análisis de la producción de maní japonés durante medio turno de operación (6 horas), siendo esto el equivalente al tiempo necesario para terminar un jumbo de maní.
2. Se pesó cada una de las materias antes de ingresar al proceso, empleando las celdas de carga incorporadas en la grageadora para determinar la cantidad de maní, harina y jarabe utilizada.
3. A lo largo del proceso, los desperdicios generados en cada equipo fueron recolectados en bolsas individuales. Posteriormente, se pesaron en una balanza de plataforma para cuantificar las pérdidas.
4. Se pesaron las cajas de producto terminado a granel obtenido al finalizar el tiempo establecido.
5. Se tabularon los datos y, empleando la siguiente ecuación, se calculó el rendimiento del proceso:

*Ecuación 4. Porcentaje (m/m) de rendimiento del proceso*

$$\% \text{ Rendimiento } \left( \frac{m}{m} \right) = \frac{\text{Maní japonés final (kg)}}{\text{Total de entradas (kg)}} \times 100\%$$

6. A partir de los resultados obtenidos del balance de masa, se identificaron las etapas del proceso con mayor pérdida de materia, considerándose estas como áreas críticas para el diagnóstico posterior y la formulación de propuestas de mejora.

### 6.5.2 Diagnóstico

1. Con el fin de comprender las causas de las variaciones detectadas en el balance de masa, se realizó un diagnóstico del proceso de fabricación.
2. Se recabaron datos históricos, como observaciones directas durante el turno de producción y los registros de control de proceso.
3. Se muestreó la producción de la línea, obteniendo 45 muestras según el cálculo descrito en *Ecuación 9. Tamaño de muestra* en Anexos. Los muestreos siguen el procedimiento detallado en las siguientes secciones.

### 6.5.3 Análisis de porcentaje de maní

1. Se pesó una muestra de 10 maníes (provenientes de la grageadora o pulidora) en una balanza analítica.
2. De esa misma muestra pesada, se removió la galleta del maní.
3. Se pesaron nuevamente los maníes sin cobertura en la balanza.
4. Empleando la siguiente fórmula, se calculó porcentaje de maní, cuyo resultado debería estar entre 41 y 49% (m/m).

*Ecuación 5. Determinación porcentaje de maní*

$$\% \text{ maní } \left( \frac{m}{m} \right) = \frac{\text{Masa maní (g)}}{\text{Masa maní (g)} + \text{Masa galleta (g)}} \times 100\%$$

5. Se repitió el procedimiento 2 veces más para obtener un triplicado.

### 6.5.4 Solución nitrato de plata para porcentaje de sal

1. Se utilizó una balanza analítica para pesar exactamente 16.99 g de nitrato de plata ( $\text{AgNO}_3$ ) para posteriormente añadirlos a un vaso de precipitados limpio que contenga 500 mL de agua desmineralizada.
2. Se agitó suavemente con una varilla de vidrio hasta que el nitrato de plata se disolvió completamente.
3. Se vertió la solución de  $\text{AgNO}_3$  disuelta en un matraz aforado de 1 litro, transfiriendo toda la solución al enjuagar el vaso de precipitados con pequeñas cantidades de agua destilada y añadiéndolas al matraz.
4. Se añadió agua desmineralizada al matraz aforado hasta que el nivel de la solución alcance la marca de aforo y se mezcló bien invirtiendo el matraz varias veces para asegurar la homogeneidad de la solución.
5. Se etiquetó el recipiente con la concentración de la solución (0.1 N  $\text{AgNO}_3$ ), la fecha de preparación y cualquier advertencia de seguridad necesaria.
6. Finalmente, se almacenó la solución en un lugar adecuado, protegido de la luz para evitar la descomposición del  $\text{AgNO}_3$ .

### 6.5.4 Determinación porcentaje de sal

1. Se trituro una muestra del producto terminado, pesando 1 gramo de esta en el vaso para análisis y agregando 60 ml de agua desmineralizada.
2. Se colocó el vaso en el equipo de titulación para su análisis con la solución 0.1 N de  $\text{AgNO}_3$ .
3. Se anotó el porcentaje de sal determinado por el equipo, estando este entre 0.82 y 0.96% (m/m)

### 6.5.5 Porcentaje de humedad

1. Se trituro una muestra de producto terminado, pesando 5 g de esta en la termobalanza.
2. Se deja trabajar el equipo por un ciclo de la balanza, siendo este de 3 minutos a 115 °C.

3. Se anotó la humedad y se agrega el factor de corrección (+0.9) obtenido por el laboratorio de control de calidad con el método convencional (AOAC 925.10).
4. El resultado debería quedar, ya con el factor de corrección sumado, entre 1 y 2.5%.

#### **6.5.6 Determinación de grados Brix**

1. Se tomó una muestra de jarabe/salsa de las ollas con ayuda de un cucharón.
2. Una vez se tuvo la muestra lista, se limpió el cristal del refractómetro con agua desmineralizada, absorbiendo el agua con papel sin frotarlo contra el lente.
3. Se llevó el refractómetro a 0 al realizar un análisis con agua desmineralizada y calibrar el equipo. Nuevamente se limpió con agua antes de colocar la muestra.
4. Se agregó la muestra de jarabe o salsa al lente del equipo de modo que este cubierto por completo.
4. El resultado queda entre 35-40% para salsa y 50-55% para jarabe

### **6.6 Propuesta de mejoras**

#### **6.6.1 Propuesta de mejoras**

1. Con base en los datos históricos recabados en Diagnóstico, se identificaron cuatro etapas críticas del proceso en: (1) Grageadora, (2) Pulidora, (3) Tambor y bomba de sabor y (4) Banda de secado.
2. Se realizó un análisis de causa y efecto (diagrama de Ishikawa) para identificar la raíz de los problemas detectados, haciendo un análisis por equipo. Las posibles causas se agruparon en las seis categorías clásicas del método (materiales, métodos, mano de obra, máquinas, medición y medio ambiente).
3. Se propusieron mejoras al proceso con base en los resultados obtenidos en los siguientes procedimientos.

#### **6.6.2 Determinación de parámetros de producción (grageadora)**

1. Se realizó el procedimiento descrito en el inciso 6.5.1 para tres puntos distintos del equipo: izquierda, medio y derecha. La posición exacta puede encontrarse en Anexos en la Figura 37.
2. El procedimiento se repitió con 36 muestras por condición de operación, de acuerdo con el procedimiento en *Cálculo de tamaño de muestra* para un error de 1.3%.
3. Se cambiaron los parámetros de producción (Tiempo de rociado, Tiempo de pausa, Tiempo de polvo, Tiempo de pausa, Ciclos, Velocidad de Banda) y se repitió todo el procedimiento.
4. Se determinaron los parámetros de producción que presentan menos variabilidad en el porcentaje (m/m) de maní.

### 6.6.3 Determinación de parámetros de producción (pulidora)

1. Se realizó el procedimiento descrito en el inciso 6.5.1 en la salida de la pulidora para la producción de un mismo lote cada 5 minutos.
2. Al igual que en la sección anterior, se trabajó con 36 muestras por condición.
3. Se cambiaron los parámetros de producción (Tiempo de residencia) y se repitieron todos los pasos anteriormente descritos.
4. Se determinaron los parámetros de producción que presentan menos variabilidad en porcentaje (m/m) de maní.

### 6.6.4 Corrección de límites de proceso y variación de porcentaje de sal en bomba.

1. Se realizaron 15 muestreos del porcentaje de sal en el producto terminado, cada uno con análisis por triplicado, lo que resultó en un total de 45 datos individuales. Esta cantidad se calculó con base al procedimiento ejemplificado en *Cálculo de tamaño de muestra* en Anexos para un error de 1.2%.
2. A partir de los datos obtenidos, se construyó una gráfica de medias para analizar la estabilidad del proceso y detectar posibles desviaciones respecto a los límites de control previamente establecidos.
3. Se utilizaron las siguientes fórmulas para calcular el límite de control superior (UCL) y límite de control inferior (LCL), los valores de  $A_2$  a utilizar se obtuvieron del Cuadro 36 en Anexos.

*Ecuación 6. Límite de control superior (UCL)*

$$UCL = \bar{X} + A_2\bar{R}$$

*Ecuación 7. Límite de control inferior (LCL)*

$$LCL = \bar{X} - A_2\bar{R}$$

4. Se realizó una validación de la capacidad del proceso empleando la Ecuación 1, Ecuación 2 y Ecuación 3, buscando obtener un  $C_{pk} \geq 1.5$ .
5. Al obtener un  $C_{pk}$  y  $C_{pm}$  fuera del rango esperado, se regresó al diagrama de Ishikawa para determinar el origen del problema en el equipo. Posteriormente, se realizaron pruebas con los parámetros de operación de la bomba que alimenta el sabor.
6. Para el análisis se recolectaron 30 muestras por cada uno de los tres niveles del variador de velocidad evaluados (niveles 5, 6 y 7), número obtenido del *Cálculo de tamaño de muestra*.
7. A cada muestra obtenida se le midieron grados Brix, porcentaje de humedad, porcentaje de sal y se le realizó análisis sensorial de Apariencia, Textura, Olor, Sabor y Color.
8. Se tabularon los resultados obtenidos y se calculó el promedio, desviación estándar y coeficiente de variación de cada parámetro sensorial analizado.

9. Se obtuvo una gráfica radial con el análisis sensorial realizado, a partir de la cual se puede observar cual nivel cumple mayormente con la satisfacción de los parámetros.

#### **6.6.5 Determinación de parámetros de producción (banda secadora)**

1. Se realizó un muestreo compuesto por 30 unidades para cada variación de parámetros en el equipo, número obtenido del *Cálculo de tamaño de muestra*, siendo la principal variable el Tiempo de residencia. Teniendo como límite máximo de tiempo de residencia 10 minutos, se probó disminuir el mismo en intervalos de 2 minutos para cada prueba.
2. Se analizó el porcentaje de humedad después de salir del horno y al salir de la banda secadora siguiendo el procedimiento descrito en el numeral 3.
3. Se determinaron los parámetros de producción que presentan menos variabilidad en porcentaje de humedad.

#### **6.7 Análisis sensorial**

1. Se tomó una muestra de 50 personas al azar, siguiendo el procedimiento establecido por la empresa y siendo el número de individuos recomendado por la norma ISO 11136 para pruebas de este tipo. (International Organization for Standardization [ISO], 2014).
2. Se les pidió que analizaran los parámetros textura y sabor de la muestra de maní, indicando a los panelistas que debían calificar cada atributo del 1 al 5, siendo 1 lo más bajo y 5 lo mejor.
3. Se tabularon los resultados obtenidos y se calculó el promedio, desviación estándar y coeficiente de variación de cada parámetro.
4. Posteriormente, se repitieron los pasos anteriores con muestras de maní japonés después de la implementación de mejoras.
5. Se calculó el porcentaje de preferencia por cada calificación de la escala empleando la siguiente ecuación:

*Ecuación 8. Porcentaje de preferencia*

$$\% \text{ de preferencia} = \frac{\text{Total de personas que calificaron en el nivel } x}{\text{Total de personas en la prueba}} \times 100\%$$

## VII. RESULTADOS

### 7.1 Diagnóstico del proceso

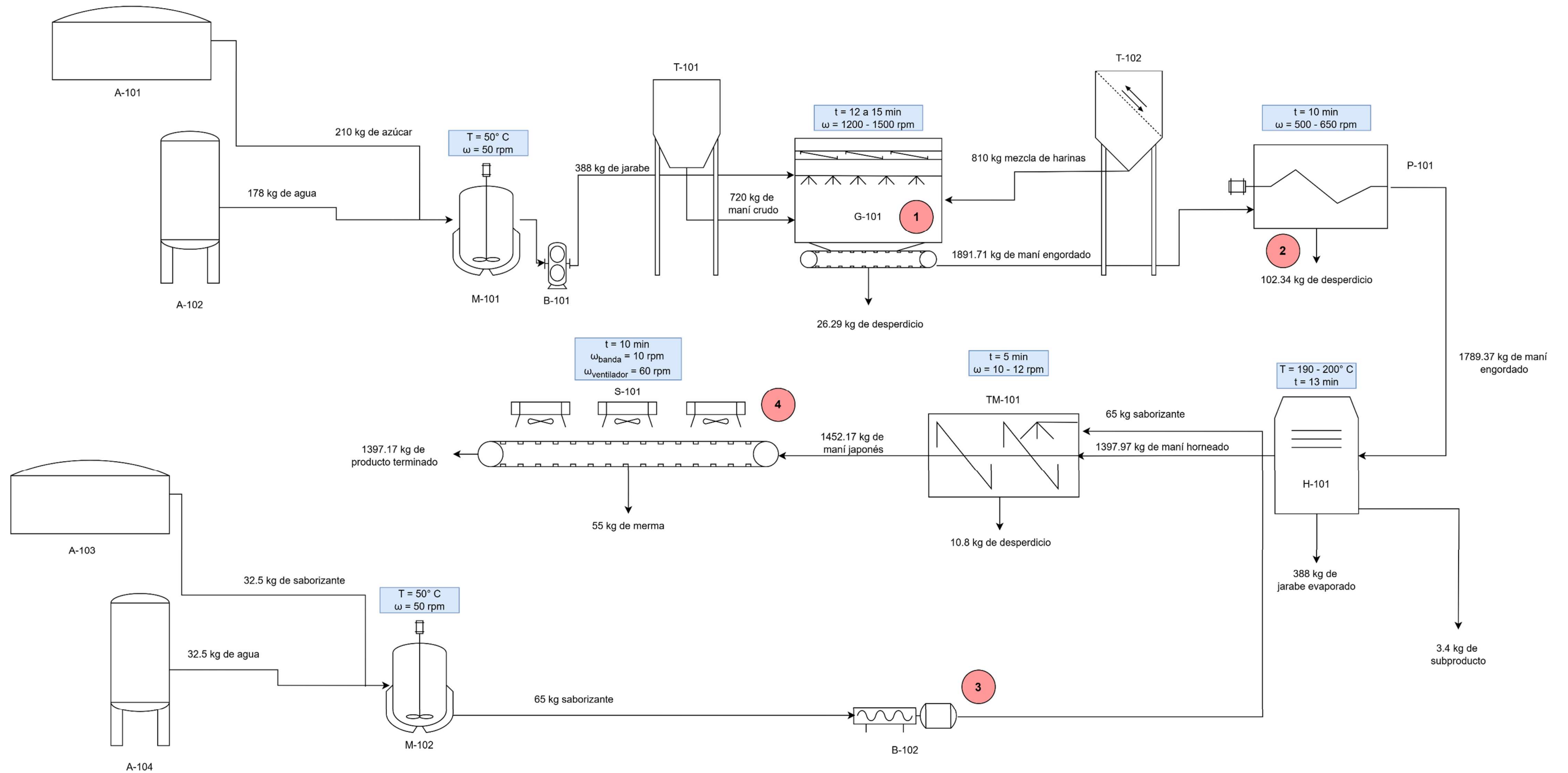
#### 7.1.1 Balance de masa inicial

*Cuadro 2. Balance de masa diagnóstico*

Equipo	Etiqueta	Entradas	Masa (±0.025 kg)	Salidas	Masa (±0.025 kg)
Marmita de jarabe	M-101	Azúcar	210	Jarabe	388
		Agua	178		
Bomba de jarabe	B-101	Jarabe	388	Jarabe	388
Grageadora	G-101	Maní crudo	720	Maní engordado	1891.71
		Jarabe	388		
		Mezcla de harinas	810	Desperdicio	26.29
Pulidora	P-101	Maní engordado	1891.71	Maní engordado	1789.37
				Desperdicio	102.34
Horno	H-101	Maní engordado	1789.37	Maní horneado	1397.97
				Jarabe evaporado	388
				Desperdicio	3.4
Marmita de salsa	M-101	Saborizante	32.5	Saborizante	65
		Agua	32.5		
Bomba de salsa	B-102	Saborizante	65	Saborizante	65
Tambor de saborizante	TM-101	Maní horneado	1397.97	Maní japonés	1452.17
		Saborizante	65	Desperdicio	10.8
Banda de secado	S-101	Maní japonés	1452.17	Producto terminado	1397.17
				Merma	55

El Cuadro 2 presenta el balance de masa realizado durante el diagnóstico del proceso de fabricación de maní japonés, el cual se realizó durante un ciclo de producción equivalente a medio turno de operación. En él se detallan las entradas y salidas de materia en cada equipo, además de la etiqueta asignada a estos para la siguiente figura.

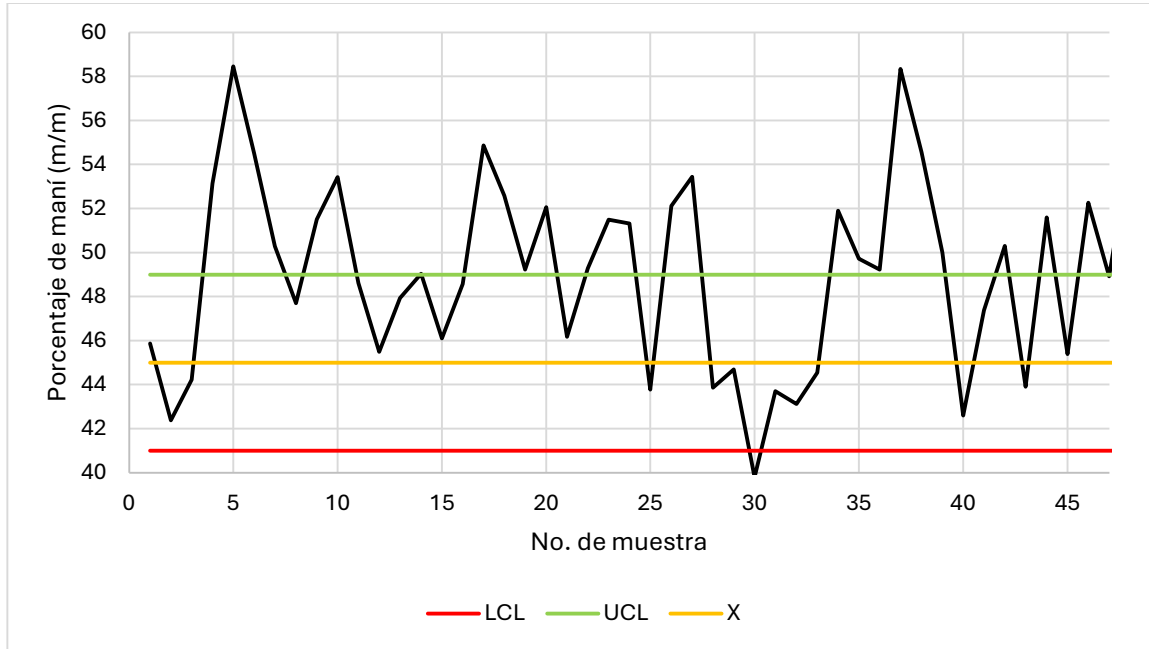
Figura 13. Diagrama del balance de masa diagnóstico de la línea de maní japonés



La presente figura contiene la representación gráfica del balance de masa para el diagnóstico de la línea de fabricación de maní japonés. En esta, se destacan en círculos de color rojo las etapas críticas del proceso en donde se nota una mayor cantidad de desperdicio o merma, siendo estas: (1) Grageadora, (2) Pulidora, (3) Tambor y bomba de sabor y (4) Banda de secado.

### 7.1.2 Etapas críticas del proceso

Figura 14. Variabilidad de porcentaje (m/m) de maní (Grageadora)



Nota. Elaboración propia.

La figura presenta los resultados del muestreo inicial correspondiente a la etapa de grageado (1), donde se evaluó el cumplimiento de los límites establecidos para el porcentaje de maní respecto a la masa total del producto. Los datos que originan esta gráfica se encuentran tabulados en el Cuadro 49.

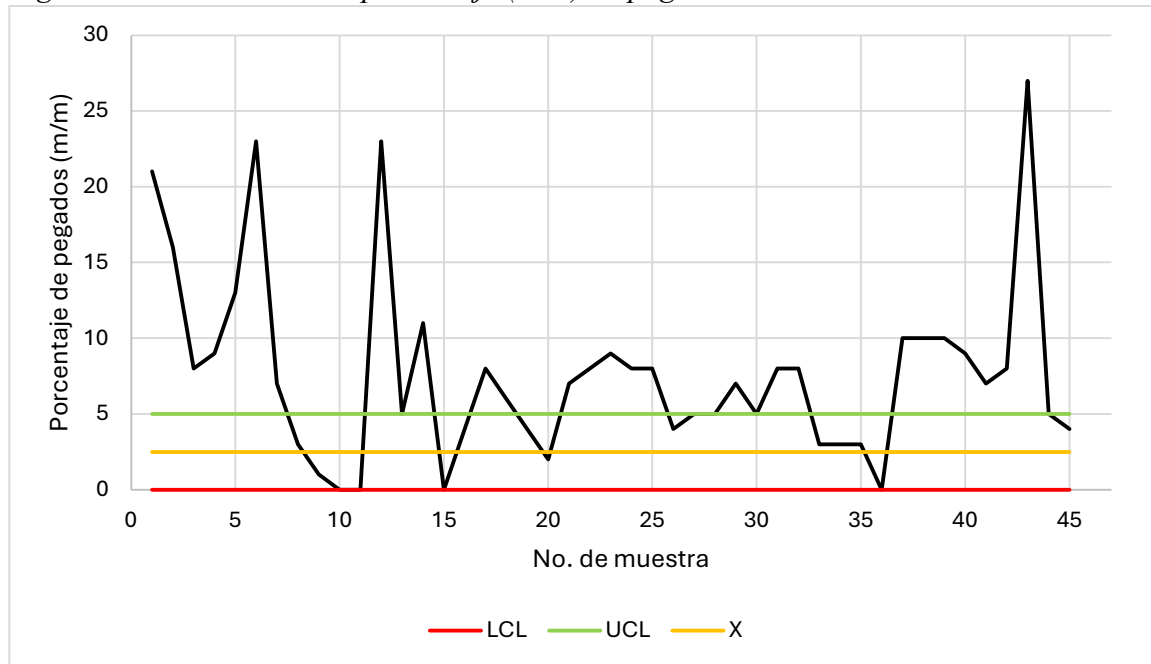
Figura 15. Variabilidad de porcentaje (m/m) de maní (Pulidora)



Nota. Elaboración propia.

La Figura 15 muestra los resultados del porcentaje de maní obtenidos en la etapa de pulido, etapa crítica (2) en la Figura 13, con el objetivo de analizar la consistencia del recubrimiento después del proceso. Los valores utilizados para la construcción de la gráfica se presentan en el Cuadro 50.

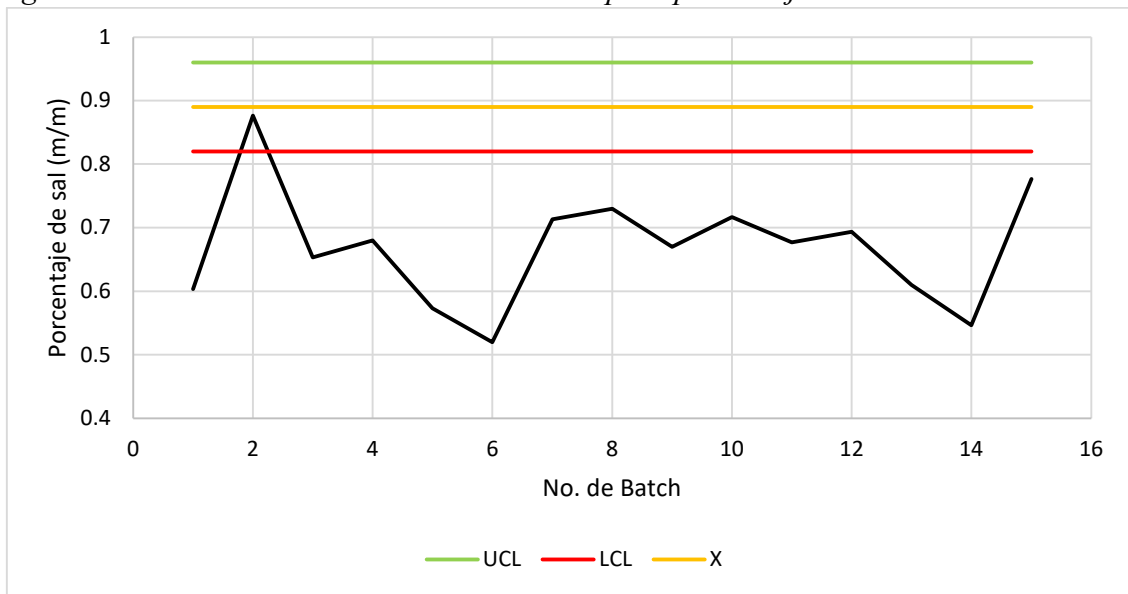
*Figura 16. Variabilidad de porcentaje (m/m) de pegados*



Nota. Elaboración propia.

La presente figura contiene el porcentaje (m/m) de maníes pegados registrados a la salida de la pulidora, parámetro utilizado como indicador de defectos físicos ocasionados por exceso de humedad o jarabe durante el proceso. Los datos de esta gráfica se encuentran en el Cuadro 51.

Figura 17. Variabilidad de límites establecidos para porcentaje de sal



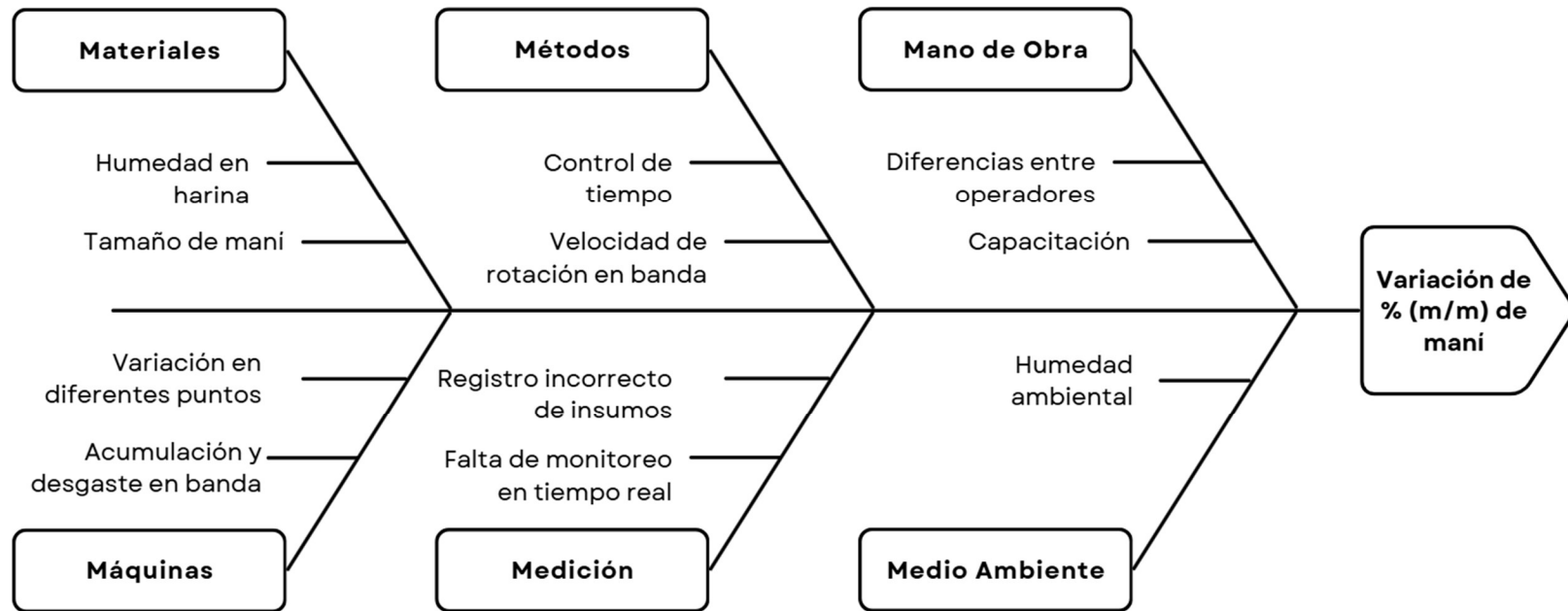
Nota. Elaboración propia.

La Figura 17 posee los resultados del muestreo inicial realizado para observar el comportamiento de los límites establecidos para porcentaje de sal. Los datos de esta gráfica se pueden encontrar tabulados en el Cuadro 33.

## 7.2 Propuesta de mejoras

### 7.2.1 Propuestas en grageadora

Figura 18. Diagrama de causa y efecto para grageadora



Nota. Elaboración propia.

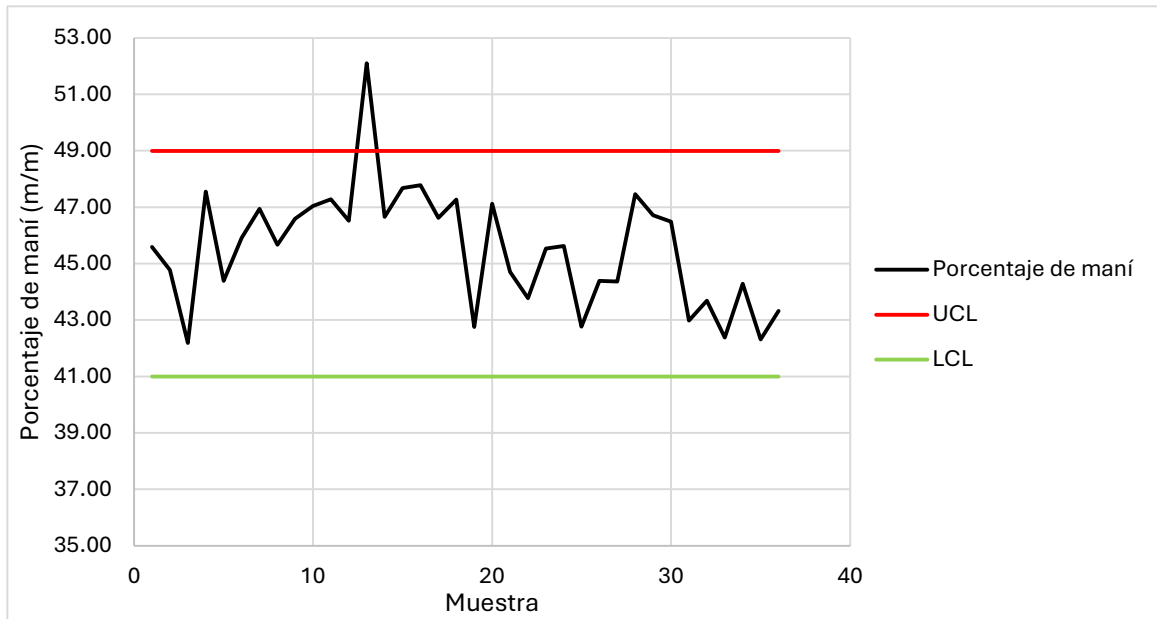
El diagrama de Ishikawa correspondiente a la fase de grageado se puede ver en la Figura 18. En esta etapa, se determinó que las principales causas de la variabilidad consistían en los elementos asociados con los procedimientos y las máquinas, por ajustes inapropiados en el tiempo de mezcla y reposo, así como fluctuaciones en la velocidad de la banda. Las discrepancias en la granulometría de la harina y en la viscosidad del jarabe, dentro de la categoría materiales, se vincularon de igual manera a una cobertura no uniforme. En términos de mano de obra, se resaltó que no hay uniformidad en la programación del equipo entre turnos.

Cuadro 3. Parámetros de operación para grageadora

Parámetro	Etapa 1	Etapa 2
Tiempo de rociado ( $\pm 0.01$ s)	1.5	1.6
Tiempo de pausa ( $\pm 0.01$ s)	3	3
Tiempo de polvo ( $\pm 0.01$ s)	30	30
Tiempo de pausa ( $\pm 0.01$ s)	3	3
Ciclos	3	12
Velocidad de Banda ( $\pm 1$ rpm)	1200	1500

En el presente cuadro se detallan los tiempos de operación para las dos etapas del proceso de grageado, que incluyen Tiempo de rociado y Tiempo de polvo, que indican cuánto tiempo se aplica cada uno en segundos; Tiempo de pausa, que permite detener la introducción de insumos para una mejor distribución del producto; Ciclos, que son el número de veces que se repite la secuencia de operación; y Velocidad de banda, que define la velocidad con la que el producto se mueve en la banda. Los resultados por los cuales se dejaron estos parámetros se encuentran del Cuadro 52 al Cuadro 54, los demás parámetros probados y sus resultados están del Cuadro 59 al Cuadro 70.

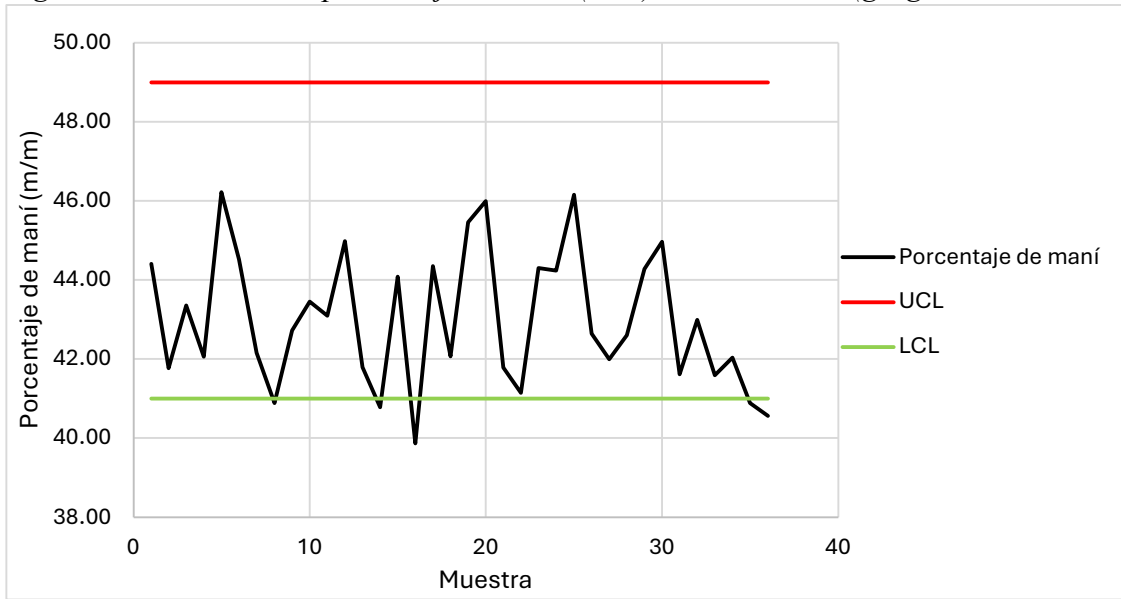
Figura 19. Variación de porcentaje de maní (m/m) en lado izquierdo (grageadora 15 ciclos)



Nota. Elaboración propia.

Esta figura presenta una gráfica del monitoreo de la variación en el porcentaje de maní durante el proceso de la grageadora en 15 ciclos para el lado de izquierdo. Los datos utilizados para esta figura se encuentran en el Cuadro 52.

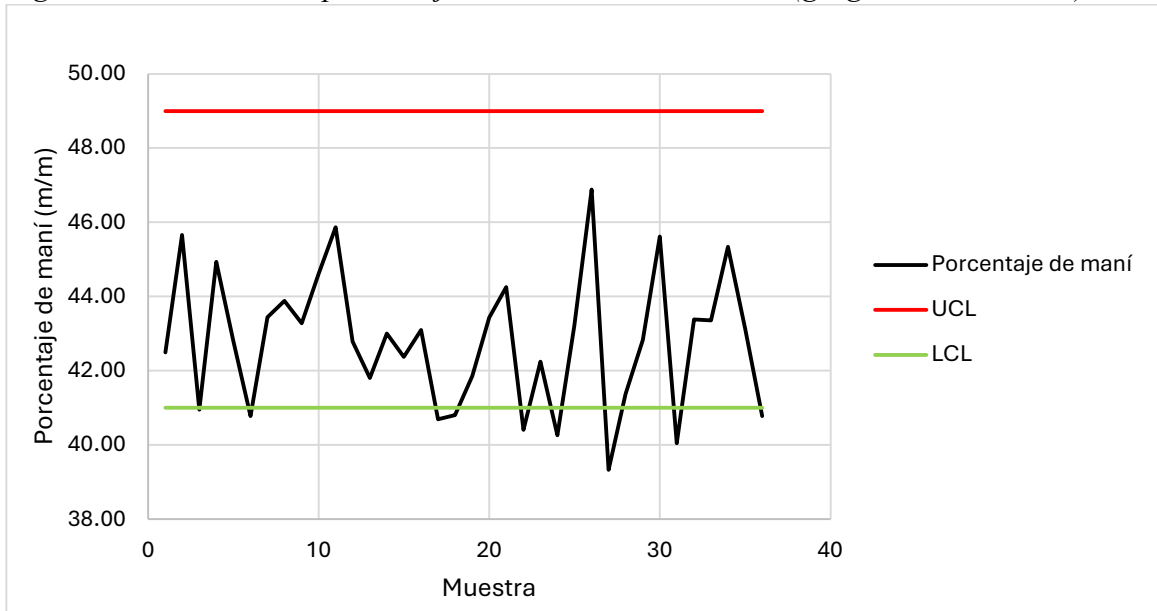
Figura 20. Variación de porcentaje de maní (m/m) en lado medio (grageadora 15 ciclos)



Nota. Elaboración propia.

Esta figura presenta una gráfica del monitoreo de la variación en el porcentaje de maní durante el proceso de la grageadora en 15 ciclos para el lado de en medio. Los datos de la gráfica se encuentran tabulados en el Cuadro 53.

Figura 21. Variación de porcentaje de maní en lado derecho (grageadora 15 ciclos)

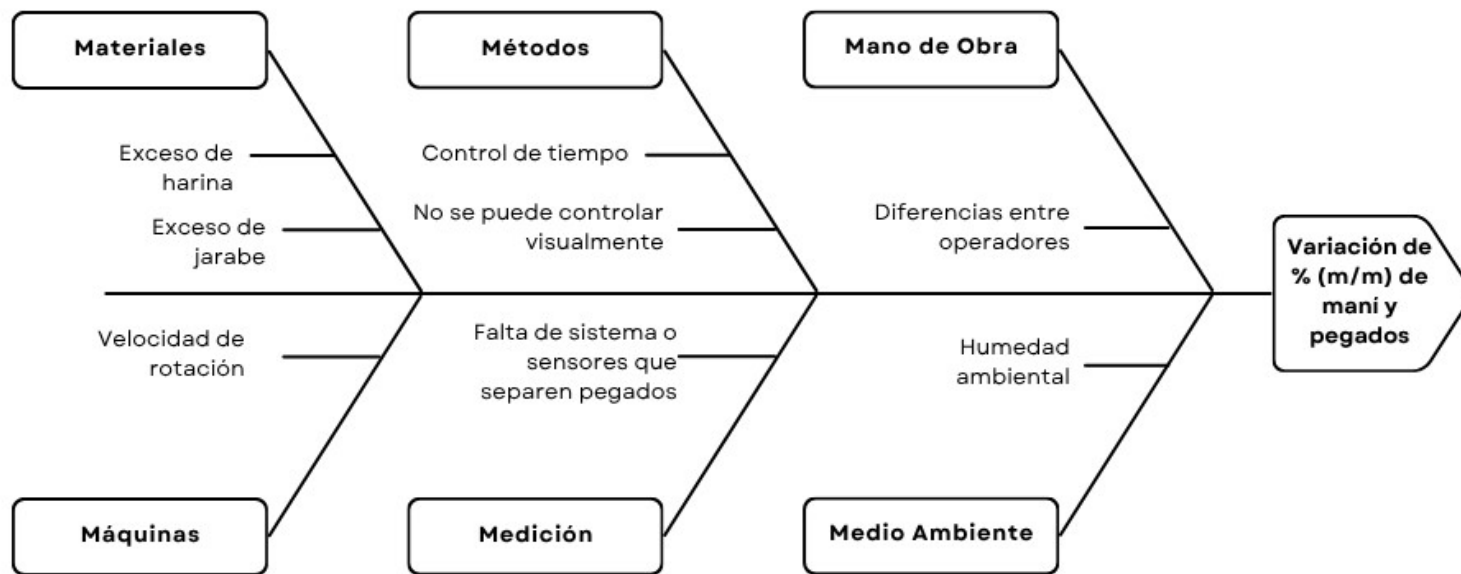


Nota. Elaboración propia.

Esta figura presenta una gráfica del monitoreo de la variación en el porcentaje de maní durante el proceso de la grageadora en las condiciones de operación propuestas, solamente en el lado derecho. Los datos empleados para la realización de la gráfica se encuentran en el Cuadro 54.

### 7.2.2 Propuestas en pulidora

Figura 22. Diagrama de causa y efecto para pulidora



Nota. Elaboración propia.

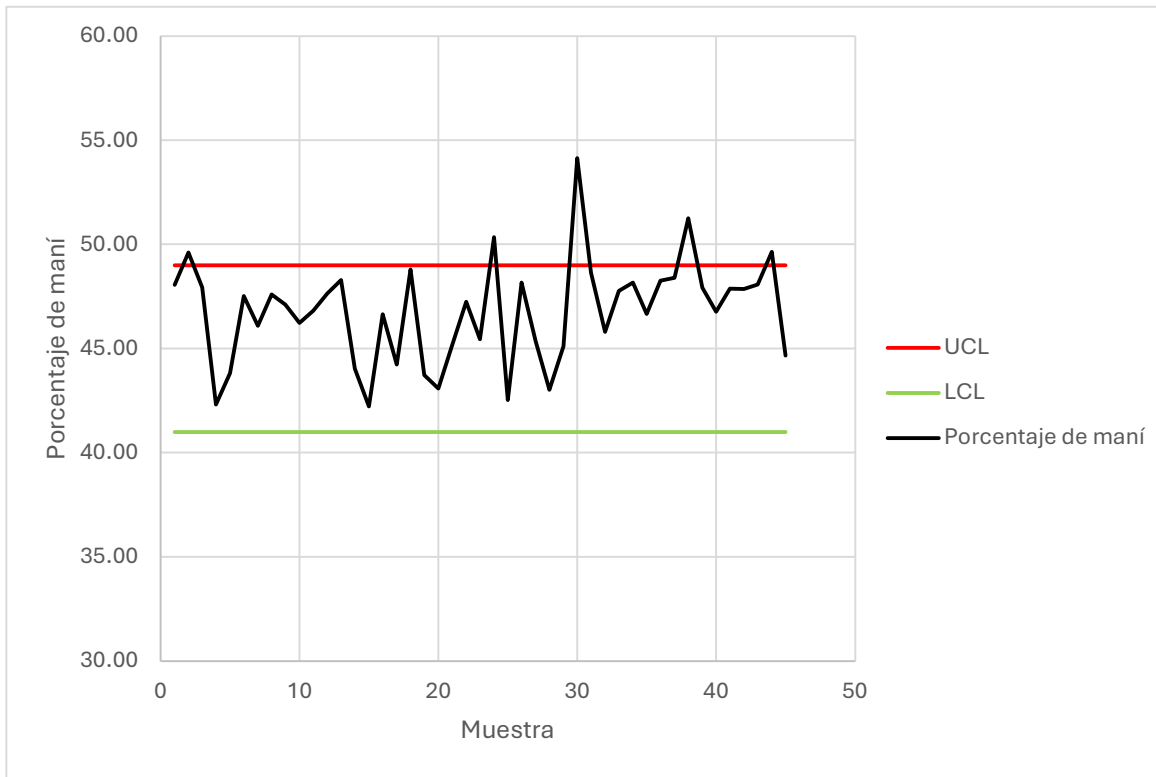
En la presente figura se tiene el diagrama de causa y efecto elaborado para la etapa de pulido. El análisis permitió identificar que la máquina y los métodos son los factores más relevantes en la aparición de maníes pegados. Además, se observó que la mano de obra y la medición durante el proceso juegan un papel importante, ya que el control visual del flujo y la falta de monitoreo en línea impiden una detección temprana del problema y la remoción de pegados al final del proceso.

*Cuadro 4. Parámetros de operación para pulidora*

Parámetro	Valor
Giro normal (rpm)	650
Contra giro (rpm)	500
Tiempo de residencia ( $\pm 0.01$ s)	600

El Cuadro 4 presenta los valores de giro normal y contra giro del equipo (en rpm), que permiten un pulido homogéneo del recubrimiento, además del tiempo de residencia, es decir el tiempo total que permanece el producto en la máquina, lo cual influye directamente en la textura superficial del maní japonés.

*Figura 23. Variación de porcentaje de maní en el proceso (pulidora)*



Nota. Elaboración propia.

Esta figura presenta una gráfica del monitoreo de la variación en el porcentaje de maní durante el proceso de la pulidora bajo las condiciones de operación en el cuadro anterior. Los datos empleados en la gráfica se encuentran en el Cuadro 55, y los parámetros de operación probados del Cuadro 71 al Cuadro 73.

*Cuadro 5. Cotización implementación de sensor*

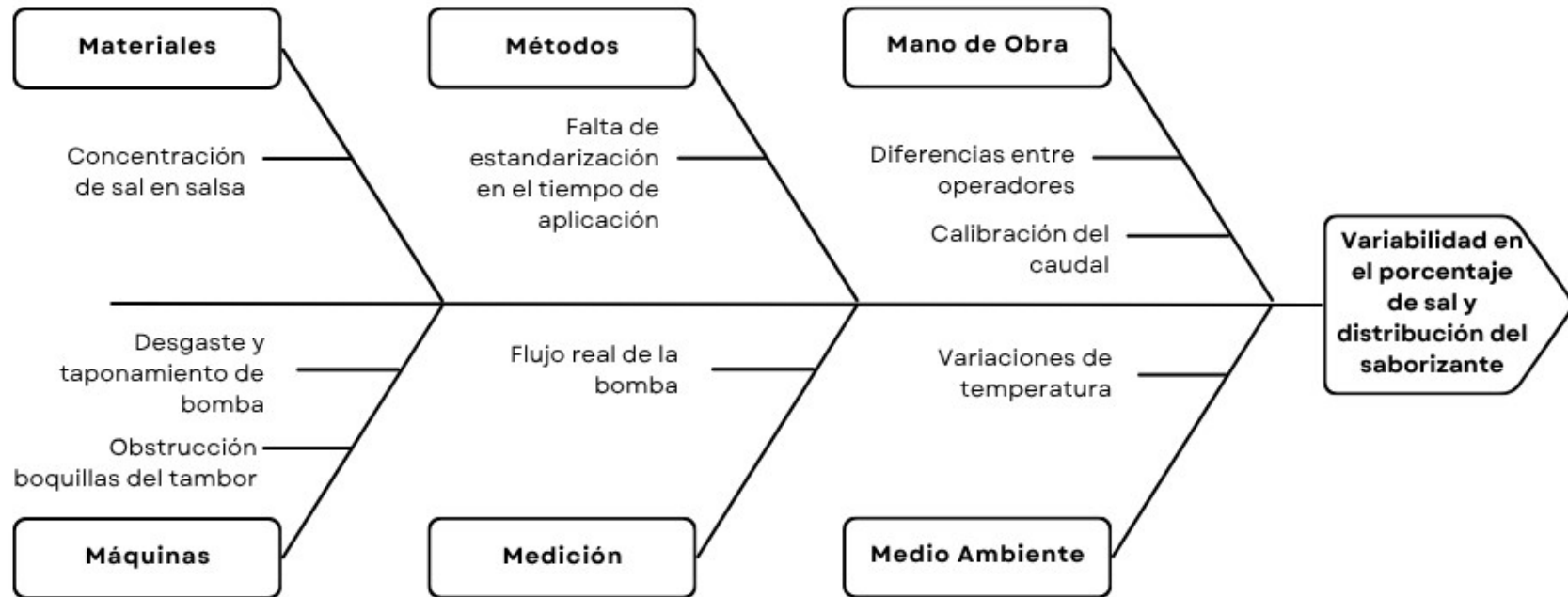
<b>Componente</b>	<b>Costo aproximado (USD \$)</b>
Acelerómetro PCB 603C01	\$ 130.00
Fuente de alimentación IEPE (PCB 482C05)	\$ 200.00
Chasis NI cDAQ-9174	\$ 900.00
Módulo NI-9234 (4 canales IEPE)	\$ 800.00
Plataforma metálica	\$ 80.00
Cableado y accesorios	\$ 70.00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 2,180.00</b>

Nota. PCB Piezotronics, 2010; PCB Piezotronics, 2011; National Instruments [NI], 2023.

A partir de los resultados obtenidos en la Figura 16, se propone la implementación de un sensor para la detección y reducción del porcentaje de maníes pegados. El cuadro anterior presenta los costos aproximados de los materiales necesarios para la implementación del sensor en la salida de un tambor rotatorio y detectar aglomeraciones de maní. La ficha técnica del sensor y otros componentes se pueden encontrar a partir del Cuadro 28 en Datos de placa.

### 7.2.3 Propuestas en tambor y bomba de saborizante

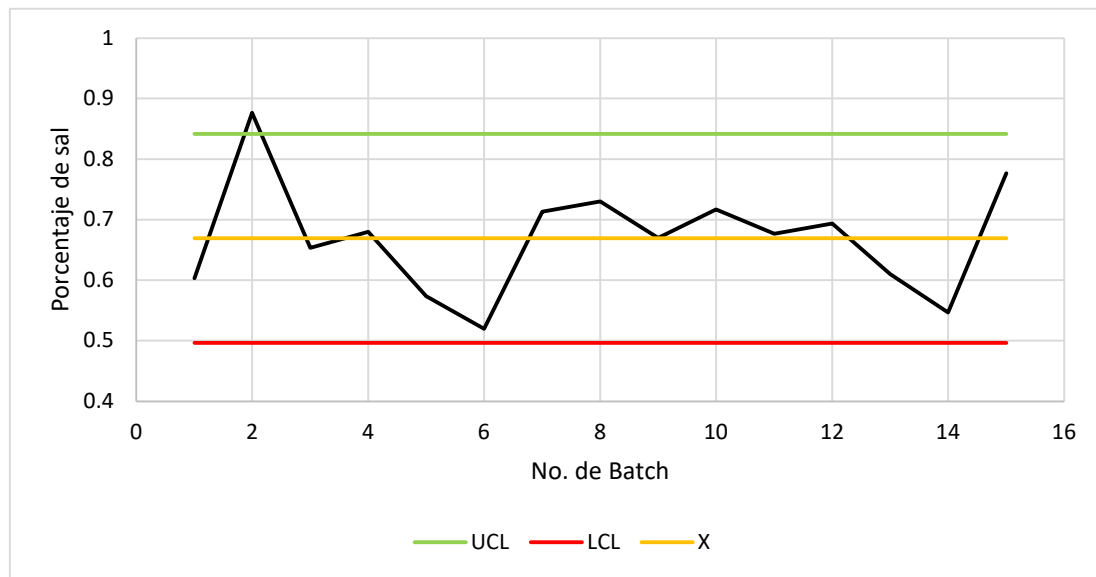
Figura 24. Diagrama de causa y efecto para tambor y bomba de saborizante



Nota. Elaboración propia.

La presente figura representa el diagrama de Ishikawa del sistema conformado por la bomba y el tambor de sazón. Dentro de las causas principales de la variabilidad en el porcentaje de sal se identificaron métodos de operación no estandarizados y variaciones en la configuración de la bomba, lo que provoca diferencias en el caudal de aplicación de salsa.

Figura 25. Gráfica X de límites propuestos para porcentaje de sal



Nota. Elaboración propia.

Con base en los resultados obtenidos del muestreo, se realizó un análisis estadístico de la variación del proceso y se proponen nuevos límites dentro de los cuales el producto final se comporta más acorde. La Figura 25 presenta estos límites propuestos, y pueden observarse redactados en el Cuadro 41.

Cuadro 6. Índices de capacidad de proceso para límites propuestos para porcentaje de sal

Cp	Cpk	Cpm
0.804	0.565	0.565

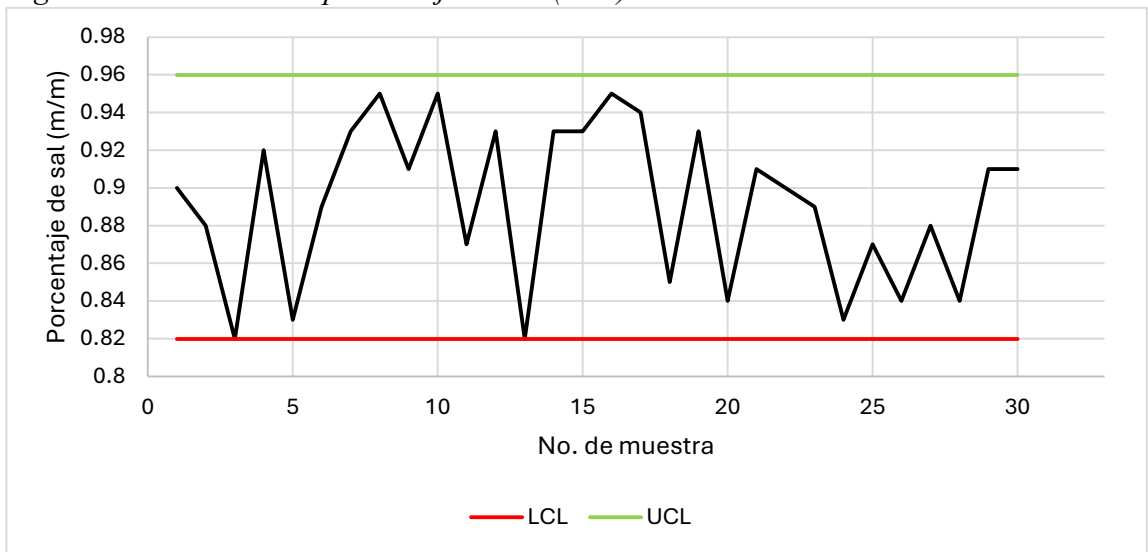
El Cuadro 6 presenta los resultados del análisis de capacidad del proceso para el porcentaje de sal, considerando los límites propuestos de aceptación. Estos resultados, en conjunto con el análisis de causa y efecto, llevan a proponer ajustes en los parámetros de operación ya que el proceso se encuentra fuera de especificaciones.

Cuadro 7. Parámetros de operación para tambor y bomba de saborizante

Parámetro	Valor
Velocidad ( $\pm 1$ rpm)	12
Tiempo de cobertura ( $\pm 0.01$ s)	150
Velocidad de bomba (nivel)	7
Velocidad de bomba (rpm)	13
Velocidad de bomba ( $\pm 1.4$ L/h)	12.69

El Cuadro 7 detalla la velocidad de banda para el transporte del producto; el tiempo de cobertura, que indica durante cuánto tiempo se aplica la salsa; y la velocidad de bomba, que aparece en distintas unidades (nivel, rpm y L/h), y se refiere al flujo con el que se aplica la salsa.

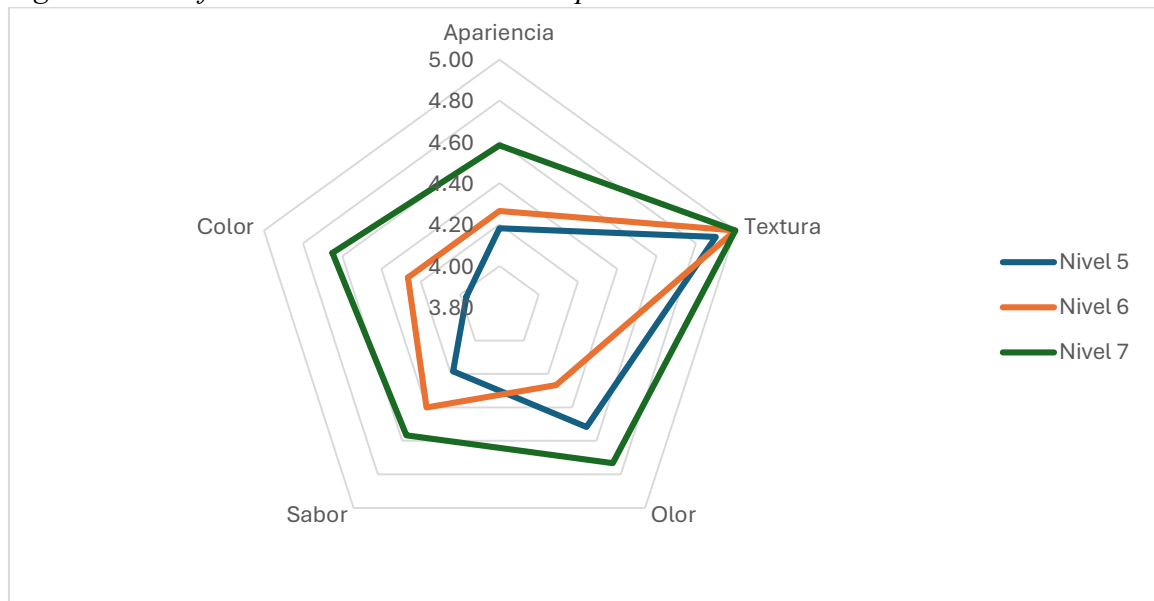
Figura 26. Variación de porcentaje de sal (m/m) en nivel 7 de bomba



Nota. Elaboración propia.

La Figura 26 muestra la variación del porcentaje de sal obtenida al operar la bomba de sazón en el nivel 7 de velocidad, correspondiente a un flujo promedio de  $12.69 \pm 1.4$  L/h. El límite de clase inferior (LCL) equivale a 0.82% (m/m), mientras que el límite superior es 0.96% (m/m). Los resultados de los distintos parámetros probados para esta propuesta se encuentran en Anexos.

Figura 27. Gráfica radial análisis sensorial prueba de bomba de saborizante

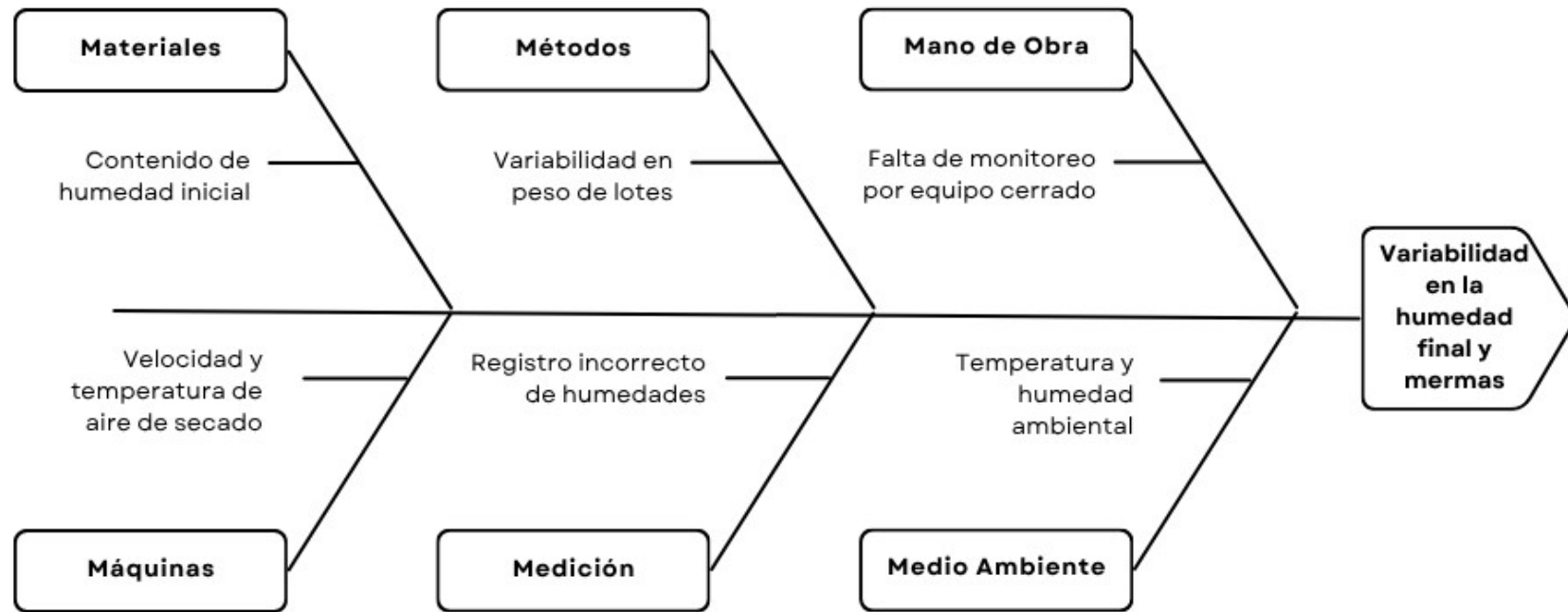


Nota. Elaboración propia.

Se presentan los resultados de los tres niveles analizados del variador de velocidad de la bomba de saborizante en la Figura 27. Para cada muestra obtenida se realizó un análisis sensorial con las características organolépticas apariencia, color, textura, sabor y olor. Los datos empleados se pueden encontrar en el Cuadro 48.

#### 7.2.4 Propuestas en banda de secado

Figura 28. Diagrama de causa y efecto para banda de secado



Nota. Elaboración propia.

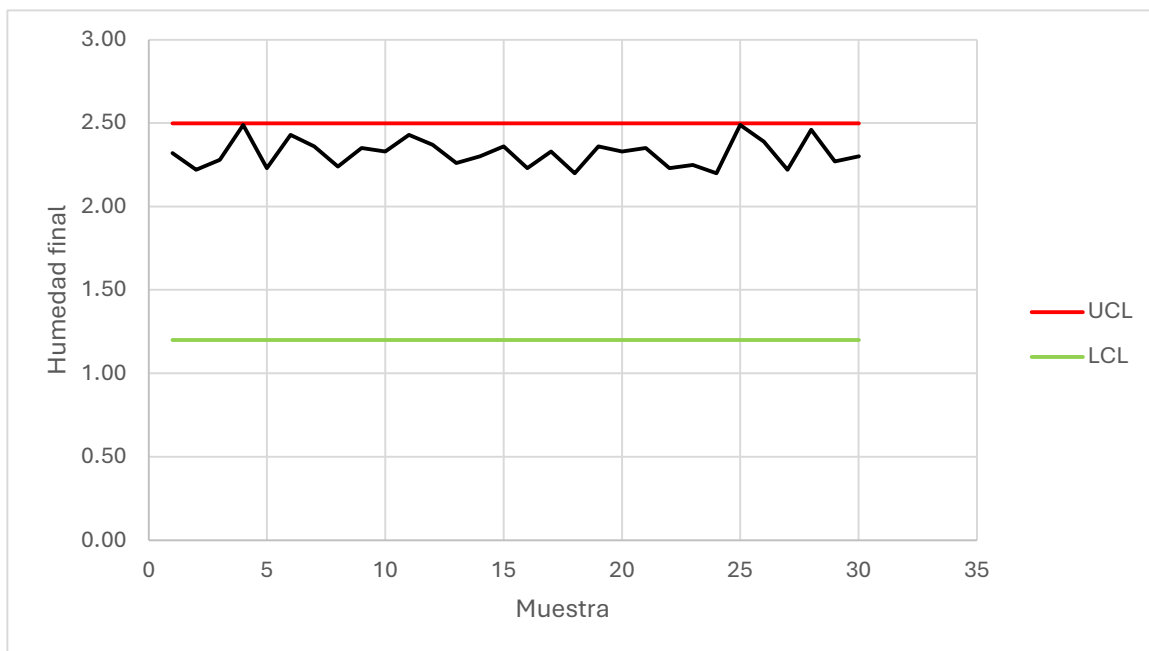
La figura muestra el análisis de causa y efecto para la banda de secado. En esta etapa, las principales fuentes de variación se asociaron con la temperatura del aire, la velocidad de la banda y el tiempo de residencia del producto, clasificadas dentro de las categorías de método y máquina. Además, después de realizar la propuesta en el tambor y bomba de saborizante, surgió la incertidumbre de ajustar los parámetros para poder cumplir con las especificaciones y poder remover la humedad que trae el producto con los ajustes de la salsa.

Cuadro 8. Parámetros de operación para banda secadora

Parámetro	Valor
Velocidad de banda ( $\pm 1$ rpm)	10
Velocidad ventiladores ( $\pm 1$ rpm)	60
Velocidad extractor de vapores ( $\pm 1$ rpm)	60
Tiempo de residencia ( $\pm 0.01$ s)	600

En este último cuadro se describen las velocidades de los distintos motores de la banda de secado, incluyendo la velocidad de banda, velocidad de ventiladores y velocidad del extractor de vapores, todos en rpm, los cuales permiten secar el producto sin deteriorar su forma ni sabor. Asimismo, se incluye el tiempo de residencia dentro de la banda.

Figura 29. Variación de humedad en banda de secado (10 minutos)



Nota. Elaboración propia.

Esta figura contiene una representación de la variación de humedad final a lo largo de la prueba con el tiempo de residencia propuesto de diez minutos en la banda secadora. Los datos utilizados para la gráfica se encuentran en el Cuadro 56, con las otras pruebas realizadas del Cuadro 81 hasta el Cuadro 83.

### 7.3 Balances de masa

*Cuadro 9. Comparación balance de masa (grageadora)*

<b>Entradas</b>		
<b>Medición</b>	<b>Masa antes de las mejoras (<math>\pm 0.025</math> kg)</b>	<b>Masa después de propuesta de parámetros de operación (<math>\pm 0.025</math> kg)</b>
Mezcla de harinas	810	745
Jarabe	388	200
Maní	720	974.3
<b>Salidas</b>		
<b>Medición</b>	<b>Masa antes de las mejoras (<math>\pm 0.025</math> kg)</b>	<b>Masa después de propuesta de parámetros de operación (<math>\pm 0.025</math> kg)</b>
Desperdicio	26.29	61.62
Maní engordado	1891.71	1857.68

El Cuadro 9 presenta una comparación del balance de masa en la etapa de grageado antes y después de la implementación de mejoras en el proceso, como la propuesta de ajuste de parámetros de operación en el Cuadro 3. Se detallan los valores de entrada y salida de materiales, con un margen de error de  $\pm 0.025$  kg. La representación gráfica de los balances puede encontrarse en el apartado Balances de masa y energía en Anexos.

*Cuadro 10. Comparación balance de masa (pulidora)*

<b>Entradas</b>		
<b>Medición</b>	<b>Masa antes de las mejoras (<math>\pm 0.025</math> kg)</b>	<b>Masa después de propuesta de parámetros de operación (<math>\pm 0.025</math> kg)</b>
Maní engordado	1891.71	1857.68
<b>Salidas</b>		
<b>Medición</b>	<b>Masa antes de las mejoras (<math>\pm 0.025</math> kg)</b>	<b>Masa después de propuesta de parámetros de operación (<math>\pm 0.025</math> kg)</b>
Desperdicio	102.34	14.05
Maní engordado	1789.37	1843.63

El Cuadro 10 presenta una comparación del balance de masa en la etapa de pulido antes y después de la implementación de mejoras en el proceso, específicamente la propuesta de corrección en los parámetros de operación del equipo. Se detallan los valores de entrada y salida de materiales, con un margen de error de  $\pm 0.025$  kg.

*Cuadro 11. Comparación balance de masa (horno)*

<b>Entradas</b>		
<b>Medición</b>	<b>Masa antes de las mejoras (<math>\pm 0.025</math> kg)</b>	<b>Masa con mejoras en etapas anteriores (<math>\pm 0.025</math> kg)</b>
Maní engordado	1789.37	1843.63
<b>Salidas</b>		
<b>Medición</b>	<b>Masa antes de las mejoras (<math>\pm 0.025</math> kg)</b>	<b>Masa con mejoras en etapas anteriores (<math>\pm 0.025</math> kg)</b>
Jarabe evaporado	391.4	200
Maní horneado	1397.97	1643.63

El Cuadro 11 presenta una comparación del balance de masa en la etapa de horneado antes y después de la implementación de mejoras en el proceso. Se detallan los valores de entrada y salida de materiales, con un margen de error de  $\pm 0.025$  kg.

*Cuadro 12. Comparación balance de masa (tambor rotatorio)*

<b>Entradas</b>		
<b>Medición</b>	<b>Masa antes de las mejoras (<math>\pm 0.025</math> kg)</b>	<b>Masa después de propuesta de parámetros de operación (<math>\pm 0.025</math> kg)</b>
Maní horneado	1397.97	1643.63
Saborizante	65	37.5
<b>Salidas</b>		
<b>Medición</b>	<b>Masa antes de las mejoras (<math>\pm 0.025</math> kg)</b>	<b>Masa después de propuesta de parámetros de operación (<math>\pm 0.025</math> kg)</b>
Desperdicio	10.8	6.5
Maní húmedo	1452.17	1674.63

El Cuadro 12 presenta una comparación del balance de masa en la etapa de recubrimiento de salsa antes y después de la implementación de mejoras en la aplicación de salsa durante el proceso. Se detallan los valores de entrada y salida de materiales, con un margen de error de  $\pm 0.025$  kg.

*Cuadro 13. Comparación balance de masa (banda de secado)*

<b>Entradas</b>		
<b>Medición</b>	<b>Masa antes de las mejoras (<math>\pm 0.025</math> kg)</b>	<b>Masa después de propuesta de parámetros de operación (<math>\pm 0.025</math> kg)</b>

Maní húmedo	1452.17	1674.63
<b>Salidas</b>		
<b>Medición</b>	<b>Masa antes de las mejoras (<math>\pm 0.025</math> kg)</b>	<b>Masa después de propuesta de parámetros de operación (<math>\pm 0.025</math> kg)</b>
Merma	55	24.98
Producto terminado	1397.17	1649.65

El Cuadro 13 presenta una comparación del balance de masa en la etapa de secado antes y después de la implementación de mejoras en el proceso. Se detallan los valores de entrada y salida de materiales, con un margen de error de  $\pm 0.025$  kg.

*Cuadro 14. Rendimientos totales del proceso*

<b>Medición</b>	<b>Masa de entradas (<math>\pm 0.025</math> kg)</b>	<b>Masa de producto terminado (<math>\pm 0.025</math> kg)</b>	<b>% (m/m) de rendimiento</b>	<b>Incertidumbre</b>
Antes de las mejoras	1595.00	1397.17	87.60	0.0021
Después de las mejoras	1756.80	1649.65	93.90	0.0019

El cuadro presenta los resultados del cálculo de rendimiento del proceso de producción de maní japonés antes y después de la implementación de mejoras. La muestra del cálculo puede encontrarse en Anexos.

## 7.4 Análisis sensorial

*Figura 30. Muestra de maní japonés antes de la validación de propuesta de mejoras*



Nota. Elaboración propia, tomada en Empresa de Snacks.

La presente figura muestra un ejemplo visual de la apariencia del maní japonés antes de la implementación de mejoras en el proceso de fabricación. Se puede observar un tono ligeramente tostado en algunas unidades, además de un tamaño irregular y desperfectos como agujeros o decoloración.

*Figura 31. Muestra de maní japonés obtenida en prueba de validación de propuesta de mejoras*



Nota. Elaboración propia, tomada en Empresa de Snacks.

La Figura 31 presenta una muestra del producto terminado obtenida después una prueba en la que se implementaron y validaron las propuestas de mejora en las etapas críticas del proceso. Se observa una mayor uniformidad en la cobertura y un color más homogéneo del recubrimiento, además de que se aprecia una reducción notable en la presencia de maníes pegados o con grietas

*Cuadro 15. Recuento de datos de análisis sensorial*

<b>Calificación</b>	<b>Sabor (antes de validación de propuestas)</b>	<b>Textura (antes de validación de propuestas)</b>	<b>Sabor (después de validación de propuestas)</b>	<b>Textura (después de validación de propuestas)</b>
<b>1</b>	0	0	0	0
<b>2</b>	0	0	0	0
<b>3</b>	2	2	0	1
<b>4</b>	20	7	11	4
<b>5</b>	28	41	39	45

El presente cuadro contiene el recuento de datos obtenidos en el análisis sensorial, llevado a cabo para validar el impacto de las propuestas de mejora sobre las características organolépticas del producto. Utilizando una escala de Likert, en la 1 es la más baja y 5 lo

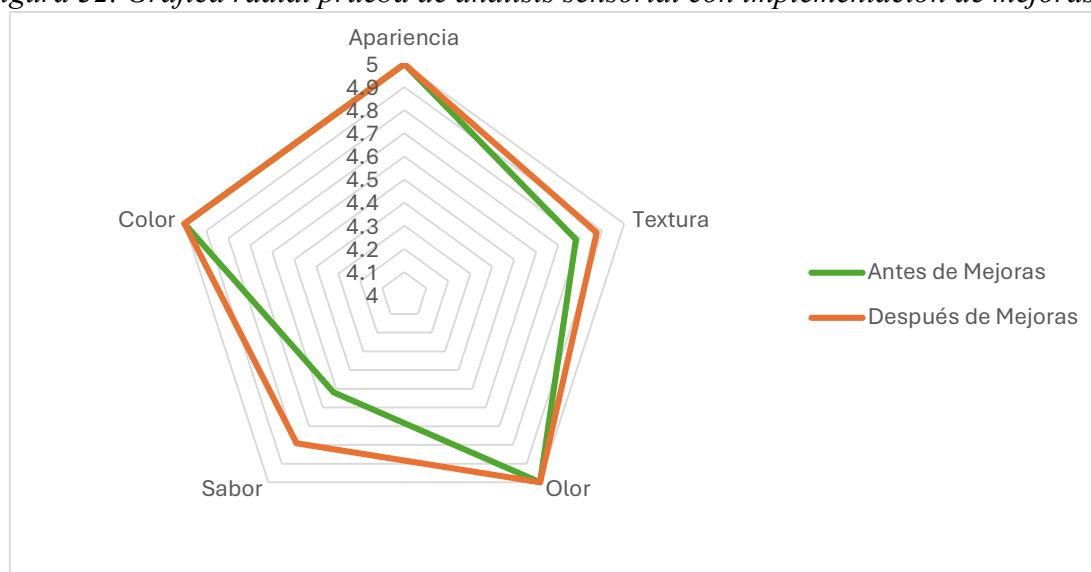
mejor, se presenta la cantidad de evaluadores por cada calificación para los niveles en la escala brindada, tanto para antes como después de la implementación de mejoras. La boleta utilizada para la evaluación se puede encontrar en la Figura 53.

*Cuadro 16. Análisis sensorial antes y después de la implementación de mejoras*

Nivel	Sabor (Antes)	Textura (Antes)	Sabor (Después)	Textura (Después)
1	0%	0%	0%	0%
2	0%	0%	0%	0%
3	4%	4%	0%	2%
4	40%	14%	22%	8%
5	56%	82%	78%	90%

El presente cuadro contiene los resultados del análisis sensorial realizado antes y después de la implementación de mejoras, mostrando la distribución de las respuestas de los evaluadores de manera porcentual para los atributos de sabor y textura.

*Figura 32. Gráfica radial prueba de análisis sensorial con implementación de mejoras*



Nota. Elaboración propia.

La Figura 32 presenta los resultados del análisis sensorial comparativo del maní japonés antes y después de la validación de propuestas de mejoras en el proceso de producción. Dado a que se evaluaron principalmente los atributos textura y sabor, los demás se mantienen constantes. La línea verde representa las calificaciones obtenidas antes de aplicar las mejoras, mientras que la línea anaranjada corresponde a las evaluaciones posteriores a su implementación.

## VIII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El presente trabajo tuvo como principal objetivo proponer mejoras en la línea de fabricación de maní japonés en una empresa guatemalteca de índole alimenticio. Para lograr esto, se realizó un diagnóstico inicial de todo el proceso empleando balances de masa, en donde se pudo identificar las etapas críticas del proceso. Asimismo, se realizaron muestreos periódicos en cada uno de los equipos para asegurar que el producto cumpliera con las especificaciones o detectar los puntos con mayor variabilidad. Empleando los datos recabados del balance y la base de datos históricos, se propusieron las mejoras al proceso, entre las cuales están correcciones a los parámetros de operación, la implementación de un sensor y la definición de un rango de operación para la bomba de alimentación del sabor.

Durante el tiempo en el que se realizó este trabajo, se fueron evaluando cada una de las etapas del proceso para garantizar que se cumpliera con las especificaciones de calidad, empezando por los grados Brix, tanto en el jarabe que recubre a los maníes para aumentar su tamaño, como para la salsa que le aporta sabor. Posteriormente, una vez que el maní ha pasado por el proceso de grageado y se ha recubierto con varias capas alternantes de jarabe y harina, se mide el porcentaje de maní para asegurar que el recubrimiento sea suficiente. Una vez termina su ciclo en la pulidora, se vuelve a medir el porcentaje de maní del batch antes de que ingrese al horno. A la salida del horno tostador, se toman muestras del producto para poder medir su humedad, ajustando la misma con un factor de corrección de + 0.9% según el método convencional (AOAC 925.10). Finalmente, al producto terminado se le vuelve a medir la humedad y se le aplica el mismo factor de corrección, además de analizar el porcentaje de sal que asegura un nivel de sabor aceptable.

Como se puede observar en el Cuadro 2 y Figura 13, se realizó un balance de masa inicial que permitió detectar cuatro etapas críticas en el proceso, siendo estos los que presenta la mayor cantidad de desperdicio. Entre estos se encuentra: (1) Grageadora, (2) Pulidora, (3) Tambor y bomba de sabor y (4) Banda de secado. En el punto crítico 1, se obtuvo un desperdicio de  $26.29 \pm 0.025$  kg, que se compone en su mayoría de harina que no se adhiere al maní correctamente y aglomeración de maníes adheridos, los cuales se denominan Pegados y pueden observarse en la Figura 33. Clasificación para picking. Posteriormente, en la etapa 2, se tiene un desperdicio equivalente a  $102.34 \pm 0.025$  kg, además de que se han realizado reportes de una alta variabilidad durante este proceso.

Posteriormente, como ya se ha mencionado, se realizaron muestreos en cada uno de los equipos para determinar en cuales características existe variabilidad. Las especificaciones de calidad que se tienen para cada una de las mediciones descritas fueron establecidas con anterioridad por el departamento de Diseño de Producto Nuevo en conjunto con el área de Control de Calidad, y se pueden encontrar resumidas en el Cuadro 32. Al analizar el cumplimiento de estas especificaciones, se pudo observar que el porcentaje de maní (m/m) en la grageadora (Figura 14), porcentaje de maní (m/m) en pulidora (Figura 15), porcentaje de pegados (m/m) a la salida de la pulidora (Figura 16) y porcentaje de sal (m/m) en producto terminado (Figura 17) se encuentran muy por fuera de

rango a lo largo del periodo de experimentación. Debido a esta inestabilidad en los resultados, se parte con la propuesta de mejoras en los cuatro puntos especificados.

El proceso para proponer cada una de las mejoras se repite para todos los casos, empezando por realizar un diagrama de causa y efecto o diagrama de Ishikawa. Empleando la metodología de las 6Ms, se dividieron las posibles raíces del problema en Materiales, Mano de obra, Máquinas, Métodos, Medición y Medio ambiente (Álvarez et al., 2022). En la categoría de Materiales, se colocó todo lo pertinente a insumos, como variaciones en los grados Brix del jarabe, que afectan directamente al proceso. Para Mano de obra se consideraron factores únicamente influenciados por los operadores, como diferencias en el procedimiento entre cada turno. En el caso de Máquinas se colocó todo posible problema que impida el correcto funcionamiento del equipo, como desgastes y condiciones de operación. Pasando a Métodos, en esta categoría se incluyó la ausencia de parámetros definidos o el uso de configuraciones a discreción del personal. Para el apartado de Medición, se consideraron más los métodos de control que lleven a la trazabilidad de los resultados obtenidos. Finalmente, en Medio ambiente se consideraron factores externos al proceso, como la temperatura y humedad ambiental, aunque su efecto sobre los resultados no sea tan relevante. (Luciana, 2016).

Para el análisis de causa y efecto del punto crítico 1 o la etapa de grageado, el cual se observa en la Figura 18, Se consideraron los factores identificados en el diagrama de Ishikawa, siendo los de mayor relevancia los asociados a Métodos y Maquinas. Las variaciones en control de tiempos, lo cual se refiere a los tiempos de rociado y pausa del jarabe, en conjunto con la velocidad de rotación de la banda fueron los más reportados por parte del personal como principales fuentes de inestabilidad en la correcta cobertura del maní. Otros factores, como el tamaño de maní y humedad de la harina, también presentan un efecto sobre los resultados, más no pueden modificarse de forma directa, por lo que no se consideran como variables de ajuste en esta etapa.

Partiendo de la identificación de estos factores clave surge la propuesta de variar los parámetros de operación, principalmente el tiempo de rociado y la pausa entre ciclos, para determinar condiciones que reduzcan la variabilidad en el porcentaje de maní (m/m). Durante las pruebas realizadas para proponer las condiciones de operación se tomaron muestras en tres partes del equipo: Izquierda, Medio y Derecha, las cuales se pueden ver señaladas en la Figura 37. Este muestreo se realizó para evaluar la uniformidad del recubrimiento, tomando en cuenta que pueden existir diferencias dentro del equipo derivadas del flujo interno del tambor.

Para validar las condiciones de operación propuestas se realizaron pruebas con cada combinación planteada, lo cual se puede observar del Cuadro 60 hasta el Cuadro 70, obteniendo la menor variabilidad en los parámetros establecidos en el Cuadro 3. Cabe resaltar que, bajo los parámetros que se proponen, se utilizó la estrategia de iniciar el proceso a una velocidad de banda más baja ( $1200 \pm 1$  rpm) durante los primeros ciclos de recubrimiento. Posteriormente, se aumenta la velocidad hasta  $1500 \pm 1$  rpm, lo cual demostró ser efectivo para mejorar la homogeneidad del recubrimiento como se observa

en la Figura 19, Figura 20 y Figura 21. Al tener una menor velocidad en las etapas iniciales también se incrementa el tiempo de residencia en el equipo, favoreciendo una distribución más uniforme del jarabe sobre los maníes, lo cual también puede llevar a reducir la formación de desperfectos como Pegados.

Continuando con el punto crítico 2, la etapa de pulido, el análisis de causa y efecto mostrado en la figura permitió identificar como factores influyentes los relacionados a Máquinas y Métodos. La variabilidad que se presenta en el porcentaje de maníes Pegados se asocia principalmente a diferencias en la velocidad de rotación del tambor, la cual no permite que se separen, mientras que el defecto No cubierto se ve inducido por la fricción interna con la pared y varillas en el interior del tambor. Además, si bien se consideró que factores como la harina o concentración del jarabe podrían afectar la adherencia de la galleta, estos parámetros dependen de etapas previas y no pueden verse modificados directamente en este equipo.

Al igual que en la grageadora, se realizaron una serie de pruebas bajo distintas condiciones de operación, específicamente tiempo de residencia en la pulidora. Con base en el análisis experimental realizado, el cual se puede encontrar en el Cuadro 71 hasta el Cuadro 74, se observó que mantener una velocidad constante de rotación, junto con una reducción en el tiempo de residencia, se disminuye las irregularidades en el porcentaje de maní (m/m), como se observa en la Figura 23 bajo los parámetros del Cuadro 4. Este comportamiento se ve atribuido a que, al tener una menor duración en el equipo, se reduce el efecto de fricción tanto entre partículas como con las paredes del tambor.

Adicionalmente, se identificó que el control de calidad en esta etapa depende únicamente de inspección visual, la cual no puede realizarse correctamente al ser un tambor de acero inoxidable sin ninguna mirilla o apertura extra para monitoreo. Esto genera un alto grado de subjetividad, además de la imposibilidad de detectar en tiempo real los defectos que se generen. Por esta razón, se planteó la propuesta de implementar un sensor acústico de vibración a la salida del tambor, que permita identificar el patrón sonoro característico del producto cuando el recubrimiento está correctamente adherido o, por el contrario, cuando existe exceso de humedad o maníes pegados. Basándose en estudios como el de Bruwer et al. (2006), este tipo de monitoreo permitiría ajustar la velocidad o el tiempo de residencia automáticamente, reduciendo la intervención manual y mejorando la estabilidad del proceso.

El sistema de detección se basará en registrar como suena o vibra el maní al caer sobre una placa metálica con ayuda de un acelerómetro PCB 603C01 que se posicionará por debajo de esta. Al tener una sensibilidad bastante alta a los sonidos, el acelerómetro puede después convertir estas ondas sonoras en señales eléctricas analógicas, que después serán recibidas por la fuente de alimentación IEPE. Finalmente, el conjunto del módulo NI-9234 y chasis NI cDAQ-9174 funcionarán como el cerebro de la operación y convertirán las señales analógicas que se reciben en datos digitales que ya se pueden leer en una computadora.

El costo de todos los elementos previamente mencionados asciende a un aproximado de USD 2,180.00, como se aprecia en la cotización que se encuentra en el Cuadro 5. Si bien la inversión es considerablemente elevada en comparación con otros sistemas de detección más simples, se puede justificar por su alta precisión y confiabilidad. Al depender de las vibraciones del producto al caer se puede obtener datos en tiempo real a la salida de la pulidora, lo cual permite ajustar parámetros en el momento, y se puede calibrar de acuerdo con las necesidades del proceso con maníes que se consideren dentro de los parámetros. Asimismo, si se tuvieran aglomeraciones, se puede colocar un separador por vibración después del sensor sin llegar a interrumpir la recolección de datos. A pesar de que no se puede realizar una validación de esta propuesta porque no se ha realizado la compra de todas las partes, la variabilidad en los muestreos respalda su implementación. Además, su integración con los sistemas existentes facilitaría la visualización continua de los datos y la activación de alarmas automáticas cuando se detecten desviaciones en el patrón de vibración, asegurando así un control estadístico del proceso en tiempo real.

Pasando a la siguiente etapa crítica, se analizó en conjunto el tambor y bomba de saborizante. Durante el diagnóstico, se destacó que en este proceso existía una alta variabilidad en el porcentaje de sal, siendo una de las principales causas de incumplimiento de parámetros de calidad en el producto final. Con ayuda del análisis de causa y efecto, Figura 24, se pudo encontrar que la raíz del problema eran principalmente inconsistencias en el flujo de la bomba y la facilidad de ajuste que tenía el controlador de velocidad de esta. Además, la atomización irregular del líquido provocaba acumulaciones en ciertas zonas del tambor y un recubrimiento desigual entre los granos de maní.

Inicialmente se trató de abordar el problema realizando pruebas de ajuste a los límites permisibles, ya que Los límites anteriores, 0.82% para el inferior y 0.96% para el superior, no englobaban por completo los resultados que se obtenían en los muestreos, como se puede apreciar en la Figura 17. Al emplear las ecuaciones de Límite de Control Superior (UCL) y Límite de Control Inferior (LCL), se obtuvo como nuevo rango de operación 0.50% en el límite inferior y 0.84% en el superior, siendo un mejor ajuste para los datos reales como se observa en la Figura 25. Sin embargo, al realizar un análisis de capacidad del proceso (Cuadro 6) los valores de  $C_p = 0.804$ ,  $C_{pk} = 0.565$  y  $C_{pm} = 0.565$  demuestran que el proceso aun no es capaz de mantenerse de forma estable dentro de los límites establecidos, teniendo una variabilidad aún.

Al tener estos resultados, se regresó al análisis de causa y efecto para tratar el problema desde otro ángulo, por lo que se optó por proponer modificaciones en los parámetros de operación de la bomba y tambor de sazón, ya que estos influyen directamente en el flujo y distribución del saborizante. en conjunto con el departamento de Taller se buscaron maneras de reemplazar la bomba peristáltica que se encargaba de la alimentación del saborizante al tambor rotatorio de salsa debido a que el controlador de la bomba tenía un rango demasiado amplio y podía ser manipulado con facilidad. Además, la densidad de la salsa ocasionaba fallas recurrentes en el equipo al no poder bombear el fluido con la velocidad necesaria, o los sólidos no disueltos llegaban a ocasionar taponamientos. La solución acordada fue la implementación de un controlador de

velocidad en conjunto con una bomba de desplazamiento positivo de tipo cavidad progresiva, de manera que los operarios solo tendrían la posibilidad de manipular la velocidad entre un nivel 1 y 8.

Al implementar este equipo, se notó en las pruebas iniciales que los niveles del 1 al 4 no llegaban a recubrir adecuadamente todos los maníes del lote, mientras que con el nivel 8 se saturaba en exceso el producto y se necesitaba pasar demasiado tiempo en la banda secadora, llevando a que se juntaran dos lotes en la banda y ninguno de los dos terminara de secarse bien. Partiendo de esto, se realizaron evaluaciones únicamente de los niveles 5, 6 y 7, midiendo grados Brix de la salsa, porcentaje de sal, humedad y los 5 aspectos del análisis sensorial (Apariencia, Textura, Olor, Sabor y Color), datos que se encuentran en el Cuadro 76 hasta Cuadro 79. Como se observa en la Figura 26, operando en un nivel 7, el cual equivale a 13 rpm o  $12.69 \pm 1.437$  L/h según las conversiones del Cuadro 34, el porcentaje de sal se mantiene dentro de los límites establecidos de porcentaje de sal.

En la misma línea, se elaboró una comparación sensorial entre el nivel 5, 6 y 7 teniendo una escala de 1 a 5, donde 5 es el mejor, lo cual se muestra de forma radial en la Figura 27. Para el nivel 7, las calificaciones fueron en promedio de 4.58 en Apariencia, 5 para Textura, 4.73 en Olor, 4.57 en Sabor y 4.65 en Color, las cuales pueden encontrarse del Cuadro 48. Cabe destacar que el análisis sensorial fue realizado por auxiliares de laboratorio de Control de Calidad y los operadores de la línea de producción, ya que son los que estaban más familiarizados con el producto y podían distinguir las ligeras diferencias entre cada nivel.

Finalmente, en el análisis de causa y efecto para la banda de secado, el punto crítico 4, se identificó en la Figura 28 que las categorías de Máquinas y Métodos presentan la mayor influencia sobre la variabilidad de la humedad. En Máquinas, se evidenció la ausencia de sensores en línea de humedad o temperatura, lo cual obliga a realizar ajustes manuales, mientras que en Métodos se observó que no existe una relación estandarizada entre dichos parámetros, generando inconsistencias en el secado de distintos lotes.

Asimismo, en la categoría de Materiales, se determinó que los cambios realizados en etapas anteriores, como lo es la dosificación del saborizante, modifican la humedad inicial del producto que ingresa a la banda de secado. Esto lleva a que se proponga ajustar los parámetros de operación de la banda de secado con el objetivo de mantener la humedad dentro de los límites permisibles ( $UCL = 2.50\%$  y  $LCL = 1.20\%$ ).

Al igual que en las otras propuestas de parámetros, se realizaron variaciones en las condiciones de operación, principalmente en el tiempo de residencia, para evaluar su efecto en la humedad del producto final. Como se aprecia en la Figura 51 y Figura 52, con tiempos de residencia más cortos la humedad permanecía por encima del rango aceptado, lo que podría afectar la vida útil del producto. Por otro lado, tiempos excesivos generaban acumulación de producto dentro del equipo y un secado no uniforme. El tiempo de  $600 \pm 0.01$  s, junto con las condiciones operativas de velocidad de banda de  $10 \pm 1$  rpm, velocidad de ventiladores de  $60 \pm 1$  rpm y velocidad de extractor de vapores de  $60 \pm 1$  rpm (Cuadro

8), resultó en un equilibrio adecuado para la operación, manteniendo una humedad estable y homogénea dentro de los límites de control establecidos, como se aprecia en la Figura 29

En el caso del horno no se realizaron propuestas de mejora adicionales ya que este equipo ajusta automáticamente la temperatura en función del flujo másico del producto que ingresa. De las propuestas planteadas, se lograron realizar pruebas con todas exceptuando la instalación del sensor acústico, cuya implementación se recomienda para futuros estudios. Posteriormente, con el fin de comparar el desempeño del proceso después de aplicar las mejoras, se realizaron balances de masa para evaluar el rendimiento global de la línea, tomando datos durante un período de seis horas, que corresponde al tiempo promedio necesario para terminarse un jumbo de maní crudo.

Empezando por las entradas de la grageadora, Cuadro 9, se nota que se utilizó una mayor cantidad de maní después de las mejoras,  $974.3 \pm 0.025$  kg en vez de  $720 \pm 0.025$  kg, como resultado directo del ajuste de parámetros en el equipo ya que se puede recubrir una mayor cantidad de maní por lotes. Sin embargo, también se puede apreciar que se tiene una mayor cantidad de desperdicio después de la implementación ( $61.62 \pm 0.025$  kg) en comparación con el proceso anterior ( $26.29 \pm 0.025$  kg), que en su mayoría es harina. Aunque no se tiene un procedimiento establecido para poder remover la humedad remanente en este polvo, sería bueno considerarlo para reducir la cantidad de desperdicio en la línea.

Pasando a la pulidora, Cuadro 10, se tienen valores similares en las entradas antes ( $1891.71 \pm 0.025$  kg) y después ( $1857.68 \pm 0.025$  kg) de la implementación, debiéndose en su mayoría al subproducto obtenido en la etapa anterior. Es en las salidas que se puede notar la diferencia en el proceso, principalmente en el desperdicio, ya que hubo una reducción significativa de  $102.34 \pm 0.025$  kg hasta  $14.05 \pm 0.025$  kg. En esta etapa del proceso, al igual que en la grageadora, el principal desperdicio es la harina recuperada a la salida del equipo, pero en el proceso mejorado la disminución en el polvo se atribuye a las condiciones de operación de la pulidora, resultando en una operación más eficiente con menor generación de finos y pegados.

En cuanto al horno, Cuadro 11, se logró una mayor entrada de maní después de las mejoras ( $1843.63 \pm 0.025$  kg) comparado con el proceso anterior ( $1789.37 \pm 0.025$  kg) como consecuencia de la reducción de pegados por las condiciones de operación en el equipo anterior. Ya que no se realizaron los balances durante el arranque de la línea, no se tiene ningún desperdicio en forma de maníes llenos de hollín considerados, pero la falta de espacio para poder limpiar el horno lleva a que siempre se tenga un 10% de hollín al inicio como consecuencia del diseño. Además, al estar trabajando a temperaturas por encima del punto de ebullición del agua ( $190-200 \pm 1^\circ$  C), se asume que todo el jarabe se evapora en el proceso, pero no se consideran las posibles pérdidas térmicas.

Pasando al tambor rotatorio en donde se añade el saborizante, Cuadro 12, la principal diferencia que se nota a primera vista es la cantidad de saborizante utilizada. Mientras que, en el proceso anterior, la bomba peristáltica requería más jarabe por los bloqueos en sus tuberías y pérdidas de presión ( $65 \pm 0.025$  kg), mientras que con la bomba

de cavidad progresiva y un control más riguroso sobre los cambios que se realizan en la línea se utiliza una cantidad menor de sabor ( $37.5 \pm 0.025$  kg), manteniendo sus propiedades organolépticas y el porcentaje de sal en el producto final.

Por último en la banda secadora, Cuadro 13, mientras que antes entraban solamente  $1452 \pm 0.025$  kg de maní y se tenía una merma de  $55 \pm 0.025$  kg, lo cual lleva a un rendimiento de  $87.60 \pm 0.0021\%$  (m/m), después de la implementación de mejoras se puede apreciar que la cantidad que entra a la banda de secado aumenta a  $1674.63 \pm 0.025$  kg y la merma de maní húmedo se reduce a  $24.98 \pm 0.025$  kg, consecuentemente aumentando el rendimiento del proceso hasta  $93.90 \pm 0.0019\%$  (m/m). Este incremento en el rendimiento, Cuadro 14, se alinea con mejoras en la productividad y en el tiempo de ciclo global del sistema, optimizando el flujo de producción (Waseem *et al.*, 2021).

En lo que respecta al análisis sensorial, su relevancia radica en la percepción del cliente y cómo esta afecta el momento de tomar la decisión de compra. Las mejoras propuestas no solo buscaban mejorar el proceso, sino también lograr que el producto final cumpliera con los criterios de calidad sensorial. Con el fin de medir el impacto que tuvieron los cambios, se llevó a cabo un análisis comparativo sensorial antes y después de las mejoras. Se seleccionó aleatoriamente a 50 panelistas en el comedor de la empresa, utilizando la metodología que establece la norma ISO 11136 (2014).

Los parámetros de Textura y Sabor se analizaron utilizando una escala de 1 a 5, en la que 5 es la puntuación más alta. Las otras propiedades organolépticas no fueron analizadas, ya que en el caso de Olor no se registraron variaciones notables, mientras que el Color y la Apariencia eran lo suficientemente distintos que el público podía distinguir fácilmente cual era la muestra con mejoras. Como se observa en la Figura 31, el producto mejorado mostró un color más uniforme y anaranjado, con menos maníes adheridos y una cobertura más redondeada, a diferencia del producto anterior, Figura 30, que tenía un tono más oscuro y varios defectos en la superficie, como orificios o irregularidades.

Como se observa en la Figura 32, donde la línea verde representa los resultados del sensorial antes de las mejoras y la naranja después de las mejoras, la puntuación del Sabor sube considerablemente en las muestras que poseen la implementación de las mejoras. El valor pasa específicamente de un promedio de 4.52 hasta 4.79, lo cual puede no parecer una diferencia significativa en primera instancia, pero representa una mejora en cuanto a la percepción del consumidor. En términos de calificaciones, que se observan en el Cuadro 15 y Cuadro 16, la máxima puntuación pasó de ser la calificación que dieron el 58% de los panelistas (28 personas) a llegar a un 78% (39 personas).

Por otro lado, en la textura se pasó de un valor promedio de 4.78 hasta alcanzar un 4.88, lo que representa una diferencia menor en comparación con las calificaciones obtenidas para el atributo de Sabor, según se detalla Cuadro 57. Reflejándose esto en porcentajes, se pasó de un valor inicial de 82% (41 personas) hasta un 90% de aceptación (45 personas) después de implementar las mejoras. Con base en los resultados obtenidos en la comparación sensorial, se puede determinar que la aceptación de los consumidores se eleva con las mejoras implementadas al proceso.

## IX. CONCLUSIONES

- Se realizó un diagnóstico integral del proceso de fabricación de maní japonés a través de un balance de masa inicial y muestreos periódicos a lo largo de las etapas del proceso. A partir de estos resultados, se identificaron cuatro puntos críticos en el proceso sobre los cuales proponer mejoras: (1) Grageadora, (2) Pulidora, (3) Tambor y bomba de sabor y (4) Banda de secado.
- Con base en el análisis de causa y efecto en cada uno de los puntos críticos del proceso, siguiendo la metodología de las 6Ms, se propuso un ajuste de los parámetros del proceso para la grageadora con un conjunto de dos etapas con 15 ciclos, 3 en la primera etapa y 12 en la segunda; en la pulidora, se planteó un tiempo de residencia de  $600 \pm 0.01$  s y la implementación de un sensor acústico para detectar Pegados y corregir parámetros en línea; con base en los análisis sensoriales y de capacidad de proceso, se propone que la velocidad de bomba de saborizante deberá mantenerse en un nivel 7, lo cual se traduce a una dispersión de  $12.69 \pm 1.4$  L/h; y en la banda de secado se procura mantener un tiempo de residencia de  $600 \pm 0.01$  s.
- Se emplearon balances de masa para comprobar el impacto de las propuestas ligadas a modificaciones de parámetros de operación, en donde se mejoró el rendimiento del proceso de  $87.60 \pm 0.0021\%$  (m/m) a  $93.90 \pm 0.0019\%$  (m/m), más se detectó que hubo un aumento en el desperdicio de la grageadora después de la implementación ( $61.62 \pm 0.025$  kg) en comparación con el proceso anterior ( $26.29 \pm 0.025$  kg) asociado a la mayor capacidad de carga y producción por lote derivada del ajuste de parámetros.
- Se compararon los resultados de análisis sensorial del producto terminado antes y después de la prueba con la implementación de las mejoras propuestas, donde se evidencia un aumento al 78% en la mejor calificación del público en términos de sabor al contar con las mejoras, comparado con el 56% inicial. Asimismo, en la textura aumento de 82% hasta alcanzar un 90% en la máxima puntuación de la escala, demostrando que los cambios impactaron positivamente en las propiedades organolépticas del producto final.

## X. RECOMENDACIONES

- Implementar y evaluar el desempeño del sensor acústico propuesto, ajustando en tiempo real los parámetros del proceso según sus lecturas, para automatizar la detección de maníes defectuosos y mejorar en tiempo real la calidad del producto.
- Analizar la capacidad del proceso en las etapas críticas de producción del maní japonés mediante estudios adicionales de variabilidad y control estadístico, con el fin de alcanzar valores de  $C_p$  y  $C_{pk}$  que garanticen un proceso estable.
- Validar las operaciones, el proceso productivo y el desempeño de operadores de la línea de maní japonés ante la implementación de cambios operativos o la incorporación de nuevos sensores, mediante pruebas de funcionamiento, análisis comparativo de resultados y seguimiento de parámetros críticos, con el fin de asegurar que la calidad del producto no se vea afectada.
- Desarrollar la documentación necesaria para validar los procesos y los cambios realizados en la línea de maní japonés por medio de la elaboración de registros y procedimientos claros, con el fin de asegurar el control del proceso, la trazabilidad de la información y el cumplimiento de los parámetros de calidad.
- Evaluar la reproducibilidad de los resultados de este estudio en la producción de maní japonés picante y limón bajo las condiciones de operación propuestas para lograr estandarizar la línea de fabricación de maní japonés.
- Analizar la implementación de una metodología de mejora continua, como Lean Six Sigma, en la empresa mediante la capacitación de equipos y ejecución de pruebas piloto para propiciar mejoras de manera sostenida.
- Establecer un sistema de análisis estadístico que genere reportes mensuales del comportamiento de los puntos críticos de control, con el objetivo de monitorear de forma objetiva la estabilidad del proceso y facilitar la toma de decisiones correctivas.
- Realizar pruebas de humedad, microbiología y granulometría a la harina residual, identificada como el mayor subproducto, para determinar si es viable su reutilización en el proceso o, en su defecto, evaluar alternativas para su valorización o disposición final.

## XI. BIBLIOGRAFÍA

- Alli, I. (2003). *Food quality assurance: Principles and Practices*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780203484883>
- Álvarez, R. G., García, A. B., Morffi, A. B. G., & Mendieta, J. F. M. (2022). Stability assessment and process capability analysis in a food pasta company. *Visión de Futuro*, 231. <https://doi.org/10.36995/j.visiondefuturo.2021.26.01.006.en>
- Amaral, E. A., Santos, L. M., Costa, E. V. S., Trugilho, P. F., & Hein, P. R. G. (2020). Estimation of moisture in wood chips by Near Infrared Spectroscopy. *Maderas Ciencia Y Tecnología*. <https://doi.org/10.4067/s0718-221x2020005000304>
- American Society Of Heating Refrigerating And Air-Conditioning [ASHRAE]. (2002). *2002 ASHRAE Handbook: Refrigeration* (S.I.). <https://consultancyengineering.com/wp-content/uploads/2023/12/CH-08-Thermal-Properties-of-Foods.pdf>
- Andersen, V., Lelieveld, H., & Motarjemi, Y. (2023). *Food safety management: A Practical Guide for the Food Industry*. Elsevier.
- Anderson, D. (2011). *Estadística para negocios y economía (11a. ed.)*. Cengage Learning.
- AOAC International, Horwitz, W., & Latimer, G. W. (2007). *Official Methods of Analysis of AOAC International*. AOAC International.
- Arvanitoyannis, I. (2009). *HACCP and ISO 22000*. En Wiley eBooks (1.a ed.). <https://doi.org/10.1002/9781444320923>
- Bruwer, M., MacGregor, J. F., & Bourg, W. M. (2006). Soft Sensor for Snack Food Textural Properties Using On-Line Vibrational Measurements. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 46(3), 864-870. <https://doi.org/10.1021/ie060832r>
- Codex Alimentarius Commission. (2003). Hazard Analysis Critical Control Point (HACCP) system and guidelines for its application. *CAC/RCP 1-1969*.
- Dart Controls. (2023, Mayo 4). *Operation Manuals | DART Controls. Dart Controls | Speed Controls for AC, DC, and BLDC Motors Made in the USA*. <https://www.dartcontrols.com/support-resources/operation-manuals/>
- Demetgül, M., Zheng, Q., Tansel, I.N. et al. (2023). Monitoring the misalignment of machine tools with autoencoders after they are trained with transfer learning data. *Int J Adv Manuf Technol* 128, 3357–3373 <https://doi.org/10.1007/s00170-023-12060-2>
- Deming, W. E. (2018). *Out of the Crisis*. MIT Press.

- Devore, J. L. (2010). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias* (7.<sup>a</sup> ed.). Cengage
- Doran, P. M. (1995). Energy balances. *In Elsevier eBooks* (pp. 86–109). <https://doi.org/10.1016/b978-012220855-3/50005-5>Learning.
- Doran, P. M. (1995). Material balances. *In Elsevier eBooks* (pp. 51–85). <https://doi.org/10.1016/b978-012220855-3/50004-3>
- Dötsch, M., Busch, J., Batenburg, M., Liem, G., Tareilus, E., Mueller, R., & Meijer, G. (2009). Strategies to Reduce Sodium Consumption: A Food Industry Perspective. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 49(10), 841-851. <https://doi.org/10.1080/10408390903044297>
- Euromonitor International. (2025, Septiembre 26). Global snack market reaches USD 693 billion in retail sales - Euromonitor.com. Euromonitor. <https://www.euromonitor.com/newsroom/press-releases/september-2025/global-snack-market-reaches-usd-693-billion-in-retail-sales>
- Evans, J. R., & Lindsay, W. M. (2019). *Managing for Quality and Performance Excellence* (11th ed.). Cengage Learning.
- Faergemand, J. & Jespersen, D. (2004) ISO 22000 to ensure integrity of food supply chain. *ISO Management Systems*, September–October 21–24. [https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/archive/pdf/en/tool\\_5-04.pdf](https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/archive/pdf/en/tool_5-04.pdf)
- Felder, R. M., & Rousseau, R. W. (2003). *Principios elementales de los procesos químicos*. Editorial Limusa S.A. De C.V.
- FDA. (2021). *Sodium in your diet*. <https://www.fda.gov/food/nutrition-education-resources-materials/sodium-your-diet>
- GmbH, B. (2025, Febrero 26). *ONIXline*. Börger GmbH. <https://www.boerger.com/es/productos/bombas-lobulares-rotativas/onixline>
- Gil, L., Ruiz, P., Escrivá, L., Font, G., & Manyes, L. (2017). A decade of Food Safety Management System based on ISO 22000: a global overview. *Revista de Toxicología*, 34(2), 84-93. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6237740>
- Green, D. W., & Southard, M. Z. (2018). *Perry's Chemical Engineers' Handbook*, 9th Edition. McGraw Hill Professional.
- Hall, S. (2012). Process evaluation. *In Elsevier eBooks* (pp. 280–299). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-387785-7.00017-7>

- Hartel, R. W., & Heldman, D. R. (2012). *Principles of Food Processing*. Springer Science & Business Media.
- Heiberger, R. M., & Neuwirth, E. (2009). One-Way ANOVA. *Springer eBooks* (pp. 165–191). [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0052-4\\_7](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0052-4_7)
- Hejnaes, K. R., & Ransohoff, T. C. (2018). Chemistry, Manufacture and Control. En *Elsevier eBooks* (pp. 1105-1136). <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100623-8.00050-5>
- Holmes, J., Russell, G., & Allen, J. (2013). Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) and related systems for automated process control in the food industry: an introduction. En *Elsevier eBooks* (pp. 130-142). <https://doi.org/10.1533/9780857095763.1.130>
- International Organization for Standardization [ISO]. (2014). *ISO 11136:2014(en), Sensory analysis — Methodology — General guidance for conducting hedonic tests with consumers in a controlled area*. International Organization for Standardization. <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:11136:ed-1:v1:en>
- Ishikawa, K. (2013). *What Is Total Quality Control? The Japanese Way*. Prentice Hall.
- Jackson, S. (2007). 6.1.3 System Resilience: Capabilities, Culture, and Infrastructure. *INCOSE International Symposium*, 17(1), 885–899. <https://doi.org/10.1002/j.2334-5837.2007.tb02920.x>
- Jain, V., & Gupta, K. (2005). FOOD AND NUTRITIONAL ANALYSIS | Overview. En *Elsevier eBooks* (pp. 202-211). <https://doi.org/10.1016/b0-12-369397-7/00175-8>
- Jaywant, S. A., Singh, H., & Arif, K. M. (2022). Sensors and Instruments for Brix Measurement: A Review. *Sensors*, 22(6), 2290. <https://doi.org/10.3390/s22062290>
- Juran, J. M. (2016). *Juran's Quality Handbook* (7th ed.). McGraw-Hill Education.
- Kemp, S. E., Hollowood, T., & Hort, J. (2009). *Sensory evaluation: A Practical Handbook*. Wiley-Blackwell.
- Kostyszyn, K. N., Brandstätter, T. C., Vollmer, T., & Schmitt, R. (2021). Statistical testing for sufficient control chart performances during monitoring of grouped processes. *Quality and Reliability Engineering International*, 37(6), 2555–2567. <https://doi.org/10.1002/qre.2875>
- Laplante, P. A., & Ovaska, S. J. (2011). *Real-Time Systems Design and Analysis: Tools for the Practitioner*. John Wiley and Sons.
- Lawless, H. T., & Heymann, H. (2010). *Sensory Evaluation of Food: Principles and Practices* (2nd ed.). Springer.

- Li, X., Zhang, Y., & Wang, H. (2010). *Method for preparing flour-coated peanuts* [Método para preparar maní recubierto de harina]. Chinese Patent Office. Patente No. CN101816445B. <https://patents.google.com/patent/CN101816445B/en>
- Liliana, L. (2016). A new model of Ishikawa diagram for quality assessment. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*, 161, 012099. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/161/1/012099>
- López-Calvo, I. (2015). Looking Like the Enemy: Japanese Mexicans, the Mexican State, and US Hegemony, 1897–1945. *History Reviews of New Books*, 44(1), 25–26. <https://doi.org/10.1080/03612759.2016.1084842>
- Martínez, C.-. M. (2022, 2 septiembre). *Los cacahuates japoneses tienen su origen en el barrio de La Merced*. Chilango. <https://www.chilango.com/agenda/otros/los-cacahuates-japoneses-tienen-su-origen-en-el-barrio-de-la-merced/>
- Meilgaard, M., Civille, G. V., & Carr, B. T. (2016). *Sensory Evaluation Techniques* (5th ed.). CRC Press.
- Metrohm. (2021, November 14). *916 Ti-Touch con agitador magnético*. [https://www.metrohm.com/es\\_es/products/2/9160/29160020.html](https://www.metrohm.com/es_es/products/2/9160/29160020.html)
- Montgomery, D. C. (2020). *Introduction to Statistical Quality Control* (8th ed.). Wiley.
- Montgomery, D. C., Keats, J. B., Perry, L. A., Thompson, J. R., & Messina, W. S. (2000). Using statistically designed experiments for process development and improvement: an application in electronics manufacturing. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 16(1), 55–63. [https://doi.org/10.1016/s0736-5845\(99\)00057-5](https://doi.org/10.1016/s0736-5845(99)00057-5)
- Moran, S. (2019). Process plant design deliverables. In *Elsevier eBooks* (pp. 39–62). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-814860-0.00004-5>
- National Instruments [NI]. (2023, February 16). *CDAQ-9174 Specifications - NI*. National Instruments. <https://www.ni.com/docs/en-US/bundle/cdaq-9174-specs/page/specs.html>
- National Instruments [NI]. (2023, February 17). *NI-9234 Specifications - NI*. National Instruments. <https://www.ni.com/docs/en-US/bundle/ni-9234-specs/page/specs.html>
- Nguyen, T. (2017). Control Charts for X-bar based on R. *ResearchGate*. [https://www.researchgate.net/publication/313636387\\_Control\\_Charts\\_for\\_xbar\\_based\\_on\\_R](https://www.researchgate.net/publication/313636387_Control_Charts_for_xbar_based_on_R)
- Nihei, M. (2018). Becoming a Japonés in a Foreign Land: The Case of Yoshihei Nakatani. *Japanese Studies*, 38(2), 169–187. <https://doi.org/10.1080/10371397.2018.1491272>

- OHAUS. (2024). *Defender 3000 Bench Scales (D31P) Datasheet US 80774284\_J*. Retrieved May 10, 2025, from <https://dmx.ohaus.com/WorkArea/showcontent.aspx?id=6182>
- OHAUS. (2017). *Instruction Manual Scout SJX EN ES FR DE IT 30269040 K*. <https://dmx.ohaus.com/WorkArea/showcontent.aspx?id=4294972942>
- OHAUS. (2017). *MB120 Datasheet US 80774987\_E*. <https://dmx.ohaus.com/WorkArea/showcontent.aspx?id=4294975903>
- Ortiz Guerrero, D. M. (2014). *Sistema Automatizado Para El Control De Flujo De Trigo En Las Tolvas De La Empresa Molinos Miraflores S.A.* [Tesis, Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/server/api/core/bitstreams/81666723-e300-4f9e-9b83-85e56ce5ff88/content>
- Paz, F. (2020). *ZAZU : puro maní premium* [Tesis, Universidad de San Andrés. Escuela de Negocios; Argentina.]. <http://hdl.handle.net/10908/17290>
- PCB Piezotronics. (2010). *Model 603C01 | PCB Piezotronics (es)*. [https://www.pcb.com/es/productos?utm\\_source=chatgpt.com&m=603c01](https://www.pcb.com/es/productos?utm_source=chatgpt.com&m=603c01)
- PCB Piezotronics. (2011). *Model 482C05 | PCB Piezotronics*. <https://www.pcb.com/products?m=482c05>
- Peanut Collaborative Research Support Program. (2007). *Peanut Confections and Snacks*. United States Agency for International Development (USAID). [https://pdf.usaid.gov/pdf\\_docs/PNADJ365.pdf](https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNADJ365.pdf)
- Peralta Villalba, B. (2022). *Determinación del perfil sensorial, estabilidad de atributos y preferencia en consumidor, de 2 Propuestas mejoradas del Sazonador Limón frente a un competidor nacional, aplicados a un snack de papa freída en Comestibles ricos S.A en Bogotá* [Tesis de Licenciatura, Universidad nacional abierta y a distancia UNAD]. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/49176/Blperaltav.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pulido-Rojano, A. D., & Bocanegra-Bustamante, C. A. (2015). Mitigación de defectos en productos manufacturados. *Ingeniería Y Competitividad*, 17(1), 161–172. <https://doi.org/10.25100/iyc.v17i1.2211>
- Pyzdek, T., & Keller, P. (2018). *The Six Sigma Handbook* (5th ed.). McGraw-Hill Education.
- Ryan, R. (2014). Safety of Food and Beverages: Soft Drinks and Fruit Juices. En *Elsevier eBooks* (pp. 360-363). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-378612-8.00296-1>
- Ryan, T. P. (2011). *Statistical Methods for Quality Improvement* (3rd ed.). Wiley.

- Sadiku, M. N. O., Musa, S. M., & Ashaolu, T. J. (2019). Food Industry: An Introduction. *International Journal of Trend in Scientific Research and Development*, Volume-3(Issue-4), 128-130. <https://doi.org/10.31142/ijtsrd23638>
- Sarkisyan, V., Bessonov, V., & Kochetkova, A. (2016). Raw materials analysis and quality control. In *Elsevier eBooks* (pp. 195–211). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-802780-6.00011-0>
- Seo, H., Lee, M., Jung, Y., & Hwang, I. (2009). A novel method of descriptive analysis on hot brewed coffee: time scanning descriptive analysis. *European Food Research and Technology*, 228(6), 931–938. <https://doi.org/10.1007/s00217-009-1006-3>
- Sikora, T. (2005). METHODS AND SYSTEMS OF FOOD QUALITY AND SAFETY ASSURANCE. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 55(1s), 41-48. <https://journal.pan.olsztyn.pl/METHODS-AND-SYSTEMS-OF-FOOD-QUALITY-AND-SAFETY-ASSURANCE,98647,0,2.html>
- Slack, N., Chambers, S., & Johnston, R. (2019). *Operations Management* (9th ed.). Pearson.
- Smith, J. M., Abbott, M. M., & Van Ness, H. C. (2007). *Introducción a la Termodinámica en Ingeniería Química*. McGraw-Hill Education.
- Statista. (2025). Snack Food - Guatemala | Statista market forecast. <https://www.statista.com/outlook/emo/food/confectionery-snacks/guatemala>
- Stijepovic, M. Z., & Linke, P. (2011). Optimal waste heat recovery and reuse in industrial zones. *Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.04.048>
- Stone, H., Bleibaum, R. N., & Thomas, H. A. (2012). *Sensory Evaluation Practices* (4<sup>th</sup> ed.). Academic Press.
- Sverko, M., Grbac, T. G., & Mikuc, M. (2022). SCADA Systems with Focus on Continuous Manufacturing and Steel Industry: A Survey on Architectures, Standards, Challenges, and Industry 5.0. *IEEE Access*, 10, 109395-109430. <https://doi.org/10.1109/access.2022.3211288>
- Taguchi, G. (2010). *Introduction to Quality Engineering*. Asian Productivity Organization.
- Von Ahn Saragó, V. A. S. F. (2022). *Identificación de los impulsores de la aceptación sensorial e intención de compra de snacks en consumidores guatemaltecos*. [Tesis, Universidad del Valle de Guatemala]. <https://repositorio.uvg.edu.gt/xmlui/handle/123456789/4715>
- Wallace, C. (2014). Food Safety Assurance Systems: Hazard Analysis and Critical Control Point System (HACCP): Principles and Practice. *En Elsevier eBooks* (pp. 226-239). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-378612-8.00358-9>

- Waseem, M., Ghani, U., Habib, T., Noor, S., & Khan, T. (2021). Productivity enhancement at molding compound manufacturing plant by applying time and motion analysis. *Mehran University Research Journal of Engineering and Technology*, 40(4), 761–774. <https://doi.org/10.22581/muet1982.2104.07>
- WEG. (2019). *W22 NEMA Premium Efficiency 15 HP 2P 254T 3F 230/460//380 V 60//50 Hz IC411 – TEFC – Con pies | W22 | W22 | TEFC Hierro Gris | Uso General | Motor de Inducción – NEMA | Motores Eléctricos | WEG – Productos.* <https://www.weg.net/catalog/weg/US/es/Motores-El%C3%A9ctricos/Motor-de-Inducc%C3%ADon---NEMA/Usa-General-/TEFC-Hierro-Gris/W22/W22-/W22-NEMA-Premium-Efficiency-15-HP-2P-254T-3F-230-460-380-V-60-50-Hz-IC411---TEFC---Con-pies/p/11437963>
- Wilkinson, K. (2023, 1 Agosto). *The Impact of Humidity on Food – PM Instrumentation.* <https://www.pminstrumentation.co.za/the-impact-of-humidity-on-food/?srsltid=AfmBOoqHVv8ZITwTTgFfEdRQXrJKzWR1KBiCbDUZUrVnbBIOLbYbREVL>
- Wooluru, Y., & Swamy, D. R. (2014). *The process capability analysis - A tool for process performance measures and metrics - A case study.* ResearchGate. [https://www.researchgate.net/publication/267512995\\_The\\_process\\_capability\\_analysis\\_-\\_A\\_tool\\_for\\_process\\_performance\\_measures\\_and\\_metrics\\_-\\_A\\_case\\_study](https://www.researchgate.net/publication/267512995_The_process_capability_analysis_-_A_tool_for_process_performance_measures_and_metrics_-_A_case_study)
- Wong, K. C., Woo, K. Z., & Woo, K. H. (2016). *Ishikawa Diagram.* In Springer eBooks (pp. 119–132). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-26209-3\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-319-26209-3_9)
- World Health Organization: WHO. (2023, 9 Marzo). *Massive efforts needed to reduce salt intake and protect lives.* World Health Organization. <https://www.who.int/news/item/09-03-2023-massive-efforts-needed-to-reduce-salt-intake-and-protect-lives>
- Yang, S. (2013). Using a single average loss control chart to monitor process mean and variability. *Communications in Statistics - Simulation and Computation*, 42(7), 1549–1562. <https://doi.org/10.1080/03610918.2012.667478>
- Zhang, P. (2010). Industrial control systems. En *Elsevier eBooks* (pp. 3-40). <https://doi.org/10.1016/b978-1-4377-7807-6.10001-4>
- Zhang, S., & Wu, Z. (2005). Designs of control charts with supplementary runs rules. *Computers & Industrial Engineering*, 49(1), 76–97. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2005.02.002>

## XII. ANEXOS

### 12.1 Datos de placa

*Cuadro 17. Datos de placa balanza de mesa*

<b>Balanza de mesa Defender 3000</b>	
<b>Marca</b>	OHAUS
<b>Modelo</b>	Defender Series 3000
<b>Capacidad máxima</b>	150 kg
<b>Lectura mínima (certificada)</b>	50 g
<b>Incertidumbre</b>	± 0.025 kg
<b>Dimensiones (alto, ancho, profundidad)</b>	920 × 740 × 500 mm
<b>Alimentación eléctrica</b>	100-240 VCC, 50-60 Hz

Nota. OHAUS, 2024.

El Cuadro 17 presenta los datos para la balanza de mesa Defender 3000, utilizada para los balances de masa experimentales.

*Cuadro 18. Datos de placa báscula portátil*

<b>Báscula portátil SJX6201</b>	
<b>Marca</b>	OHAUS
<b>Modelo</b>	Defender Series 3000
<b>Capacidad máxima</b>	6200 g
<b>Lectura mínima (certificada)</b>	0.4 g
<b>Incertidumbre</b>	± 0.2 g
<b>Dimensiones (alto, ancho, profundidad)</b>	54 × 224 × 202 mm
<b>Alimentación eléctrica</b>	120 V, 50-60 Hz

Nota. OHAUS, 2017.

El Cuadro 18 presenta los datos para la báscula portátil utilizada para determinar las masas del maní, las cuales posteriormente se usan para calcular el porcentaje de maní.

*Cuadro 19. Datos de placa analizador de humedad*

<b>Analizador de humedad MB120</b>	
<b>Marca</b>	OHAUS
<b>Modelo</b>	MB120
<b>Rango de temperatura</b>	40 – 230°C
<b>Rango de humedad</b>	0.01 – 100%
<b>Incertidumbre</b>	± 0.3%
<b>Dimensiones (alto, ancho, profundidad)</b>	211 × 180 × 355 mm
<b>Alimentación eléctrica</b>	100-240 VCC / 50-60 Hz

Nota. OHAUS, 2017.

El Cuadro 19 presenta los datos para el analizador de humedad MB120, este equipo fue empleado para la humedad de todas las muestras de maní.

*Cuadro 20. Datos de placa titulador potenciométrico para sal*

<b>Titulador potenciométrico Ti-Touch 916</b>	
<b>Marca</b>	Metrohm
<b>Modelo</b>	916 Ti-Touch
<b>Temperatura de operación</b>	5 – 45°C
<b>Rango de medición de sal</b>	-1200 – 1200 mV
<b>Incertidumbre</b>	± 0.2%
<b>Dimensiones (alto, ancho, profundidad)</b>	135 × 193 × 412 mm
<b>Alimentación eléctrica</b>	100-240 VCC / 50-60 Hz

Nota. Metrohm, 2021.

El Cuadro 20 presenta los datos para el titulador potenciométrico para sal, modelo 916 Ti-Touch de la marca Metrohm, utilizado para la determinación de sal del producto terminado.

*Cuadro 21. Datos de placa motor de grageadora*

<b>Motor de grageadora</b>	
<b>Velocidad nominal</b>	1750 rpm
<b>Torque</b>	307 Nm
<b>Factor de potencia</b>	0.85
<b>Eficiencia</b>	0.8
<b>Incertidumbre</b>	± 1 rpm
<b>Dimensiones (alto, ancho, profundidad)</b>	156 × 152 × 553 mm
<b>Alimentación eléctrica</b>	460 V, 60 Hz, trifásico, 10.43 A

En el Cuadro 21 se presentan los datos para el motor de grageadora. Este motor presenta una velocidad nominal de 1750 revoluciones por minuto (rpm), que indica la velocidad a la que opera normalmente sin carga excesiva.

*Cuadro 22. Datos de placa horno tostador*

<b>Horno tostador de maní</b>	
<b>Capacidad máxima</b>	1100 lb/h (498.95 kg/h)
<b>Rango de temperatura</b>	0 – 500° C
<b>Incertidumbre</b>	± 1° C
<b>Dimensiones (largo, ancho)</b>	4000 × 2000 mm
<b>Alimentación eléctrica</b>	460 VAC, 60 Hz

El Cuadro 22 contiene los datos del horno tostador de maní utilizado en la línea de producción. Este equipo tiene una capacidad máxima de 1100 libras por hora, equivalente a aproximadamente 498.95 kilogramos por hora, lo cual lo hace adecuado para procesos de tostado a gran escala.

*Cuadro 23. Datos de placa motor de tambor de sazonado*

<b>Tambor de sazonado</b>	
<b>Velocidad</b>	0 – 20 rpm
<b>Incertidumbre</b>	± 1 rpm

<b>Factor de potencia</b>	0.8
<b>Eficiencia</b>	0.85
<b>Dimensiones (alto, ancho, profundidad)</b>	2850 × 1700 × 2970 mm
<b>Alimentación eléctrica</b>	230 VAC, 60 Hz, una fase, 5.6 A

El Cuadro 23 describe el tambor de sazonado, el cual es responsable de mezclar el producto con los agentes saborizantes. La velocidad de rotación del tambor es ajustable en un rango de 0 a 20 revoluciones por minuto (rpm), lo que permite adecuar el tiempo de exposición al sazonado según las necesidades del producto.

*Cuadro 24. Datos de placa bomba de cavidad progresiva*

<b>Bomba de cavidad progresiva C3L</b>	
<b>Marca</b>	Sulzer
<b>Modelo</b>	C3L (Serie Transfer)
<b>Capacidad máxima</b>	20.0 m <sup>3</sup> /h
<b>Presión diferencial máxima</b>	6 bar (1 etapa, paso extendido)
<b>Velocidad de operación</b>	1500 rpm
<b>Eficiencia</b>	0.85
<b>Dimensiones (alto, ancho, profundidad)</b>	1234 × 304 × 300 mm
<b>Alimentación eléctrica</b>	400 V, trifásico, 50 Hz

Nota. Sulzer, 2021.

El Cuadro 24 describe la bomba utilizada para el sazonado, siendo de tipo desplazamiento positivo para poder transportar la salsa viscosa. La velocidad de operación es de rango fijo, siendo de 1500 rpm, más se le pueden acoplar variadores o reductores.

*Cuadro 25. Datos de placa controlador de velocidad bomba de sazonado*

<b>Controlador de velocidad</b>	
<b>Marca</b>	Dart
<b>Modelo</b>	15DVA Rev.A
<b>Velocidad máxima</b>	Ajustable entre 40% y 120% de la velocidad base del motor
<b>Velocidad mínima</b>	Ajustable entre 0% y 30% de la velocidad máxima
<b>Incertidumbre</b>	± 1 rpm
<b>Dimensiones (alto, ancho, profundidad)</b>	381 × 711 × 838 mm
<b>Alimentación eléctrica</b>	240 VAC, 50/60 Hz

Nota. Dart Controls, 2023.

El Cuadro 25 muestra las especificaciones del controlador de velocidad, el cual regula el funcionamiento de la bomba de sazonado.

*Cuadro 26. Datos de placa motor eléctrico multiuso*

<b>Motor eléctrico</b>	
<b>Marca</b>	WEG
<b>Modelo</b>	W22 NEMA Premium Efficiency
<b>Potencia</b>	1.5 HP
<b>Eficiencia</b>	0.85
<b>Rotación síncrona</b>	1800 rpm
<b>Incertidumbre</b>	± 1 rpm
<b>Dimensiones (alto, ancho, profundidad)</b>	229 × 216 × 345 mm
<b>Alimentación eléctrica</b>	460 V, 60 Hz

Nota. WEG, 2019.

El Cuadro 26 contiene los datos técnicos del motor eléctrico multiuso, el cual se emplea para las marmitas, ventiladores de la banda de secado, movimiento de la banda de secado y motor de la pulidora.

*Cuadro 27. Datos de placa bomba de lóbulos*

<b>Bomba de lóbulos</b>	
<b>Marca</b>	Börger
<b>Modelo</b>	Serie ONIXline
<b>Potencia del motor</b>	5 HP
<b>Presión máxima</b>	Hasta 16 bar
<b>Caudal</b>	Desde 1 hasta 1,440 m <sup>3</sup> /h
<b>Eficiencia</b>	0.8 - 0.9
<b>Viscosidad del fluido</b>	Hasta 1,000,000 cP
<b>Temperatura de operación</b>	Hasta 200 °C (según configuración)
<b>Dimensiones (alto, ancho, profundidad)</b>	229 × 216 × 345 mm
<b>Alimentación eléctrica</b>	400 V, trifásico, 50/60 Hz

Nota. GmbH, 2025.

El Cuadro 27 describe la bomba utilizada para el jarabe, ya que al ser una solución de alta viscosidad se debe tener una bomba que soporte su transporte.

Cuadro 28. Datos de placa sensor de vibración

<b>Nombre del equipo</b>		Acelerómetro piezoeléctrico ICP® (sensor de vibración)
<b>Datos del fabricante</b>	<b>Empresa</b>	PCB Piezotronics, Inc.
	<b>Modelo</b>	603C01
<b>Condiciones de operación</b>	<b>Rango de medición</b>	$\pm 50 \text{ g } (\pm 490 \text{ m/s}^2)$
	<b>Rango de frecuencia</b>	0.5 Hz a 10 kHz
	<b>Voltaje de operación</b>	10 a 30 VDC (IEPE)
	<b>Tipo de salida</b>	Analógica (IEPE)
	<b>Temperatura de operación</b>	-54 a +121° C
<b>Especificaciones</b>	<b>Ancho</b>	0.025 metros
	<b>Largo</b>	0.028 metros
	<b>Profundidad</b>	0.025 metros
	<b>Tipo de conexión eléctrica</b>	Cable BNC (salida) 10 cm




Nota. PCB Piezotronics, 2010.

En el presente cuadro se describen las especificaciones técnicas del acelerómetro propuesto en Resultados, incluyendo datos del fabricante, condiciones de operación, dimensiones y tipo de conexión.

Cuadro 29. Datos de placa de fuente de alimentación


<b>Nombre del equipo</b>		Fuente de alimentación / acondicionador de señal para sensor IEPE
<b>Datos del fabricante</b>	<b>Empresa</b>	PCB Piezotronics, Inc.

	<b>Modelo</b>	482C05	
<b>Condiciones de operación</b>	<b>Voltaje de salida</b>	24 VDC	
	<b>Corriente de excitación</b>	2 a 20 mA	
	<b>Alimentación eléctrica</b>	110 a 240 VAC, 50/60 Hz	
	<b>Tipo de salida</b>	Voltaje analógico constante	
	<b>Temperatura de operación</b>	0 a 50° C	
<b>Especificaciones</b>	<b>Ancho</b>	0.10 metros	
	<b>Largo</b>	0.05 metros	
	<b>Profundidad</b>	0.08 metros	
	<b>Montaje</b>	Riel DIN	

Nota. PCB Piezotronics, 2011.

El Cuadro 29 contiene la información de la fuente de alimentación y acondicionador de señal que estará conectado al acelerómetro, detallando datos del fabricante, condiciones de operación dimensiones físicas y tipo de montaje.

*Cuadro 30. Datos de placa de chasis de adquisición de datos*

	<b>Nombre del equipo</b>	Chasis CompactDAQ de 4 ranuras	
<b>Datos del fabricante</b>	<b>Empresa</b>	National Instruments (NI)	
	<b>Modelo</b>	cDAQ-9174	
<b>Condiciones de operación</b>	<b>Número de ranuras</b>	4 para módulos C Series	
	<b>Velocidad de comunicación</b>	USB 2.0 (hasta 480 Mb/s)	
	<b>Sincronización</b>	Compatible con temporización de hardware y disparo entre módulos	

	<b>Voltaje de alimentación</b>	11 a 30 VDC
	<b>Temperatura de operación</b>	-20° C a 55° C
<b>Especificaciones</b>	<b>Ancho</b>	0.08 metros
	<b>Largo</b>	0.26 metros
	<b>Profundidad</b>	0.04 metros
	<b>Conexiones</b>	Puerto USB tipo B, entrada de alimentación, conexión de tierra

Nota. National Instruments [NI], 2023.

El cuadro contiene las especificaciones técnicas del Chasis CompactDAQ de 4 ranuras, el cual servirá como cerebro de la operación y recibirá la señal que manda el sensor.

Cuadro 31. Datos de placa módulo NI-9234 para sensores IEPE

<b>Nombre del equipo</b>		Módulo de adquisición de señales dinámicas para sensores IEPE
<b>Datos del fabricante</b>	<b>Empresa</b>	National Instruments (NI)
	<b>Modelo</b>	NI-9234
<b>Condiciones de operación</b>	<b>Número de canales</b>	4 entradas analógicas
	<b>Resolución</b>	24 bits
	<b>Frecuencia de muestreo</b>	51.2 kS/s
	<b>Voltaje de excitación IEPE</b>	2 a 4 mA por canal
	<b>Temperatura de operación</b>	-40° C a 70° C
<b>Especificaciones</b>	<b>Ancho</b>	0.04 metros
	<b>Alto</b>	0.08 metros



	<b>Profundidad</b>	0.02 metros	
	<b>Conexiones</b>	Conectores BNC por canal	

Nota. National Instruments [NI], 2023.

El presente cuadro contiene los datos de placa del Módulo de adquisición de señales dinámicas para sensores IEPE, el cual, en conjunto con el chasis, convierte las señales del sensor en datos digitales y los envía a la computadora para ser analizados.

## 12.2 Cálculo de muestra

### 12.2.1 Cálculo de tamaño de muestra

Se utiliza la siguiente fórmula estándar para estimar la muestra con un margen de error E:

*Ecuación 9. Tamaño de muestra*

$$n = \frac{Z_{\alpha/2}^2 \times \sigma^2}{E^2}$$

Donde:

- $Z_{\alpha/2}^2$  es el nivel de confianza al 95% (1.96)
- $\sigma$  es la desviación estándar (4%)
- E es el margen de error (1.5%)

Por lo tanto, la muestra en este caso sería de:

$$n = \frac{(1.96)^2 \times (0.04)^2}{(0.015)^2} = 27.3 \approx 30$$

### 12.2.2 Cálculo de porcentaje de maní

Empleando la Ecuación 5, se calcula el porcentaje de maní en distintas muestras obtenidas de la grageadora y pulidora, incluyendo las pruebas realizadas para la determinación de parámetros de operación. A continuación, se presenta un ejemplo del cálculo para un parámetro de operación:

$$\text{Peso total} = 12.61 \pm 0.2g$$

$$\text{Peso maní} = 6.06 \pm 0.2g$$

$$\% \text{ maní} = \frac{6.06 \pm 0.2g}{12.61 \pm 0.2g} \times 100\% = 48.06 \pm 1.76\%$$

### 12.2.3 Cálculos de límites de operación inferior (LCL) y superior (UCL)

Se emplearon la Ecuación 6 y la Ecuación 7 para establecer los límites de operación inferior (LCL) y superior (UCL) del parámetro evaluado, en este caso el porcentaje de sal

(m/m) en producto final. El cálculo se realizó a partir de las medias y desviaciones estándar obtenidas en las pruebas experimentales para cada condición de operación, lo cual se ve evidenciado en el Cuadro 40 y obteniendo  $A_2$  del Cuadro 36 y con una  $n$  de 3, y el cálculo quedaría de la siguiente manera:

$$UCL = 0.66933 + (1.023 \times 0.16867) = 0.84$$

$$LCL = 0.66933 - (1.023 \times 0.16867) = 0.50$$

#### 12.2.4 Cálculo de índice de capacidad del proceso

Se utilizó la Ecuación 1 para calcular el índice de capacidad del proceso ( $C_p$ ), el cual permite evaluar la variabilidad de un proceso en relación con los límites de especificación superior e inferior definidos para una característica de calidad. A continuación, se presenta un ejemplo:

$$C_p = \frac{UCL - LCL}{6\sigma} = \frac{0.84 - 0.5}{6(0.077)} = 0.740$$

Los datos utilizados para el cálculo se encuentran en el Cuadro 40, y el análisis de capacidad en el Cuadro 42.

#### 12.2.5 Cálculo de índice de capacidad del proceso centrado

Para complementar el cálculo anterior se empleó el  $C_{pk}$  (Ecuación 2), incorporando la posición de la media del proceso respecto a los límites de especificación. Un  $C_{pk}$  alto ( $\geq 1.33$ ) refleja un proceso estable, con baja dispersión y centrado dentro de las especificaciones, mientras que un valor  $C_{pk} < 1.0$  señala desviaciones o desplazamientos del promedio que podrían generar producto fuera de tolerancia. (Wooluru & Swamy, 2014).

$$C_{pk} = \text{Min} \left( \frac{UCL - \bar{x}}{3\sigma}, \frac{\bar{x} - LCL}{3\sigma} \right) = \text{Min} \left( \frac{0.84 - 0.6033}{3(0.077)}, \frac{0.6033 - 0.5}{3(0.077)} \right) = 0.457$$

Los resultados de este cálculo se pueden observar en el Cuadro 42.

#### 12.2.6 Cálculo de índice de Taguchi

Finalmente, para analizar la capacidad del proceso el índice de Taguchi (Ecuación 3) evalúa simultáneamente la capacidad y el centrado del proceso, considerando las desviaciones respecto al valor nominal especificado. A continuación, se presenta un ejemplo:

$$C_{pk} = \frac{UCL - LCL}{6\sqrt{\sigma^2 + (\bar{x} - N)^2}} = \frac{0.84 - 0.50}{6\sqrt{(0.077)^2 + (0.6033 - 0.67)^2}} = 0.564$$

#### 12.2.7 Cálculo de rendimiento de proceso

Empleando la Ecuación 4 y los datos obtenidos en los balances de masa antes y después de las propuestas de mejora, los cuales pueden encontrarse en la sección Balances de masa en resultados, se calcularon los rendimientos del proceso de la siguiente manera:

$$\% \text{ Rendimiento}_{antes} = \frac{1397.17 \pm 0.025 \text{ kg}}{1595 \pm 0.025 \text{ kg}} \times 100\% = 87.60 \pm 0.0021\%$$

Los resultados del cálculo, tanto para antes de las mejoras como para después, se pueden encontrar en el Cuadro 14.

### 12.2.8 Cálculo de porcentaje de preferencia

Para poder calcular el porcentaje de preferencia de los panelistas para cada nivel de la escala de Likert utilizada en el análisis sensorial se emplea la Ecuación 8 con los datos recopilados en el Cuadro 15. A continuación, se presenta un ejemplo del cálculo realizado:

$$\% \text{ de preferencia}_{nivel 5 \text{ sabor}} = \frac{28 \text{ personas}}{50 \text{ personas}} \times 100\% = 56\%$$

### 12.2.9 Cálculo de balance de energía para tambor de sazonado

*Ecuación 10. Primera Ley de la termodinámica*

$$\Delta \dot{E}_k + \Delta \dot{E}_p + \Delta \dot{H} = \dot{Q} - \dot{W}$$

Términos que no se usan:

- $\Delta \dot{E}_p \approx 0$  porque no hay cambio significativo en altura
- $\Delta \dot{E}_k \approx 0$  ya que la velocidad es constante
- $\Delta \dot{H} \approx 0$ , fluido incompresible
- $\dot{Q} \approx 0$  por aislamiento

Nota. Smith et al., 2007.

Bajo estas condiciones, el balance de energía se reduce al cálculo del trabajo neto:

*Ecuación 11. Trabajo tambor de sazonado*

$$\dot{W} = P \times \eta$$

Donde:

- $P$  es la potencia eléctrica calculada
- $\eta$  es la eficiencia del motor

Dado que el tambor está accionado por un motor monofásico, se utiliza la siguiente expresión para determinar la potencia eléctrica:

*Ecuación 12. Potencia eléctrica (monofásico)*

$$P = V \times I \times FP$$

De acuerdo con los datos de placa del motor (ver Cuadro 23), se tiene:

$$P = (230 \text{ V})(5.6 \text{ A})(0.8) = 1030.4 \text{ W} \left( \frac{1 \text{ kW}}{1000 \text{ W}} \right) = 1.03 \text{ kW} = 1.03 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}$$

Sustituyendo en la ecuación del trabajo:

$$\dot{W} = (1.03 \text{ kW})(0.85) = 0.876 \text{ kW}$$

### 12.2.10 Cálculo de balance de energía para motor de grageadora

Nuevamente se utiliza la Ecuación 10 para iniciar el balance de energía. En este caso, como se trata de un motor eléctrico acoplado a un sistema mecánico cerrado, se pueden realizar las siguientes simplificaciones:

- $\Delta \dot{E}_p \approx 0$  porque no hay cambio significativo en altura
- $\Delta \dot{E}_k \approx 0$  ya que la velocidad es constante
- $\Delta \dot{H} \approx 0$ , fluido incompresible
- $\dot{Q} \approx 0$ , se supone un equipo adiabático y las pérdidas se consideran en la eficiencia

Bajo estas condiciones, el balance de energía se reduce a la Ecuación 11 nuevamente. Dado que el equipo opera con un motor trifásico, se emplea la siguiente expresión para el cálculo de la potencia:

*Ecuación 13. Potencia eléctrica (trifásico)*

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times FP$$

Empleando los datos de placa del motor (Cuadro 21), se obtiene:

$$P = \sqrt{3} (460 V)(10.43 A)(0.85) = 7063.53 W \left( \frac{1 kW}{1000 W} \right) = 7.06 kW$$

Finalmente, aplicando la ecuación del trabajo para una eficiencia estimada del 80 %:

$$\dot{W} = (7.06 kW)(0.8) = 5.65 kW$$

### 12.2.11 Cálculo de balance de energía para motor eléctrico

Según lo descrito en el Cuadro 26, la potencia del motor utilizado en las marmitas, pulidora, ventiladores y banda secadora es:

$$P = 1.5 HP \left( \frac{1 kW}{1.341 HP} \right) = 1.118 kW$$

Empleando este valor en la Ecuación 11, y asumiendo que los términos cancelados en el balance de energía son  $\Delta \dot{E}_k$ ,  $\Delta \dot{E}_p$ ,  $\Delta \dot{H}$ ,  $\dot{Q}$ , el trabajo es igual a:

$$\dot{W} = \left( 1.118 \frac{kJ}{s} \right) (0.85) = 0.951 kW$$

El cálculo mostrado varía en cada equipo dependiendo del tiempo de operación que se tenga en cada uno. Los resultados se pueden observar en la Figura 34.

### 12.2.12 Cálculo de balance de energía para horno

Partiendo de la Ecuación 10 nuevamente, para calcular el balance de energía del horno se tomaron en cuenta todas las siguientes suposiciones:

- $\Delta \dot{E}_p \approx 0$  porque no hay cambio significativo en altura

- $\Delta\dot{E}_k \approx 0$  ya que la velocidad de transporte dentro del horno es casi constante
- $\dot{W} \approx 0$  ya que el horno no realiza trabajo útil

Por lo tanto, la ecuación del horno sería:

$$\dot{Q} = \Delta\dot{H}$$

En dónde la entalpía se representa como:

*Ecuación 14. Cálculo de entalpía*

$$\Delta\dot{H} = \dot{m} \times C_p \times \Delta T$$

- $\dot{m}$  es el flujo másico
- $C_p$  para el maní es  $2.08 \frac{kJ}{kg K}$  cuando está por encima del punto de congelamiento. (ASHRAE, 2002).
- $\Delta T$  es el cambio de temperatura

Y el cálculo del horno se representa por:

*Ecuación 15. Balance de energía del horno*

$$\Delta\dot{Q} = \dot{m} \times C_p \times \Delta T$$

Empleando los datos del balance de masa teórico (Figura 34) se obtiene:

$$\Delta\dot{Q} = \left( \frac{305.79 \text{ kg}}{13 \text{ min} \left( \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \right)} \right) \left( 2.08 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \right) (190 - 25)K = 134.55 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 134.55 \text{ kW}$$

### 12.2.13 Cálculo de balance de energía para bombas

De la Ecuación 10 ( $\Delta\dot{E}_k + \Delta\dot{E}_p + \Delta\dot{H} = \dot{Q} - \dot{W}$ ), los términos que se cancelan son:

- $\Delta\dot{E}_p \approx 0$  porque no hay cambio significativo en altura
- $\Delta\dot{E}_k \approx 0$  ya que la velocidad es constante
- $\dot{Q} \approx 0$  dado que se considera que el equipo está térmicamente aislado (adiabático) y las pérdidas de energía se encuentran representadas dentro del rendimiento global del sistema.

En este caso, a diferencia de los motores eléctricos, sí se conserva el término de entalpía ya que se está trabajando con un fluido en movimiento. Para fluidos incompresibles, este término se puede expresar como:

*Ecuación 16. Entalpía para bombas*

$$\Delta\dot{H} = \dot{m} \left( \frac{\Delta P}{\rho} \right) = Q \Delta P$$

Dónde:

- $\dot{m}$  es el flujo másico
- $\Delta P$  es la presión diferencial ejercida por la bomba

- $\rho$  es la densidad del fluido
- $Q$  es el caudal

De esta manera, el balance de energía para la bomba se convierte en:

*Ecuación 17. Balance de energía para bombas*

$$\dot{W} = \frac{\dot{m} \left( \frac{\Delta P}{\rho} \right)}{\eta}$$

Por lo tanto, el trabajo generado por la bomba es:

$$\dot{m} = \frac{37.5 \text{ kg}}{150 \text{ s}} = 0.25 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$Q = 0.25 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \left( \frac{1 \text{ L}}{1.115 \text{ kg}} \right) \left( \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} \right) = 2.24 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\dot{W} = \frac{\left( 2.24 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) (6 \text{ bar}) \left( \frac{100,000 \text{ Pa}}{1 \text{ bar}} \right)}{0.85} = 158.27 \text{ W} = 0.1583 \text{ kW}$$

La Ecuación 17 puede ser utilizada también para la bomba de lóbulos, lo cual da como resultado

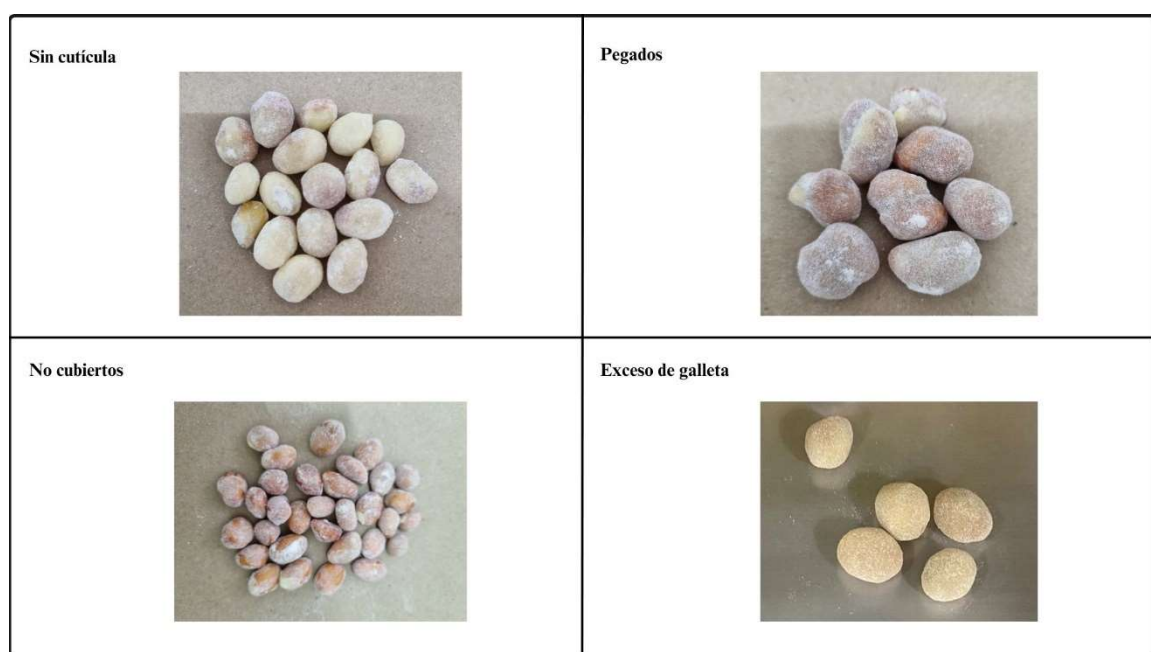
$$\dot{m} = \frac{97 \text{ kg}}{720 \text{ s}} = 0.135 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$Q = 0.135 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \left( \frac{1 \text{ L}}{1.26254 \text{ kg}} \right) \left( \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} \right) = 1.07 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\dot{W} = \frac{\left( 1.07 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) (10 \text{ bar}) \left( \frac{100,000 \text{ Pa}}{1 \text{ bar}} \right)}{0.8} = 133.659 \text{ W} = 0.1336 \text{ kW}$$

## 12.3 Datos originales

Figura 33. Clasificación para picking



La Figura 33 presenta un análisis visual de defectos comunes en el maní japonés durante las etapas de Grageado y Pulido. Los *Sin Cutícula* se refieren a maníes que carecen de la cascara normal que trae esta nuez, lo cual podría llevar a que la galleta no se adhiera bien y se desprenda en otra parte del proceso. Los *Pegados* son acumulaciones de maníes que podrían llegar a no cocerse bien en el horno por su tamaño. La categoría de *No Cubiertos* se refiere a unidades con galleta insuficiente, estos maníes tienden a adquirir un sabor ahumado en el horno. Finalmente, el *Exceso de Galleta* son maní con demasiada cobertura, lo cual los vuelve más pesados y tienden a adherirse al fondo de la pulidora y perder su galleta en el proceso.

Cuadro 32. Especificaciones del producto y materia prima para producción de maní japonés

Especificación	Rango de aceptación	
	Límite inferior	Límite superior
Tanque jarabe °Brix ( $\pm 0.2$ )	50	54
Tanque salsa °Brix ( $\pm 0.2$ )	35	40
% (m/m) Maní en Grageado	41%	49%
% (m/m) Maní en Pulidora	41%	49%
Humedad (%m/m)	1.20%	2.50%
% no cubiertos	0%	10%
% sin cutícula	0%	5%
% pegados	0%	5%

Especificación	Rango de aceptación	
	Límite inferior	Límite superior
% exceso de galleta	0%	5%
% Sal (m/m)	0.82%	0.96%

En la presente tabla se especifican los rangos permisibles para distintas características del producto durante su proceso de producción, además de materias primas como el jarabe y salsa.

*Cuadro 33. Datos parámetros de producción*

Muestra	Tanque jarabe °Brix (±0.2)	Tanque salsa °Brix (±0.2)	% Sal (±0.2%)	Temperatura horno (±0.1°C)	Revoluciones bomba (± 1 rpm)	Humedad (±0.3%)
2/04/2024 (8:00)	52.9	40.1	0.58	187	235	2.12
2/04/2024 (10:00)	50.9	40.8	0.69	195	245	2.02
2/04/2024 (11:00)	52.29	34	0.54	193	240	1.89
3/04/2024 (8:20)	51.7	37	0.85	197.3	220	1.83
3/04/2024 (10:00)	51.9	35.1	0.83	197.3	220	1.88
3/04/2024 (11:00)	52.9	37.3	0.95	195	220	2.04
4/04/2024 (08:40)	49.9	37	0.74	189.6	150	1.83
4/04/2024 (12:15)	52.4	32.3	0.57	190.4	165	1.78
4/04/2024 (13:00)	50.5	36.2	0.65	189.8	160	1.8
17/04/2024 (10:00)	51.9	35.6	0.85	192.4	235	2.04
17/04/2024 (11:15)	52.5	35.6	0.55	191.8	215	1.98
17/04/2024 (12:00)	52.3	35.8	0.64	192	215	2.15
08/05/2024 (8:00)	52.5	31	0.55	194.5	300	2.34
08/05/2024 (10:00)	52.8	32.3	0.63	195.4	300	1.82
08/05/2024 (12:00)	53	33	0.54	190	300	2.12
15/05/2024 (8:00)	53.1	33.3	0.46	194.5	230	1.81

<b>Muestra</b>	<b>Tanque jarabe °Brix (±0.2)</b>	<b>Tanque salsa °Brix (±0.2)</b>	<b>% Sal (±0.2%)</b>	<b>Temperatura horno (±0.1°C)</b>	<b>Revoluciones bomba (± 1 rpm)</b>	<b>Humedad (±0.3%)</b>
15/05/2024 (10:00)	52.3	31	0.5	195	220	1.88
15/05/2024 (12:00)	52.3	31.1	0.6	194.5	220	1.9
03/06/2024 (10:00)	50.1	35.2	0.93	197	165	1.91
03/06/2024 (12:00)	51.9	36.2	0.67	195.5	165	1.79
03/06/2024 (14:00)	53.8	36.5	0.54	195.6	185	1.85
04/06/2024 (08:00)	53.7	36	0.67	196.6	215	2.03
04/06/2024 (10:00)	53.4	36.4	0.81	195.8	215	1.78
04/06/2024 (12:00)	52.7	37.3	0.71	196	215	1.77
05/06/2024 (08:00)	53.4	36.8	0.72	196.5	215	1.79
05/06/2024 (10:00)	53.1	35.8	0.64	196.2	210	1.82
05/06/2024 (14:00)	53.4	36.4	0.65	196.7	199	1.94
06/06/2024 (08:00)	53.2	36.2	0.7	198.7	225	1.85
06/06/2024 (10:00)	53.5	36.7	0.66	197.8	217	1.65
06/06/2024 (12:00)	53	36.5	0.79	198	205	1.81
13/06/2024 (07:00)	53	37.5	0.66	197.3	225	1.86
13/06/2024 (08:00)	52.9	36.7	0.54	197.4	220	1.87
13/06/2024 (10:00)	52.6	35.8	0.83	197.6	270	1.92
14/06/2024 (08:00)	52.6	35.5	0.73	198.5	280	2.04
14/06/2024 (10:00)	53.8	37.9	0.64	197.5	289	2.34
14/06/2024 (14:00)	53.4	36.9	0.71	197.8	290	1.95
20/06/2024 (08:00)	53.3	36.7	0.74	198	220	1.94

<b>Muestra</b>	<b>Tanque jarabe °Brix (±0.2)</b>	<b>Tanque salsa °Brix (±0.2)</b>	<b>% Sal (±0.2%)</b>	<b>Temperatura horno (±0.1°C)</b>	<b>Revoluciones bomba (± 1 rpm)</b>	<b>Humedad (±0.3%)</b>
20/06/2024 (10:00)	52.7	36	0.57	197	215	1.95
20/06/2024 (12:00)	52.6	36.1	0.48	210	235	2.25
04/07/24 (8:00)	51.5	34.5	0.59	210.1	235	1.89
04/07/24 (10:00)	51.8	32.8	0.57	210.2	235	1.65
04/07/24 (12:00)	53.3	33.1	0.76	209.8	265	1.66
05/07/24 (08:00)	53.2	37.3	0.73	209.9	230	1.58
05/07/24 (10:00)	53.1	34.1	0.84	196	265	1.72
05/07/24 (12:00)	52.3	35.6	0.73	197	210	1.76

Este cuadro muestra los valores obtenidos de distintos parámetros críticos durante la producción de maní japonés en diferentes fechas y horarios. Incluye la concentración de sólidos solubles (°Brix) en el tanque de jarabe y salsa, el porcentaje de sal en el recubrimiento, la temperatura del horno, las revoluciones por minuto de la bomba dosificadora, y el porcentaje de humedad final del producto.

*Cuadro 34. Controlador de velocidad de bomba y sus conversiones*

<b>Nivel</b>	<b>Velocidad (rpms)</b>	<b>Caudal (±1.437 L/h)</b>
1	2.00	1.81
2	4.00	3.63
3	6.00	5.44
4	8.00	7.25
5	10.00	9.06
6	12.00	10.88
7	13.00	12.69
8	14.00	14.5

El cuadro presenta los equivalentes en revoluciones por minuto (rpms) y litros por hora (L/h) de cada nivel del controlador Dart de velocidad de la bomba de salsa.

*Cuadro 35. Muestreo propuesta de control de velocidad de bomba (Nivel 7)*

<b>No.</b>	<b>Muestra</b>	<b>° Brix (±0.2)</b>	<b>Humedad (±0.3%)</b>	<b>Humedad corregida (±0.3%)</b>	<b>Porcentaje de sal (±0.2%)</b>	<b>Apariencia</b>	<b>Textura</b>	<b>Olor</b>	<b>Sabor</b>	<b>Color</b>
1	12/11/24 (8:30 a.m.)	35.3	0.88	1.78	0.9	4.5	5	5	5	4.5

No.	Muestra	° Brix (±0.2)	Humedad (±0.3%)	Humedad corregida (±0.3%)	Porcentaje de sal (±0.2%)	Apariencia	Textura	Olor	Sabor	Color
2	12/11/2 4 (9:00 a.m.)	35.6	1	1.9	0.88	5	5	5	5	5
3	12/11/2 4 (10:30 a.m.)	37.5	0.83	1.73	0.82	4	5	4.5	4	4
4	12/11/2 4 (11:30 a.m.)	37.3	0.89	1.79	0.92	4.5	5	4.5	5	4
5	12/11/2 4 (12:00 p.m.)	36.2	0.85	1.75	0.83	5	5	4.5	4.5	4.5
6	12/11/2 4 (12:30 p.m.)	35.9	0.83	1.73	0.89	4.5	5	5	4	4.5
7	13/11/2 4 (8:30 a.m.)	36.1	0.98	1.88	0.93	4	5	5	4	5
8	13/11/2 4 (9:00 a.m.)	35.4	1.12	2.02	0.95	5	5	5	4	5
9	13/11/2 4 (10:30 a.m.)	38.5	0.9	1.8	0.91	5	5	4.5	4.5	4.5
10	13/11/2 4 (11:30 a.m.)	37.2	0.84	1.74	0.95	4.5	5	4.5	4	5
11	13/11/2 4 (12:00 p.m.)	38.5	1.25	2.15	0.87	4	5	5	5	5
12	13/11/2 4 (12:30 p.m.)	39.8	1.13	2.03	0.93	5	5	4.5	4.5	4
13	14/11/2 4 (8:30 a.m.)	37.1	1.1	2	0.82	5	5	4	5	5
14	14/11/2 4 (9:00 a.m.)	36.9	1.05	1.95	0.93	4.5	5	5	5	5
15	14/11/2 4 (10:00 a.m.)	32.1	0.89	1.79	0.93	5	5	5	4	3.5
16	14/11/2 4 (11:30 a.m.)	35.6	0.85	1.75	0.95	4.5	5	5	4	4.5
17	14/11/2 4 (12:00 p.m.)	37.7	0.9	1.8	0.94	4	5	4.5	5	5

No.	Muestra	° Brix (±0.2)	Humedad (±0.3%)	Humedad corregida (±0.3%)	Porcentaje de sal (±0.2%)	Apariencia	Textura	Olor	Sabor	Color
18	19/11/2 4 (07:30 a.m.)	35.8	0.74	1.64	0.85	4.5	5	4.5	5	5
19	19/11/2 4 (08:00 a.m.)	37.2	0.6	1.5	0.93	4.5	5	4.5	4.5	5
20	19/11/2 4 (08:30 a.m.)	37.7	0.98	1.88	0.84	5	5	4	4.5	5
21	19/11/2 4 (10:00 a.m.)	37.5	0.75	1.65	0.91	4.5	5	5	5	5
22	19/11/2 4 (10:30 a.m.)	34.1	0.99	1.89	0.9	5	5	5	4	4.5
23	20/11/2 4 (07:30 a.m.)	35.2	0.89	1.79	0.89	4.5	5	5	5	5
24	20/11/2 4 (08:00 a.m.)	36.1	1.05	1.95	0.83	4.5	5	5	5	5
25	20/11/2 4 (08:30 a.m.)	36.8	1.12	2.02	0.87	4.5	5	5	4	5
26	20/11/2 4 (10:00 a.m.)	33.5	1.1	2	0.84	4.5	5	4.5	5	3.5
27	20/11/2 4 (10:30 a.m.)	34.9	0.91	1.81	0.88	4.5	5	4.5	4.5	4.5
28	21/11/2 4 (08:30 a.m.)	37.5	0.98	1.88	0.84	5	5	5	4.5	5
29	21/11/2 4 (10:00 a.m.)	36.1	0.89	1.79	0.91	4.5	5	4.5	5	5
30	21/11/2 4 (10:30 a.m.)	37.2	1.1	2	0.91	4	5	5	4.5	4

Este cuadro presenta los resultados obtenidos durante la fase de prueba del control de velocidad de la bomba dosificadora operando en el nivel 7. Se detalla el °Brix del recubrimiento, la humedad medida y su respectiva corrección, así como los puntajes sensoriales asignados por el panel en atributos de apariencia, textura, olor, sabor y color.

*Cuadro 36. Factores para la construcción de cartas de control*

<b>n</b>	<b>d<sub>2</sub></b>	<b>A<sub>2</sub></b>	<b>d<sub>3</sub></b>	<b>D<sub>3</sub></b>	<b>D<sub>4</sub></b>
2	1.128	1.88	0.853	0	3.267

3	1.693	1.023	0.888	0	2.574
4	2.059	0.729	0.88	0	2.282
5	2.326	0.577	0.864	0	2.114
6	2.534	0.483	0.848	0	2.004
7	2.704	0.419	0.833	0.076	1.924
8	2.847	0.373	0.82	0.136	1.864
9	2.97	0.337	0.808	0.184	1.816
10	3.078	0.308	0.797	0.223	1.777
11	3.173	0.285	0.787	0.256	1.744
12	3.258	0.266	0.778	0.283	1.717
13	3.336	0.249	0.77	0.307	1.693
14	3.407	0.235	0.763	0.328	1.672
15	3.472	0.223	0.756	0.347	1.653
16	3.532	0.212	0.75	0.363	1.637
17	3.588	0.203	0.744	0.378	1.622
18	3.64	0.194	0.739	0.391	1.608
19	3.689	0.187	0.734	0.403	1.597
20	3.735	0.18	0.729	0.415	1.587
21	3.778	0.173	0.724	0.425	1.578
22	3.819	0.167	0.72	0.434	1.566
23	3.858	0.162	0.716	0.443	1.558
24	3.895	0.157	0.712	0.451	1.548
25	3.931	0.153	0.708	0.459	1.541

Nota. Anderson *et al.*, 2011.

En este cuadro se presentan los factores estadísticos necesarios para la construcción de cartas de control  $\bar{X}$ -R, utilizados en el Control Estadístico de Procesos (CEP). Estos factores ( $d_2$ ,  $A_2$ ,  $d_3$ ,  $D_3$  y  $D_4$ ) varían en función del tamaño de muestra ( $n$ ) y permiten calcular los límites de control para monitorear la variabilidad y la media de un proceso.

*Cuadro 37. Datos análisis sensorial previo a implementación de mejoras*

<b>Panelista</b>	<b>Sabor</b>	<b>Textura</b>
1	5	5
2	5	5
3	5	5
4	5	5
5	5	5
6	4	5
7	5	5
8	5	5
9	5	5
10	5	5
11	5	5

<b>Panelista</b>	<b>Sabor</b>	<b>Textura</b>
12	3	4
13	4	5
14	4	5
15	5	5
16	4	4
17	4	4
18	4	4
19	4	4
20	5	5
21	5	5
22	5	5
23	5	5
24	3	3
25	4	3
26	5	5
27	5	5
28	4	5
29	5	5
30	4	5
31	5	5
32	4	5
33	5	5
34	4	5
35	4	5
36	4	5
37	5	5
38	5	4
39	4	5
40	4	5
41	5	5
42	5	5
43	5	5
44	5	5
45	4	4
46	5	5
47	4	5
48	4	5
49	5	5
50	4	5

En el Cuadro 37 se presentan los resultados de un análisis sensorial realizado antes de la implementación de mejoras en la fabricación de maní japonés. Se evaluaron dos

atributos principales: sabor y textura, utilizando una escala de calificación de 1 a 5, donde 5 representa la mejor evaluación y 1 la peor.

*Cuadro 38. Datos análisis sensorial posterior a implementación de mejoras*

<b>Panelista</b>	<b>Sabor</b>	<b>Textura</b>
1	5	5
2	5	5
3	5	5
4	5	5
5	5	5
6	5	5
7	5	5
8	5	5
9	5	5
10	5	5
11	5	5
12	5	4
13	5	5
14	5	5
15	5	5
16	5	5
17	4	5
18	5	4
19	5	5
20	5	5
21	5	5
22	5	5
23	5	5
24	5	3
25	4	4
26	5	5
27	5	5
28	4	5
29	5	5
30	5	5
31	5	5
32	4	5
33	5	5
34	4	5
35	4	5
36	4	5
37	5	5
38	5	5
39	4	5

Panelista	Sabor	Textura
40	4	5
41	5	5
42	5	5
43	5	5
44	5	5
45	4	4
46	5	5
47	5	5
48	5	5
49	5	5
50	4	5

Igualmente, el Cuadro 38 contiene la continuación de los resultados de análisis sensorial, esta vez con la implementación de mejoras. Nuevamente se utilizó la escala de 1 a 5 y, en términos de sabor, se observa una mejora significativa en la percepción del producto.

## 12.4 Datos calculados

*Cuadro 39. Análisis estadístico de porcentaje de sal para propuesta de parámetros corregidos*

Muestra	Porcentajes de sal ( $\pm 0.2\%$ )			Promedio ( $\pm 0.3464\%$ )	Rango ( $\pm 0.3464\%$ )	Desviación estándar ( $\pm 0.3464\%$ )
2/04/24	0.58	0.69	0.54	0.0777	0.0777	0.0777
3/04/24	0.85	0.83	0.95	0.0643	0.0643	0.0643
4/04/24	0.74	0.57	0.65	0.0850	0.0850	0.0850
17/04/24	0.85	0.55	0.64	0.1539	0.1539	0.1539
8/05/24	0.55	0.63	0.54	0.0493	0.0493	0.0493
15/05/24	0.46	0.5	0.6	0.0721	0.0721	0.0721
3/06/24	0.93	0.67	0.54	0.1986	0.1986	0.1986
4/06/24	0.67	0.81	0.71	0.0721	0.0721	0.0721
5/06/24	0.72	0.64	0.65	0.0436	0.0436	0.0436
6/06/24	0.7	0.66	0.79	0.0666	0.0666	0.0666
13/06/24	0.66	0.54	0.83	0.1457	0.1457	0.1457
14/06/24	0.73	0.64	0.71	0.0473	0.0473	0.0473
20/06/24	0.52	0.74	0.57	0.1153	0.1153	0.1153
4/07/24	0.48	0.59	0.57	0.0586	0.0586	0.0586

5/07/24	0.76	0.73	0.84	0.0569	0.0569	0.0569
---------	------	------	------	--------	--------	--------

Este cuadro presenta los valores individuales del porcentaje de sal obtenidos en distintas fechas de producción tras la propuesta de corrección de parámetros. Se incluye el promedio, rango y desviación estándar para cada día, permitiendo observar la variabilidad y estabilidad del proceso en cuanto a contenido de sal.

*Cuadro 40. Promedios de porcentaje de sal para propuesta de parámetros corregidos*

<b>Promedio total</b>	<b>Incertidumbre promedio total</b>	<b>Promedio rango</b>	<b>Incertidumbre rango</b>
0.66933	0.01342	0.16867	0.01342

El Cuadro 40 resume los resultados globales del análisis estadístico del porcentaje de sal, mostrando el promedio total y el rango promedio, junto con su incertidumbre asociada.

*Cuadro 41. Propuesta de límites de control para porcentaje de sal*

<b>Límites anteriores</b>		<b>Límites propuestos</b>	
<b>UCL</b>	<b>LCL</b>	<b>UCL</b>	<b>LCL</b>
0.96	0.82	0.84	0.50

Este cuadro compara los antiguos límites de control (UCL y LCL) con los nuevos propuestos, basados en los datos corregidos con el fin de establecer rangos más realistas que reflejen mejor la variabilidad del proceso actual.

*Cuadro 42. Análisis de capacidad del proceso para porcentaje de sal para propuesta de parámetros corregidos*

<b>Muestra</b>	<b>UCL-LCL</b>	<b>Cp</b>	<b>C<sub>pi</sub></b>	<b>C<sub>ps</sub></b>	<b>C<sub>pk</sub></b>	<b>τ</b>	<b>C<sub>pm</sub></b>
2/04/24	0.345	0.740	0.457	1.024	0.457	0.102	0.564
3/04/24	0.345	0.895	1.970	-0.180	-0.180	0.217	0.265
4/04/24	0.345	0.676	0.614	0.739	0.614	0.087	0.665
17/04/24	0.345	0.374	0.397	0.351	0.351	0.154	0.373
8/05/24	0.345	1.166	0.517	1.815	0.517	0.108	0.533
15/05/24	0.345	0.798	0.107	1.488	0.107	0.166	0.347
3/06/24	0.345	0.290	0.363	0.216	0.216	0.203	0.283
4/06/24	0.345	0.798	1.078	0.517	0.517	0.094	0.610
5/06/24	0.345	1.319	1.325	1.314	1.314	0.044	1.319
6/06/24	0.345	0.864	1.101	0.627	0.627	0.082	0.704
13/06/24	0.345	0.395	0.411	0.378	0.378	0.146	0.394
14/06/24	0.345	1.217	1.386	1.048	1.048	0.053	1.085
20/06/24	0.345	0.499	0.327	0.670	0.327	0.130	0.443
4/07/24	0.345	0.982	0.284	1.679	0.284	0.136	0.423
5/07/24	0.345	1.011	1.641	0.382	0.382	0.121	0.474

El cuadro presenta el análisis de capacidad del proceso realizado para el parámetro de porcentaje de sal, empleando los datos obtenidos tras la aplicación de los parámetros corregidos de operación en la bomba de salsa.

*Cuadro 43. Estadística descriptiva prueba de bomba (apariencia)*

	<b>Promedio</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Coefficiente de variación</b>
<b>Nivel 5</b>	4.1833	0.3075	13.6055
<b>Nivel 6</b>	4.2667	0.3407	12.5224
<b>Nivel 7</b>	4.5833	0.3495	12.5224

Se muestran los resultados del análisis sensorial para el atributo de apariencia en tres niveles de bomba. Incluye el promedio, la desviación estándar y el coeficiente de variación para comparar los niveles entre sí.

*Cuadro 44. Estadística descriptiva prueba de bomba (textura)*

	<b>Promedio</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Coefficiente de variación</b>
<b>Nivel 5</b>	4.9000	0.3051	16.0588
<b>Nivel 6</b>	5.0000	0.0000	0.0000
<b>Nivel 7</b>	5.0000	0.0000	0.0000

Este cuadro presenta los valores estadísticos del atributo de textura evaluado sensorialmente para los distintos niveles de bomba

*Cuadro 45. Estadística descriptiva prueba de bomba (olor)*

	<b>Promedio</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Coefficiente de variación</b>
<b>Nivel 5</b>	4.5167	0.3592	12.5743
<b>Nivel 6</b>	4.2667	0.3407	12.5224
<b>Nivel 7</b>	4.7333	0.3144	15.0549

En el Cuadro 45 se detalla el análisis sensorial del atributo de olor, mostrando cómo varía la percepción en los distintos niveles de bomba a partir de los valores promedio, desviación estándar y coeficiente de variación.

*Cuadro 46. Estadística descriptiva prueba de bomba (sabor)*

	<b>Promedio</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Coefficiente de variación</b>
<b>Nivel 5</b>	4.1833	0.2780	15.0465
<b>Nivel 6</b>	4.4000	0.3572	12.3183
<b>Nivel 7</b>	4.5667	0.4302	10.6156

El Cuadro 46 reporta los resultados sensoriales del atributo de sabor para cada nivel evaluado, permitiendo observar cuál configuración de bomba genera un producto más aceptado y consistente en términos de sabor.

*Cuadro 47. Estadística descriptiva prueba de bomba (color)*

	<b>Promedio</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Coefficiente de variación</b>
<b>Nivel 5</b>	3.9667	0.5074	7.8174
<b>Nivel 6</b>	4.2667	0.4097	10.4153
<b>Nivel 7</b>	4.6500	0.4762	9.7657

Este cuadro muestra los resultados del análisis sensorial del color del producto, comparando los niveles de bomba para determinar el impacto del ajuste en este atributo visual.

*Cuadro 48. Análisis sensorial prueba de bomba por niveles*

	<b>Apariencia</b>	<b>Textura</b>	<b>Olor</b>	<b>Sabor</b>	<b>Color</b>
<b>Nivel 5</b>	4.18	4.90	4.52	4.18	3.97
<b>Nivel 6</b>	4.27	5.00	4.27	4.40	4.27
<b>Nivel 7</b>	4.58	5.00	4.73	4.57	4.65

El presente cuadro contiene el promedio para cada parámetro del análisis sensorial realizado en la prueba de bomba en busca del nivel que da como resultado un producto terminado con la mejor aceptación sensorial.

*Cuadro 49. Datos porcentaje de maní (grageadora)*

<b>No.</b>	<b>Muestra</b>	<b>Peso total (±0.2 g)</b>	<b>Peso maníes (±0.2 g)</b>	<b>Porcentaje de maní</b>	<b>Incertidumbre % maní</b>
1	2/04/2024 (8:00)	12.64	5.797	45.86234177	1.741
		13.827	5.859	42.37361684	1.571
		12.127	5.363	44.22363322	1.803
2	2/04/2024 (10:00 )	9.64	5.122	53.13278008	2.349
		9.289	5.43	58.45623856	2.494
		9.86	5.375	54.51318458	2.310
3	2/04/2024 (11:00)	12.77	6.421	50.28191073	1.753
		12.16	5.8	47.69736842	1.822
		12.561	6.47	51.50863785	1.791
4	3/04/2024 (8:20)	14.321	7.65	53.4180574	1.583
		14.783	7.186	48.60988974	1.504
		13.104	5.96	45.48229548	1.677
5	3/04/2024 (10:00)	15.378	7.371	47.93211081	1.442
		14.708	7.212	49.03453903	1.514
		13.735	6.332	46.10120131	1.603
6	3/04/2024 (11:00)	12.517	6.08	48.57393944	1.776
		10.531	5.777	54.8570886	2.166
		10.881	5.722	52.58707839	2.077
7	4/04/2024 (08:40)	11.931	5.873	49.22470874	1.868
		13.396	6.973	52.0528516	1.683
		14.312	6.608	46.17104528	1.539
8	4/04/2024 (12:15)	14.612	7.201	49.28141254	1.526
		12.499	6.435	51.48411873	1.800
		13.606	6.983	51.32294576	1.652
9	4/04/2024 (13:00)	12.45	5.45	43.7751004	1.754
		12.09	6.3	52.10918114	1.865
		12.35	6.6	53.44129555	1.836
10	17/04/2024 (10:00)	14.346	6.291	43.85194479	1.522
		14.254	6.37	44.68921005	1.537
		14.941	5.945	39.78984004	1.441
11		14.893	6.507	43.69166723	1.465

No.	Muestra	Peso total (±0.2 g)	Peso manías (±0.2 g)	Porcentaje de maní	Incertidumbre % maní
	17/04/2024 (11:15)	15.075	6.499	43.11111111	1.445
		13.263	5.908	44.54497474	1.651
12	17/04/2024 (12:00)	12.551	6.513	51.8922795	1.795
		12.53	6.23	49.72067039	1.783
		12.451	6.129	49.22496185	1.790
13	08/05/2024 (8:00)	12	7	58.33333333	1.930
		11	6	54.54545455	2.071
		12	6	50	1.863
14	08/05/2024 (10:00)	15.33	6.53	42.59621657	1.418
		14.665	6.948	47.37811115	1.509
		13.521	6.801	50.29953406	1.656
15	08/05/2024 (12:00)	13.005	5.709	43.89850058	1.680
		11.831	6.104	51.59327191	1.902
		13.408	6.085	45.38335322	1.638
16	15/05/2024 (8:00)	12.061	6.303	52.25934831	1.871
		11.843	5.794	48.92341468	1.880
		10.84	5.924	54.64944649	2.103
17	15/05/2024 (10:00)	12.299	5.678	46.16635499	1.791
		12.19	5.793	47.52255947	1.817
		13.372	6.904	51.63027221	1.683
18	15/05/2024 (12:00)	11.776	5.904	50.13586957	1.900
		14.258	7.06	49.51606116	1.565
		14.641	6.726	45.93948501	1.503
19	03/06/2024 (10:00)	14	7	50	1.597
		15	7	46.66666667	1.471
		12	6	50	1.863
20	03/06/2024 (12:00)	13	6	46.15384615	1.694
		13	7	53.84615385	1.747
		13	7	53.84615385	1.747
21	03/06/2024 (14:00)	12.158	5.802	47.72166475	1.823
		13.672	6.982	51.06787595	1.643
		13.58	6.232	45.8910162	1.620
22	04/06/2024 (08:00)	12.075	6.426	53.2173913	1.876
		10.543	5.673	53.80821398	2.154
		12.256	5.955	48.58844648	1.814
23	04/06/2024 (10:00)	12.552	5.904	47.03632887	1.761
		14.847	6.487	43.69232842	1.470
		13.385	6.056	45.24467688	1.640
24	04/06/2024 (12:00)	13.378	6.197	46.32232023	1.648
		14.253	5.901	41.40181015	1.519
		12.987	5.526	42.55024255	1.674

No.	Muestra	Peso total (±0.2 g)	Peso manías (±0.2 g)	Porcentaje de maní	Incertidumbre % maní
25	05/06/2024 (08:00)	13.843	6.799	49.11507621	1.610
		15.417	6.695	43.42608808	1.414
		13.865	6.64	47.89037144	1.599
26	05/06/2024 (10:00)	11.436	5.498	48.07625044	1.940
		12.682	5.805	45.7735373	1.734
		12.803	6.218	48.56674217	1.737
27	05/06/2024 (14:00)	16.635	7.259	43.63691013	1.312
		14.013	6.793	48.47641476	1.586
		13.893	6.18	44.48283308	1.576
28	06/06/2024 (08:00)	14.244	6.563	46.07554058	1.546
		11.903	5.675	47.6770562	1.861
		11.847	6.643	56.07326749	1.935
29	06/06/2024 (10:00)	12.703	5.72	45.02873337	1.727
		12.027	6.446	53.5960755	1.887
		10.546	5.819	55.17731841	2.166
30	06/06/2024 (12:00)	10.666	5.261	49.32495781	2.091
		13.355	6.596	49.38974167	1.670
		12.403	5.823	46.94831896	1.781
31	13/06/2024 (07:00)	11.465	5.596	48.80941997	1.941
		12.727	6.108	47.99245698	1.743
		13.324	6.785	50.9231462	1.684
32	13/06/2024 (08:00)	13	5	38.46153846	1.648
		14	7	50	1.597
		14	7	50	1.597
33	13/06/2024 (10:00)	12.645	6.219	49.18149466	1.763
		12.777	6.148	48.11771151	1.737
		13.57	6.483	47.77450258	1.633
34	14/06/2024 (08:00)	16.593	6.825	41.13180257	1.303
		15.672	5.927	37.81904033	1.364
		15.705	6.189	39.4078319	1.369
35	14/06/2024 (10:00)	13.538	5.82	42.99010194	1.608
		13.673	6.07	44.39406129	1.600
		15.18	6.825	44.96047431	1.445
36	14/06/2024 (12:00)	16.568	6.201	37.42757122	1.289
		14.311	5.539	38.70449305	1.499
		14.688	6.083	41.41476035	1.474
37	20/06/2024 (08:00)	15.5	6.153	39.69677419	1.388
		15.525	6.761	43.54911433	1.405
		16.581	7.501	45.23852602	1.324
38	20/06/2024 (10:00)	13.651	5.305	38.86162186	1.572
		14.659	6.194	42.25390545	1.481

No.	Muestra	Peso total ( $\pm 0.2$ g)	Peso maníes ( $\pm 0.2$ g)	Porcentaje de maní	Incertidumbre % maní
		13.585	6.313	46.47037173	1.623
39	20/06/2024 (12:00)	16.869	7.003	41.5140198	1.284
		15.817	6.272	39.65353733	1.360
		15.149	5.947	39.25671661	1.418
40	04/07/24 (8:00)	15.187	6.239	41.08118786	1.424
		15.371	5.976	38.87840739	1.396
		14.463	6.073	41.98990528	1.500
41	04/07/24 (10:00)	12.636	6.088	48.17980374	1.757
		12.068	5.914	49.00563474	1.846
		13.898	6.682	48.07886027	1.597
42	04/07/24 (12:00)	13.446	5.69	42.31741782	1.615
		14.233	6.357	44.66380946	1.539
		13.028	6.117	46.95271722	1.696
43	05/07/24 (08:00)	15.039	6.554	43.58002527	1.451
		13.626	6.156	45.17833554	1.611
		15.563	6.651	42.73597635	1.398
44	05/07/24 (10:00)	13.899	6.233	44.84495287	1.577
		14.427	6.293	43.61960213	1.512
		14.724	6.654	45.19152404	1.491
45	05/07/24 (12:00)	17.612	6.722	38.16715876	1.215
		14.114	6.475	45.87643475	1.559
		13.952	6.237	44.70326835	1.570

Este cuadro presenta los datos individuales obtenidos en cada ensayo realizado a lo largo de diferentes días y horarios. Para cada muestra, se registra el peso total del producto, el peso específico de los maníes adheridos y el porcentaje correspondiente de maní en el producto final. Además, se incluye la incertidumbre asociada a cada cálculo.

*Cuadro 50. Datos porcentaje de maní (pulidora)*

No.	Muestra	Peso total ( $\pm 0.2$ g)	Peso maníes ( $\pm 0.2$ g)	Porcentaje de maní	Incertidumbre % maní
1	2/04/2024 (8:00)	13.622	6.877	50.48451035	1.645
		13.129	6.495	49.47063752	1.700
		10.776	5.596	51.93021529	2.091
2	2/04/2024 (10:00)	14.013	6	42.81738386	1.553
		10	5	50	2.236
		11	5	45.45454545	1.997
3	2/04/2024 (11:00)	10.79	5.557	51.50139018	2.085
		10.02	4.84	48.30339321	2.217
		10.032	4.913	48.97328549	2.220
4	3/04/2024 (8:20)	14.616	6.731	46.05227148	1.506
		14.417	7.081	49.11562738	1.546

No.	Muestra	Peso total ( $\pm 0.2$ g)	Peso maníes ( $\pm 0.2$ g)	Porcentaje de maní	Incertidumbre % maní
		14.479	6.472	44.69921956	1.513
5	3/04/2024 (10:00)	13.809	6.399	46.33934391	1.596
		13.458	6.535	48.55847823	1.652
		13.51	6.417	47.49814952	1.639
6	3/04/2024 (11:00)	10.718	5.323	49.66411644	2.083
		12.264	5.63	45.90671885	1.794
		13.136	6.435	48.98751523	1.695
7	4/04/2024 (08:40)	14.401	7.16	49.71876953	1.551
		12.83	6.429	50.10911925	1.744
		14.172	6.779	47.8337567	1.564
8	4/04/2024 (12:15)	12.678	6.503	51.29357943	1.773
		13.932	6.83	49.02383003	1.599
		12.422	6.055	48.74416358	1.791
9	4/04/2024 (13:00)	13.4	6.05	45.14925373	1.638
		12.8	6.01	46.953125	1.726
		13.2	5.9	44.6969697	1.660
10	17/04/2024 (10:00)	9.563	4.953	51.79337028	2.355
		9.419	5.605	59.5073787	2.471
		9.324	4.949	53.07807808	2.428
11	17/04/2024 (11:15)	15.349	7.02	45.73587856	1.433
		15.734	6.478	41.17198424	1.375
		13.885	6.895	49.65790421	1.608
12	17/04/2024 (12:00)	9.59	5.55	57.87278415	2.410
		11.194	5.95	53.15347508	2.023
		11.398	5.886	51.64063871	1.975
13	08/05/2024 (8:00)	11	5	45.45454545	1.997
		13	6	46.15384615	1.694
		12	7	58.33333333	1.930
14	08/05/2024 (10:00)	11.178	5.901	52.79119699	2.023
		10.648	5.358	50.31930879	2.103
		11.1	5.4	48.64864865	2.004
15	08/05/2024 (12:00)	13.793	6.507	47.17610382	1.603
		11.681	6.038	51.6907799	1.927
		12.86	5.953	46.29082426	1.714
16	15/05/2024 (8:00)	13.805	6.514	47.18580225	1.602
		10.76	5.753	53.46654275	2.108
		13.857	6.649	47.9829689	1.601
17	15/05/2024 (10:00)	13.349	6.567	49.19469623	1.670
		12.593	6.104	48.47137298	1.765
		13.607	6.545	48.10024252	1.631

No.	Muestra	Peso total ( $\pm 0.2$ g)	Peso maníes ( $\pm 0.2$ g)	Porcentaje de maní	Incertidumbre % maní
18	15/05/2024 (12:00)	11.929	5.615	47.07016514	1.853
		11.727	5.885	50.1833376	1.908
		12.706	6.609	52.01479616	1.774
19	03/06/2024 (10:00)	16	7	43.75	1.364
		16	7	43.75	1.364
		18	7	38.88888889	1.192
20	03/06/2024 (12:00)	12	6	50	1.863
		14	7.108	50.77142857	1.602
		15.495	6.36	41.04549855	1.395
21	03/06/2024 (14:00)	12.182	6.273	51.49400755	1.847
		12.64	5.663	44.80221519	1.734
		12.829	6.133	47.80575259	1.728
22	04/06/2024 (08:00)	13.579	6.754	49.7385669	1.645
		13.529	6.118	45.2213763	1.622
		13.497	5.737	42.50574202	1.610
23	04/06/2024 (10:00)	13.128	5.815	44.29463742	1.666
		13.473	5.935	44.05106509	1.622
		13.73	6.481	47.20320466	1.611
24	04/06/2024 (12:00)	12.851	5.989	46.60337717	1.717
		12.688	6.027	47.50157629	1.745
		12.076	5.753	47.639947	1.835
25	05/06/2024 (08:00)	15.416	6.797	44.09055527	1.418
		13.76	6.644	48.28488372	1.614
		12.839	6.061	47.20772646	1.723
26	05/06/2024 (10:00)	13.249	5.663	42.74284852	1.642
		13.121	6.103	46.51322308	1.681
		12.178	5.631	46.23911972	1.809
27	05/06/2024 (14:00)	14.261	7.734	54.23182105	1.595
		12.453	6.298	50.57415884	1.800
		12.759	6.169	48.35018418	1.741
28	06/06/2024 (08:00)	11.471	5.398	47.05779793	1.927
		9.822	5.127	52.19914478	2.297
		9.624	5.181	53.83416459	2.360
29	06/06/2024 (10:00)	14.065	6.258	44.49342339	1.556
		11.01	5.649	51.30790191	2.042
		13.317	6.057	45.48321694	1.650
30	06/06/2024 (12:00)	13.848	6.843	49.41507799	1.611
		11.815	5.54	46.88954719	1.870
		14.372	6.781	47.1820206	1.539
31		11.355	5.874	51.73051519	1.983

<b>No.</b>	<b>Muestra</b>	<b>Peso total (±0.2 g)</b>	<b>Peso maníes (±0.2 g)</b>	<b>Porcentaje de maní</b>	<b>Incertidumbre % maní</b>
	13/06/2024 (07:00)	11.779	5.704	48.42516343	1.887
		11.594	5.764	49.71537002	1.926
32	13/06/2024 (08:00)	13	7	53.84615385	1.747
		13	7	53.84615385	1.747
		14	6	42.85714286	1.554
33	13/06/2024 (10:00)	15.526	6.7	43.15342007	1.403
		14.463	6.409	44.31307474	1.513
		15.585	6.629	42.53448829	1.395
34	14/06/2024 (08:00)	14.989	6.739	44.95963707	1.463
		12.151	5.235	43.08287384	1.792
		17.755	6.976	39.29034075	1.210
35	14/06/2024 (10:00)	16.193	6.824	42.14166615	1.340
		16.777	6.81	40.59128569	1.287
		14.814	6.164	41.60928851	1.462
36	14/06/2024 (12:00)	15.508	6.208	40.03095177	1.389
		14.309	5.704	39.86302327	1.505
		14.234	6.236	43.81059435	1.534
37	20/06/2024 (08:00)	14.354	5.812	40.49045562	1.503
		14.28	6.115	42.82212885	1.524
		16.055	6.199	38.6110246	1.335
38	20/06/2024 (10:00)	14.486	5.529	38.16788623	1.478
		13.134	5.294	40.3075986	1.642
		13.45	5.892	43.80669145	1.623
39	20/06/2024 (12:00)	13.647	5.624	41.21052246	1.585
		14.984	5.663	37.79364656	1.427
		12.978	6.037	46.51718292	1.700
40	04/07/24 (8:00)	10.997	5.092	46.30353733	2.004
		12.073	5.51	45.63902924	1.821
		14.314	6.348	44.34819058	1.528
41	04/07/24 (10:00)	14.945	5.914	39.57176313	1.439
		13.562	5.775	42.58221501	1.603
		12.251	5.643	46.061546	1.797
42	04/07/24 (12:00)	14.916	6.96	46.6613033	1.480
		15.143	6.447	42.57412666	1.435
		13.484	6.364	47.19667754	1.640
43	05/07/24 (08:00)	13.188	5.853	44.38125569	1.659
		15.998	6.794	42.46780848	1.358
		13.582	5.925	43.623914	1.607
44	05/07/24 (10:00)	14.174	5.816	41.0328771	1.525
		14.623	6.582	45.01128359	1.500

No.	Muestra	Peso total (±0.2 g)	Peso maníes (±0.2 g)	Porcentaje de maní	Incertidumbre % maní
		13.062	5.861	44.87061706	1.678
45	05/07/24 (12:00)	12.493	5.716	45.75362203	1.761
		13.842	5.846	42.23378125	1.568
		14.332	5.915	41.27128105	1.510

En este cuadro se detallan los datos obtenidos tras el proceso de pulido, midiendo el porcentaje de maní presente en el producto final. Para cada muestra se registró el peso total y el peso específico de los maníes, permitiendo calcular el porcentaje de maní mediante una relación directa.

*Cuadro 51. Datos porcentaje de pegados (salida de pulidora)*

No.	Muestra	% de pegados (m/m)	Incertidumbre
1	2/04/2024 (8:00)	21.00	0.20
2	2/04/2024 (10:00 )	16.00	0.20
3	2/04/2024 (11:00)	8.00	0.20
4	3/04/2024 (8:20)	9.00	0.20
5	3/04/2024 (10:00)	13.00	0.20
6	3/04/2024 (11:00)	23.00	0.21
7	4/04/2024 (08:40)	7.00	0.20
8	4/04/2024 (12:15)	3.00	0.20
9	4/04/2024 (13:00)	1.00	0.20
10	17/04/2024 (10:00)	0.00	0.00
11	17/04/2024 (11:15)	0.00	0.00
12	17/04/2024 (12:00)	23.00	0.21
13	08/05/2024 (8:00)	5.00	0.20
14	08/05/2024 (10:00)	11.00	0.20
15	08/05/2024 (12:00)	0.00	0.00
16	15/05/2024 (8:00)	4.00	0.20
17	15/05/2024 (10:00)	8.00	0.20
18	15/05/2024 (12:00)	6.00	0.20
19	03/06/2024 (10:00)	4.00	0.20
20	03/06/2024 (12:00)	2.00	0.20
21	03/06/2024 (14:00)	7.00	0.20
22	04/06/2024 (08:00)	8.00	0.20
23	04/06/2024 (10:00)	9.00	0.20
24	04/06/2024 (12:00)	8.00	0.20
25	05/06/2024 (08:00)	8.00	0.20
26	05/06/2024 (10:00)	4.00	0.20
27	05/06/2024 (14:00)	5.00	0.20
28	06/06/2024 (08:00)	5.00	0.20

No.	Muestra	% de pegados (m/m)	Incertidumbre
29	06/06/2024 (10:00)	7.00	0.20
30	06/06/2024 (12:00)	5.00	0.20
31	13/06/2024 (07:00)	8.00	0.20
32	13/06/2024 (08:00)	8.00	0.20
33	13/06/2024 (10:00)	3.00	0.20
34	14/06/2024 (08:00)	3.00	0.20
35	14/06/2024 (10:00)	3.00	0.20
36	14/06/2024 (14:00)	0.00	0.00
37	20/06/2024 (08:00)	10.00	0.20
38	20/06/2024 (10:00)	10.00	0.20
39	20/06/2024 (12:00)	10.00	0.20
40	04/07/24 (8:00)	9.00	0.20
41	04/07/24 (10:00)	7.00	0.20
42	04/07/24 (12:00)	8.00	0.20
43	05/07/24 (08:00)	27.00	0.21
44	05/07/24 (10:00)	5.00	0.20
45	05/07/24 (12:00)	4.00	0.20

*Cuadro 52. Resultado parámetros de operación grageadora (izquierda)*

No.	Muestra	Brix ( $\pm 0.2$ )	Peso total ( $\pm 0.2$ g)	Peso maní ( $\pm 0.2$ g)	Porcentaje de maní	Incertidumbre
1	9/09/24 08:50	52.80	14.30	6.52	45.59	1.54
			13.11	5.87	44.77	1.67
			14.22	6.00	42.19	1.53
2	9/09/24 09:15	52.60	13.29	6.32	47.55	1.67
			14.80	6.57	44.39	1.48
			14.42	6.62	45.91	1.53
3	9/09/24 09:42	53.00	14.53	6.82	46.94	1.52
			14.65	6.69	45.67	1.50
			14.79	6.89	46.59	1.49
4	9/09/24 10:48	52.80	14.54	6.84	47.04	1.52
			14.13	6.68	47.28	1.57
			14.53	6.76	46.52	1.52
5	9/09/24 11:15	52.00	13.74	7.16	52.11	1.64
			14.36	6.70	46.66	1.54
			14.39	6.86	47.67	1.54
6	9/09/24 11:55	53.30	14.38	6.87	47.77	1.54
			14.67	6.84	46.63	1.50
			14.66	6.93	47.27	1.51

No.	Muestra	Brix ( $\pm 0.2$ )	Peso total ( $\pm 0.2$ g)	Peso maní ( $\pm 0.2$ g)	Porcentaje de maní	Incertidumbre
7	10/09/24 08:23	53.60	13.94	5.96	42.75	1.56
			14.43	6.80	47.12	1.53
			13.69	6.12	44.70	1.60
8	10/09/24 08:48	54.10	13.98	6.12	43.78	1.56
			14.56	6.63	45.54	1.51
			14.29	6.52	45.63	1.54
9	10/09/24 09:23	54.20	15.06	6.44	42.76	1.44
			14.98	6.65	44.39	1.46
			15.01	6.66	44.37	1.46
10	10/09/24 09:52	53.80	14.01	6.65	47.47	1.58
			14.47	6.76	46.72	1.53
			14.07	6.54	46.48	1.57
11	10/09/24 10:48	53.50	14.61	6.28	42.98	1.49
			14.26	6.23	43.69	1.53
			14.77	6.26	42.38	1.47
12	10/09/24 11:18	52.70	14.86	6.58	44.28	1.47
			15.08	6.38	42.31	1.44
			14.98	6.49	43.32	1.46

Este cuadro presenta los resultados del análisis de muestras tomadas a la salida izquierda de la grageadora, incluyendo el valor de grados Brix de la mezcla utilizada, junto con el peso total, peso de maní y porcentaje de maní de cada unidad muestreada.

*Cuadro 53. Resultado parámetros de operación grageadora (medio)*

No.	Muestra	Brix ( $\pm 0.2$ )	Peso total ( $\pm 0.2$ g)	Peso maní ( $\pm 0.2$ g)	Porcentaje de maní	Incertidumbre
1	9/09/24 08:50	52.80	14.30	6.35	44.41	1.53
			14.46	6.04	41.77	1.50
			14.07	6.10	43.35	1.55
2	9/09/24 09:15	52.60	14.10	5.93	42.06	1.54
			14.17	6.55	46.22	1.55
			14.69	6.54	44.52	1.49
3	9/09/24 09:42	53.00	14.21	5.99	42.15	1.53
			14.75	6.03	40.88	1.46
			14.98	6.40	42.72	1.45
4	9/09/24 10:48	52.80	14.73	6.40	43.45	1.48
			14.85	6.40	43.10	1.47
			14.34	6.45	44.98	1.53
5	9/09/24 11:15	52.00	14.55	6.08	41.79	1.49
			14.86	6.06	40.78	1.45

No.	Muestra	Brix ( $\pm 0.2$ )	Peso total ( $\pm 0.2$ g)	Peso maní ( $\pm 0.2$ g)	Porcentaje de maní	Incertidumbre
			13.93	6.14	44.08	1.57
6	9/09/24 11:55	53.30	14.95	5.96	39.87	1.44
			14.41	6.39	44.34	1.52
			14.74	6.20	42.06	1.47
7	10/09/24 08:23	53.60	14.19	6.45	45.45	1.55
			14.22	6.54	45.99	1.55
			14.24	5.95	41.78	1.52
8	10/09/24 08:48	54.10	14.34	5.90	41.14	1.51
			14.38	6.37	44.30	1.52
			14.65	6.48	44.23	1.49
9	10/09/24 09:23	54.20	13.91	6.42	46.15	1.58
			14.40	6.14	42.64	1.51
			14.98	6.29	41.99	1.45
10	10/09/24 09:52	53.80	14.79	6.30	42.60	1.47
			14.50	6.42	44.28	1.51
			14.10	6.34	44.96	1.56
11	10/09/24 10:48	53.50	14.90	6.20	41.61	1.45
			14.40	6.19	42.99	1.51
			14.98	6.23	41.59	1.45
12	10/09/24 11:18	52.70	14.68	6.17	42.03	1.48
			14.97	6.12	40.88	1.44
			14.52	5.89	40.56	1.49

En este cuadro se muestran los resultados obtenidos del análisis de muestras tomadas en la parte media de la grageadora. Al igual que en el anterior, se incluyen los valores de Brix de la solución, el peso total del producto, el peso de maní y el porcentaje correspondiente, además de la incertidumbre en cada cálculo.

*Cuadro 54. Resultado parámetros de operación grageadora (derecha)*

No.	Muestra	Brix ( $\pm 0.2$ )	Peso total ( $\pm 0.2$ g)	Peso maní ( $\pm 0.2$ g)	Porcentaje de maní	Incertidumbre
1	9/09/24 08:50	52.80	14.38	6.11	42.49	1.51
			14.17	6.47	45.66	1.55
			14.53	5.95	40.95	1.49
2	9/09/24 09:15	52.60	14.02	6.30	44.94	1.56
			14.67	6.28	42.81	1.48
			15.01	6.12	40.77	1.44
3	9/09/24 09:42	53.00	14.64	6.36	43.44	1.49
			14.54	6.38	43.88	1.50
			14.05	6.08	43.27	1.55

No.	Muestra	Brix ( $\pm 0.2$ )	Peso total ( $\pm 0.2$ g)	Peso maní ( $\pm 0.2$ g)	Porcentaje de maní	Incertidumbre
4	9/09/24 10:48	52.80	14.10	6.29	44.61	1.55
			14.13	6.48	45.86	1.56
			14.00	5.99	42.79	1.55
5	9/09/24 11:15	52.00	14.33	5.99	41.80	1.51
			14.79	6.36	43.00	1.47
			14.23	6.03	42.38	1.53
6	9/09/24 11:55	53.30	14.41	6.21	43.10	1.51
			14.45	5.88	40.69	1.49
			14.78	6.03	40.80	1.46
7	10/09/24 08:23	53.60	14.98	6.27	41.86	1.45
			14.23	6.18	43.43	1.53
			14.69	6.50	44.25	1.49
8	10/09/24 08:48	54.10	14.85	6.00	40.40	1.45
			14.63	6.18	42.24	1.48
			14.58	5.87	40.26	1.48
9	10/09/24 09:23	54.20	14.67	6.34	43.22	1.49
			13.95	6.54	46.88	1.58
			14.95	5.88	39.33	1.44
10	10/09/24 09:52	53.80	14.31	5.92	41.37	1.51
			14.57	6.24	42.83	1.49
			14.14	6.45	45.62	1.55
11	10/09/24 10:48	53.50	14.76	5.91	40.04	1.46
			14.27	6.19	43.38	1.53
			14.30	6.20	43.36	1.52
12	10/09/24 11:18	52.70	14.36	6.51	45.33	1.53
			14.75	6.36	43.12	1.48
			14.96	6.10	40.78	1.44

Este cuadro muestra los datos recolectados durante la operación de la grageadora en el lado derecho del equipo según lo indicado en la Figura 37.

*Cuadro 55. Resultados parámetros de operación en pulidora*

No.	Muestra	Peso total ( $\pm 0.2$ g)	Peso maní ( $\pm 0.2$ g)	Porcentaje de maní	Incertidumbre
1	20/09/24 07:49	12.61	6.06	48.06	1.76
		12.38	6.14	49.60	1.80
		12.58	6.03	47.93	1.76
2	20/09/24 08:15	12.55	5.31	42.31	1.73
		11.71	5.13	43.81	1.86
		12.65	6.01	47.51	1.75

No.	Muestra	Peso total ( $\pm 0.2$ g)	Peso maní ( $\pm 0.2$ g)	Porcentaje de maní	Incertidumbre
3	20/09/24 08:41	11.39	5.25	46.09	1.93
		10.59	5.04	47.59	2.09
		11.55	5.44	47.10	1.91
4	20/09/24 09:07	12.31	5.69	46.22	1.79
		12.71	5.95	46.81	1.74
		12.87	6.13	47.63	1.72
5	20/09/24 10:30	11.31	5.46	48.28	1.96
		11.90	5.24	44.03	1.84
		11.89	5.02	42.22	1.83
6	20/09/24 10:57	11.32	5.28	46.64	1.95
		11.44	5.06	44.23	1.91
		11.50	5.61	48.78	1.94
7	20/09/24 11:24	12.03	5.26	43.72	1.81
		12.49	5.38	43.07	1.74
		12.38	5.59	45.15	1.77
8	20/09/24 11:51	11.41	5.39	47.24	1.94
		11.75	5.34	45.45	1.87
		12.99	6.54	50.35	1.72
9	20/09/24 12:18	12.77	5.43	42.52	1.70
		12.48	6.01	48.16	1.78
		12.79	5.80	45.35	1.72
10	20/09/24 12:45	12.25	5.27	43.02	1.78
		12.66	5.71	45.10	1.73
		12.08	6.54	54.14	1.88
11	20/09/24 13:12	10.98	5.34	48.63	2.03
		11.18	5.12	45.80	1.97
		10.93	5.22	47.76	2.03
12	20/09/24 14:03	12.25	5.90	48.16	1.81
		12.39	5.78	46.65	1.78
		12.35	5.96	48.26	1.80
13	20/09/24 14:29	11.45	5.54	48.38	1.94
		11.57	5.93	51.25	1.94
		11.25	5.39	47.91	1.97
14	20/09/24 14:58	12.98	6.07	46.76	1.70
		12.91	6.18	47.87	1.72
		12.81	6.13	47.85	1.73
15	20/09/24 15:17	12.40	5.96	48.06	1.79
		12.19	6.05	49.63	1.83

No.	Muestra	Peso total ( $\pm 0.2$ g)	Peso maní ( $\pm 0.2$ g)	Porcentaje de maní	Incertidumbre
		12.45	5.56	44.66	1.76

Este cuadro presenta los datos obtenidos en la etapa de pulido del maní japonés, donde se analiza cómo varía la proporción de maní en el producto después de esta operación. Se reportan los pesos totales de las muestras, el peso del maní contenido y el porcentaje resultante, incluyendo su respectiva incertidumbre.

*Cuadro 56. Resultados parámetros de operación banda secadora*

No.	Muestra	Humedad horno ( $\pm 0.3\%$ )	Humedad horno corregido ( $\pm 0.3\%$ )	Humedad final ( $\pm 0.3\%$ )	Humedad final corregida ( $\pm 0.3\%$ )
1	26/09/24 07:30	0.74	1.64	1.42	2.32
2	26/09/24 07:45	0.81	1.71	1.32	2.22
3	26/09/24 08:00	0.52	1.42	1.38	2.28
4	26/09/24 08:15	0.86	1.76	1.59	2.49
5	26/09/24 08:30	0.73	1.63	1.33	2.23
6	26/09/24 08:45	0.71	1.61	1.53	2.43
7	26/09/24 09:00	0.6	1.5	1.46	2.36
8	26/09/24 10:05	0.64	1.54	1.34	2.24
9	26/09/24 10:20	0.64	1.54	1.45	2.35
10	26/09/24 10:35	0.61	1.51	1.43	2.33
11	26/09/24 10:50	0.57	1.47	1.53	2.43
12	26/09/24 11:05	0.58	1.48	1.47	2.37
13	26/09/24 11:20	0.76	1.66	1.36	2.26
14	26/09/24 11:35	0.72	1.62	1.4	2.3
15	26/09/24 11:50	0.81	1.71	1.46	2.36
16	26/09/24 12:05	0.52	1.42	1.33	2.23

No.	Muestra	Humedad horno ( $\pm 0.3\%$ )	Humedad horno corregido ( $\pm 0.3\%$ )	Humedad final ( $\pm 0.3\%$ )	Humedad final corregida ( $\pm 0.3\%$ )
17	26/09/24 12:20	0.59	1.49	1.43	2.33
18	26/09/24 12:35	0.56	1.46	1.3	2.2
19	30/09/24 08:00	0.62	1.52	1.46	2.36
20	30/09/24 08:15	0.64	1.54	1.43	2.33
21	30/09/24 08:30	0.69	1.59	1.45	2.35
22	30/09/24 08:45	0.74	1.64	1.33	2.23
23	30/09/24 09:00	0.61	1.51	1.35	2.25
24	30/09/24 10:10	0.72	1.62	1.3	2.2
25	30/09/24 10:25	0.77	1.67	1.59	2.49
26	30/09/24 10:40	0.57	1.47	1.49	2.39
27	30/09/24 10:55	0.68	1.58	1.32	2.22
28	30/09/24 11:10	0.68	1.58	1.56	2.46
29	30/09/24 11:25	0.7	1.6	1.37	2.27
30	30/09/24 11:40	0.62	1.52	1.4	2.3

En este cuadro se presentan los valores de humedad medidos en productos tomados a la salida del horno de secado, tanto los valores registrados directamente como los corregidos según el procedimiento del Laboratorio de Aseguramiento de Calidad.

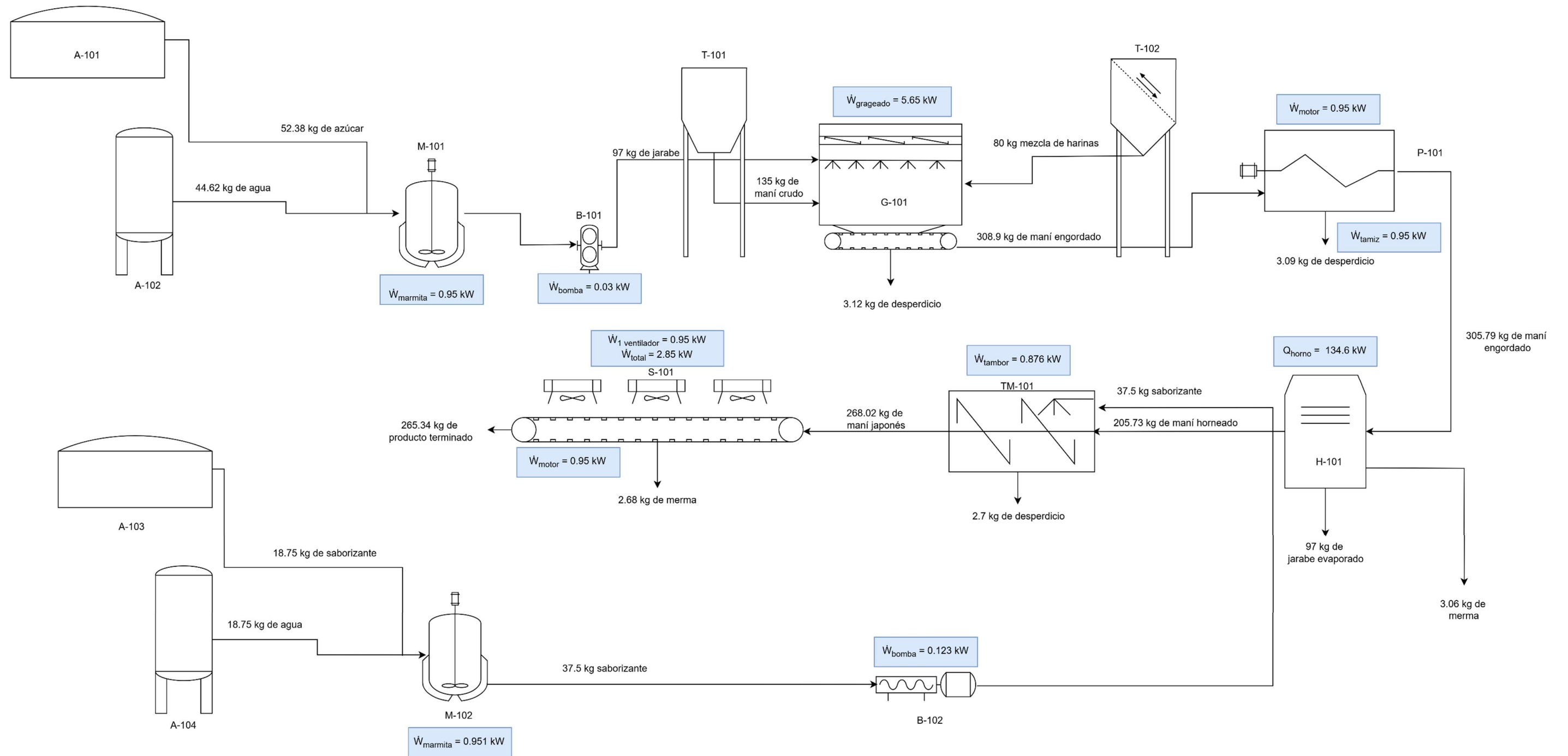
*Cuadro 57. Estadística descriptiva del análisis sensorial comparativo*

		Promedio ( $\bar{X}$ )	Desviación estándar	Coefficiente de variación (CV)
<b>Antes de las mejoras</b>	Sabor	4.52	0.5799	12.83%
	Textura	4.78	0.5067	10.60%
<b>Después de las mejoras</b>	Sabor	4.79	0.4184	8.75%
	Textura	4.88	0.3854	7.90%

El presente cuadro contiene la estadística descriptiva de la comparación del análisis sensorial, incluyendo los valores promedio de los resultados, su desviación estándar y el coeficiente de variación de los resultados para los atributos de sabor y textura.

## 12.5 Balances de masa y energía

Figura 34. Balance de masa y energía teórico



Nota. Elaboración propia.

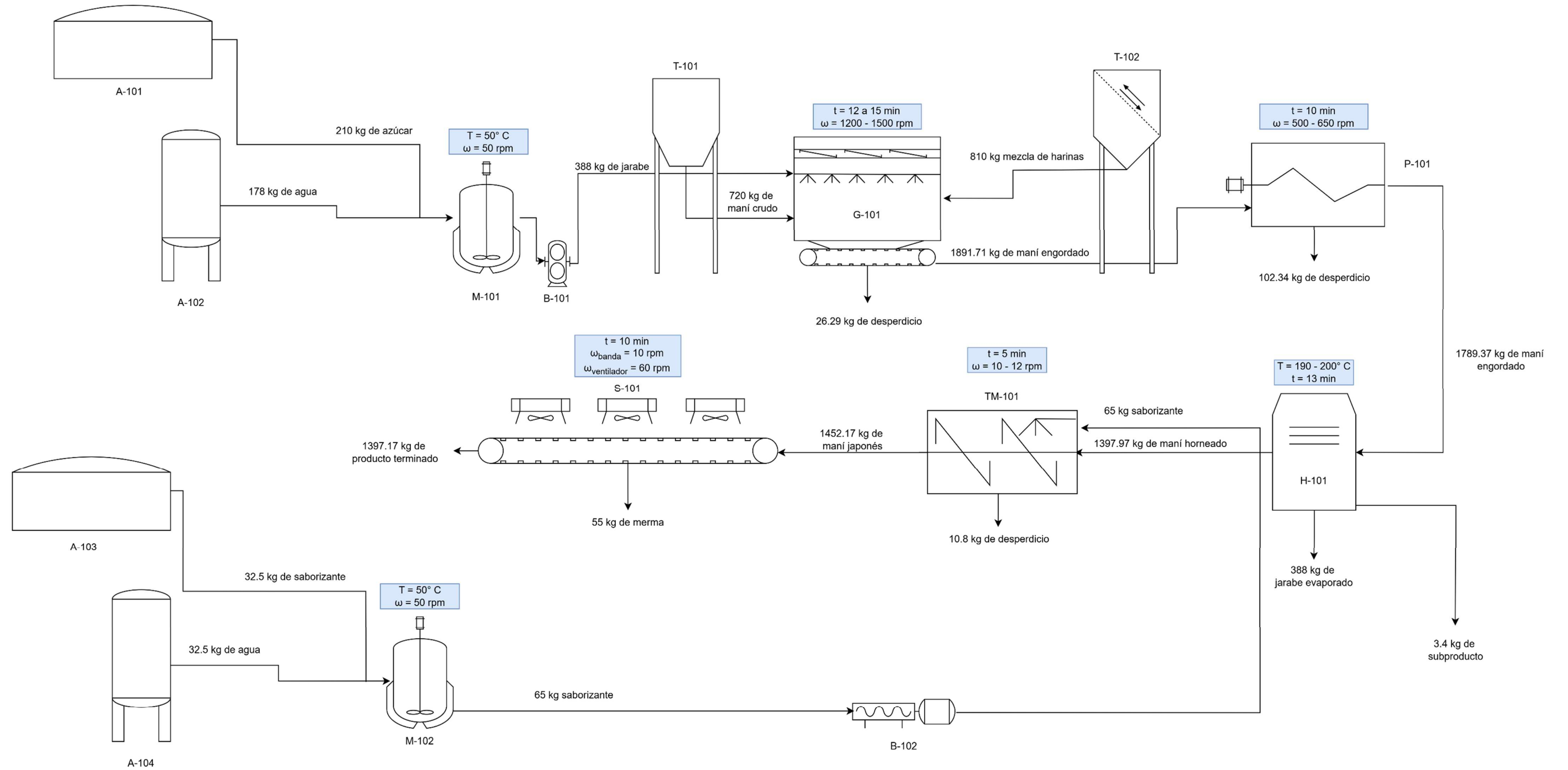
En la presente figura se representa el balance de masa y energía teórico para el proceso de producción de maní japonés. Un desglose de los elementos considerados para el balance de energía se ve presentado en el cuadro siguiente.

Cuadro 58. Desglose de balance de energía

Etiqueta	Equipo	Entradas de energía	Salidas / Uso de energía	Valor (kW)	Observaciones
M-101 M-102	Marmita	Trabajo eléctrico por motor	Aumento de temperatura del jarabe	0.95	Motor eléctrico de 1.5 HP, $t = 600$ s, $\eta = 0.85$
G-101	Grageadora	Trabajo eléctrico (motor trifásico)	Movimiento de tambor	5.65	$V = 460$ V, $I = 10.43$ A, $FP = 0.85$ , $t = 720$ s, $\eta = 0.80$
H-101	Horno	Energía térmica (combustión o resistencias)	Aumento de energía interna del producto	134.6	Calor neto entregado
T-102	Tamiz vibratorio	Motor eléctrico	Separación mecánica	0.95	Igual a marmita
TM-101	Tambor de sazonado	Motor monofásico	Rotación del tambor	0.876	$V = 230$ V, $I = 5.6$ A, $FP = 0.8$ , $t = 150$ s, $\eta = 0.85$
P-101	Pulidora	Motor eléctrico	Pulido mecánico	0.95	Igual a marmita
S-101	Banda secadora	Motor eléctrico	Movimiento de banda	0.95	Igual a marmita
S-101	Ventiladores	Motor eléctrico	Movimiento de aire	0.95	Igual a marmita
B-101	Bomba de jarabe	Compresor: $\Delta P = 6$ bar, $Q = 2.24 \times 10^{-4}$ m <sup>3</sup> /s	Flujo de fluido	0.03	$\dot{m} = 0.25$ kg/s, $\eta = 0.85$ , $t = 150$ s
B-102	Bomba de lóbulos	Compresor: $\Delta P = 10$ bar, $Q = 1.07 \times 10^{-4}$ m <sup>3</sup> /s	Flujo de fluido	0.123	$\dot{m} = 0.135$ kg/s, $\eta = 0.80$ , $t = 720$ s

Este cuadro resume el análisis de entradas y salidas de energía para cada equipo involucrado en el proceso de fabricación de maní japonés. Para cada equipo, se identifican las fuentes de energía utilizadas y los usos específicos de dicha energía, como el calentamiento de mezclas, transporte del producto o movimientos mecánicos. Se presentan los valores energéticos calculados en kilowatts (kW), obtenidos con base en parámetros técnicos como potencia del motor, tiempo de operación, voltaje, corriente, factor de potencia y eficiencia, lo cual se ve reflejado en los cálculos de muestra.

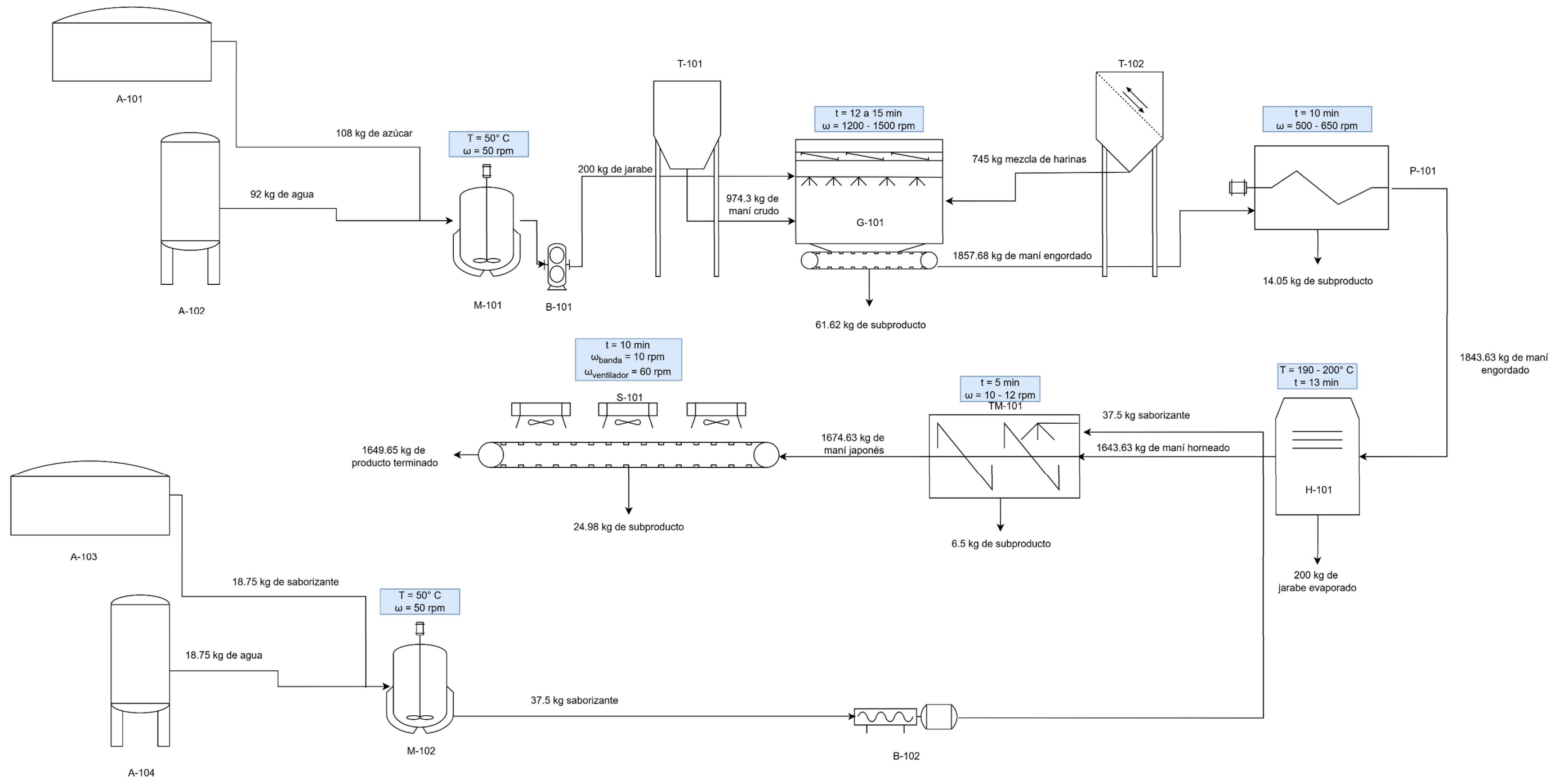
Figura 35. Balance de masa previo a la implementación de mejoras



Nota. Elaboración propia.

Esta figura muestra el balance de masa correspondiente al estado inicial del proceso productivo, previo a la implementación de mejoras, donde se identifican las principales entradas, salidas y pérdidas de materia en cada etapa de la línea de producción.

Figura 36. Balance de masa posterior a la implementación de mejoras

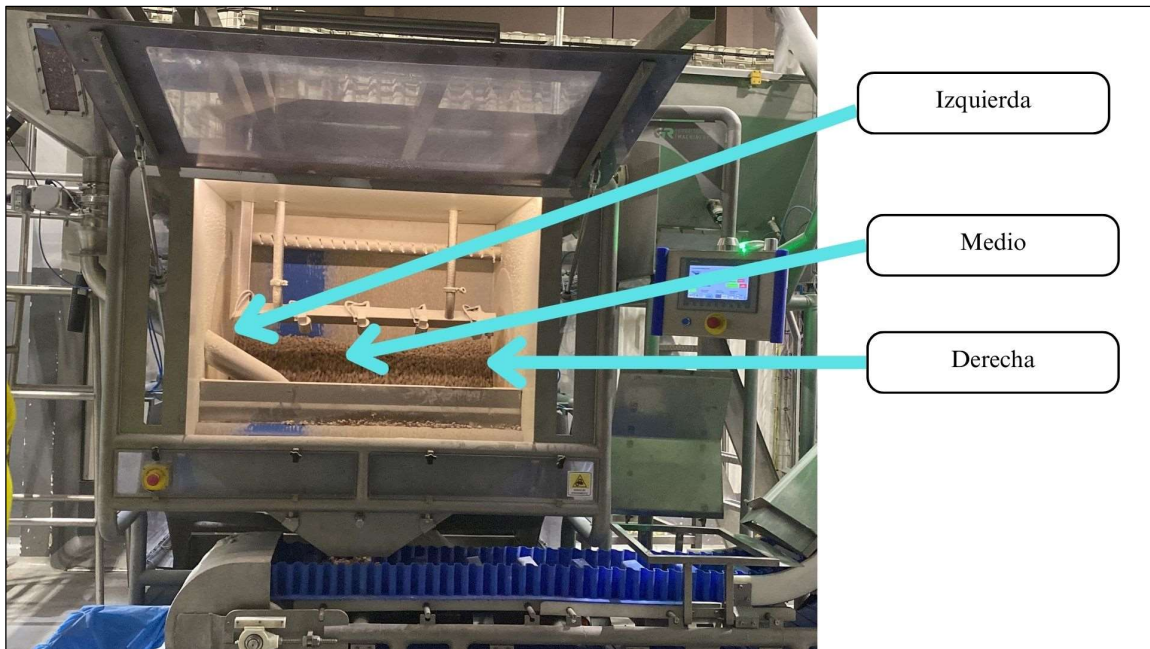


Nota. Elaboración propia.

La presente figura denota el balance de masa actualizado tras aplicar las mejoras propuestas en el proceso, en el cual se evidencian las reducciones en pérdidas de materia.

## 12.6 Parámetros de operación

Figura 37. Posición de toma de muestras en grageadora



Nota. Elaboración propia.

La presente figura muestra el equipo grageadora utilizado en el proceso de recubrimiento del maní. Se indican con flechas los tres puntos específicos de toma de muestras: izquierda, centro y derecha, correspondientes a distintas zonas de la salida del producto, y los cuales fueron seleccionados para evaluar la uniformidad del recubrimiento a lo largo del ancho del tambor y analizar posibles variaciones en la distribución del maní recubierto.

Cuadro 59. Parámetros de operación grageadora (prueba de 3 etapas)

Parámetro	Etapas 1	Etapas 2	Etapas 3
Tiempo de rociado ( $\pm 0.01$ s)	1.5	1.6	1.6
Tiempo de pausa ( $\pm 0.01$ s)	8	3	3
Tiempo de polvo ( $\pm 0.01$ s)	30	30	30
Tiempo de pausa ( $\pm 0.01$ s)	3	3	3
Ciclos	3	12	3
Velocidad de banda ( $\pm 1$ rpm)	1500	1500	1500

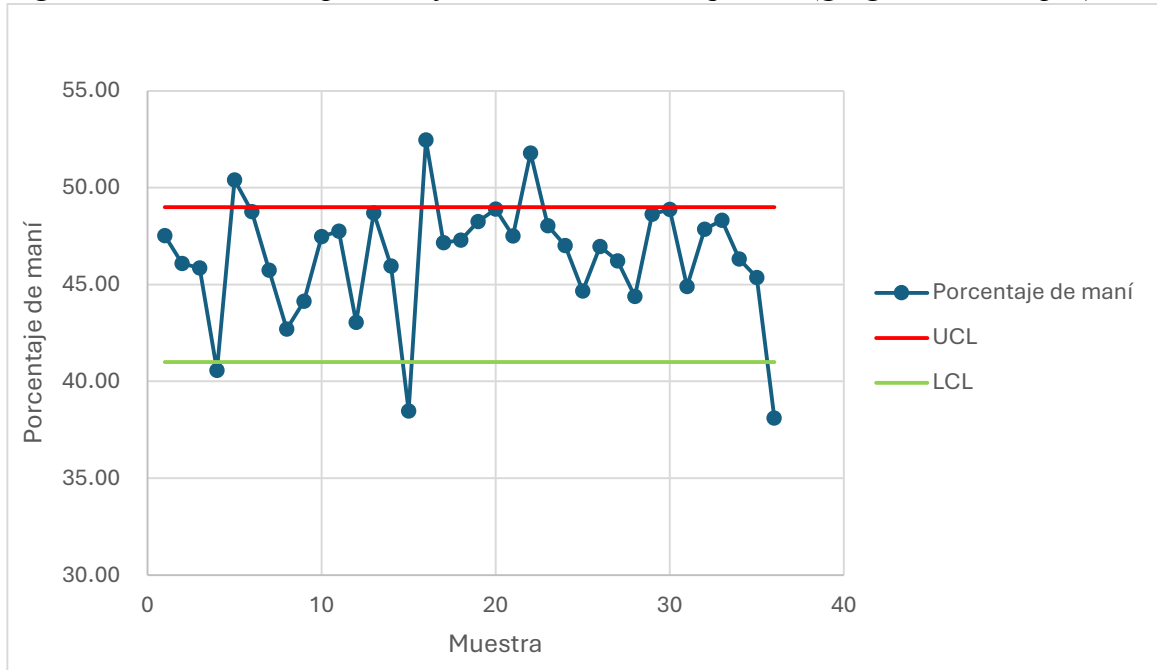
Este cuadro resume los parámetros programados para una prueba experimental en la grageadora, dividida en tres etapas diferenciadas. Se especifican los tiempos de rociado de jarabe, pausas, aplicación de polvo, y número de ciclos para cada etapa, así como la velocidad de rotación de la banda.

*Cuadro 60. Resultados prueba de 3 etapas grageadora (izquierda)*

<b>No.</b>	<b>Muestra</b>	<b>Brix (<math>\pm 0.2</math>)</b>	<b>Peso total (<math>\pm 0.2</math> g)</b>	<b>Peso maní (<math>\pm 0.2</math> g)</b>	<b>Porcentaje de maní</b>	<b>Incertidumbre</b>
1	2/09/24 08:06	53.00	12.6	5.7	45.24%	1.74%
			13.1	6.2	47.33%	1.69%
			12.4	6.1	49.19%	1.80%
2	2/09/24 08:32	52.90	12.7	5.2	40.94%	1.70%
			13	6.1	46.92%	1.70%
			13.5	6.1	45.19%	1.63%
3	2/09/24 08:50	53.20	12.67	5.9	46.57%	1.74%
			10.31	5.52	53.54%	2.20%
			11.32	5.89	52.03%	1.99%
4	2/09/24 10:15	52.90	13.3	5.8	43.61%	1.64%
			15.6	6.8	43.59%	1.40%
			13.3	6.7	50.38%	1.68%
5	2/09/24 10:42	53.00	13.5	6.8	50.37%	1.66%
			11.2	6.4	57.14%	2.06%
			11.4	6.2	54.39%	2.00%
6	2/09/24 11:10	52.90	11.3	5.69	50.35%	1.98%
			12.46	6.18	49.60%	1.79%
			10.98	5.29	48.18%	2.02%
7	3/09/24 08:15	52.80	16.3	6.6	40.49%	1.32%
			16.9	7.4	43.79%	1.29%
			15.5	7.2	46.45%	1.42%
8	3/09/24 08:37	53.00	14.9	6.3	42.28%	1.46%
			14.8	6.6	44.59%	1.48%
			12.1	5.4	44.63%	1.81%
9	3/09/24 08:58	52.50	17.4	6.65	38.22%	1.23%
			17.9	7.16	40.00%	1.20%
			16.4	6.89	42.01%	1.32%
10	3/09/24 10:15	53.40	20.4	9.3	45.59%	1.08%
			19	7.6	40.00%	1.13%
			17.8	7.4	41.57%	1.22%
11	3/09/24 10:37	53.00	18.2	8.1	44.51%	1.20%
			18.4	7.7	41.85%	1.18%
			18.8	9.2	48.94%	1.18%
12	3/09/24 11:00	52.60	17.11	6.94	40.56%	1.26%
			16.4	6.96	42.44%	1.32%
			18.2	7.65	42.03%	1.19%

En este cuadro se presentan los resultados obtenidos en la parte izquierda de la grageadora durante la prueba de tres etapas. Se detallan los valores de °Brix del jarabe, los pesos totales de las muestras, el peso específico del maní y el porcentaje de maní resultante con su incertidumbre asociada.

Figura 38. Variación de porcentaje de maní en lado izquierdo (grageadora 3 etapas)



Nota. Elaboración propia.

La presente figura contiene la variación del porcentaje de maní en el lado izquierdo del equipo durante una prueba con los ciclos divididos en 3 etapas.

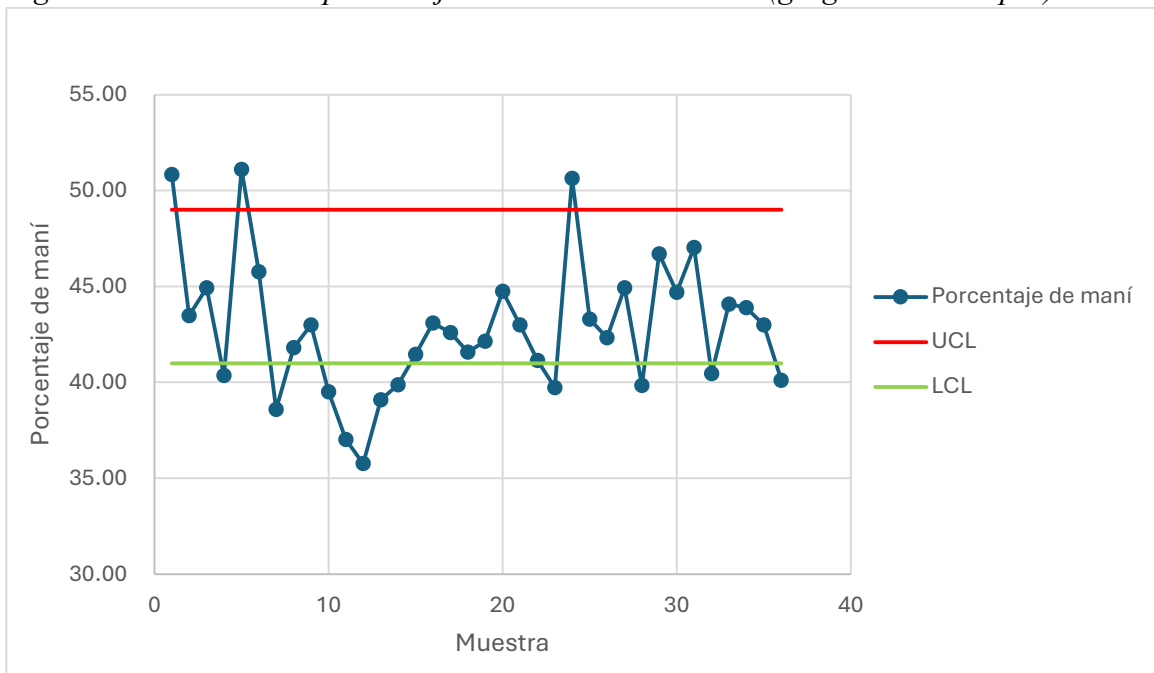
Cuadro 61. Resultados prueba de 3 etapas grageadora (medio)

No.	Muestra	Brix ( $\pm 0.2$ )	Peso total ( $\pm 0.2$ g)	Peso maní ( $\pm 0.2$ g)	Porcentaje de maní	Incertidumbre
1	2/09/24 08:06	53.00	12.0	6.1	50.83%	1.87%
			16.1	7	43.48%	1.35%
			13.8	6.2	44.93%	1.59%
2	2/09/24 08:32	52.90	16.6	6.7	40.36%	1.30%
			13.5	6.9	51.11%	1.66%
			14.2	6.5	45.77%	1.55%
3	2/09/24 08:50	53.20	15.45	5.96	38.58%	1.39%
			18.01	7.53	41.81%	1.20%
			16.05	6.9	42.99%	1.36%
4	2/09/24 10:15	52.90	16.2	6.4	39.51%	1.33%
			15.4	5.7	37.01%	1.38%

No.	Muestra	Brix ( $\pm 0.2$ )	Peso total ( $\pm 0.2$ g)	Peso maní ( $\pm 0.2$ g)	Porcentaje de maní	Incertidumbre
			15.1	5.4	35.76%	1.41%
5	2/09/24 10:42	53.00	17.4	6.8	39.08%	1.23%
			16.3	6.5	39.88%	1.32%
			15.2	6.3	41.45%	1.42%
6	2/09/24 11:10	52.90	17.4	7.5	43.10%	1.25%
			16.6	7.07	42.59%	1.31%
			19.96	8.3	41.58%	1.09%
7	3/09/24 08:15	52.80	16.3	6.6	42.14%	1.32%
			16.9	7.4	44.74%	1.29%
			15.5	7.2	43.00%	1.42%
8	3/09/24 08:37	53.00	14.9	6.3	41.14%	1.46%
			14.8	6.6	39.72%	1.48%
			12.1	5.4	50.63%	1.81%
9	3/09/24 08:58	52.50	17.4	6.65	43.29%	1.23%
			17.9	7.16	42.32%	1.20%
			16.4	6.89	44.92%	1.32%
10	3/09/24 10:15	53.40	20.4	9.3	39.84%	1.08%
			19	7.6	46.69%	1.13%
			17.8	7.4	44.69%	1.22%
11	3/09/24 10:37	53.00	18.2	8.1	47.03%	1.20%
			18.4	7.7	40.46%	1.18%
			18.8	9.2	44.07%	1.18%
12	3/09/24 11:00	52.60	17.11	6.94	43.89%	1.26%
			16.4	6.96	42.99%	1.32%
			18.2	7.65	40.10%	1.19%

Este cuadro es continuación del anterior y contiene los datos correspondientes al centro de la grageadora durante la prueba de tres etapas.

Figura 39. Variación de porcentaje de maní en lado medio (grageadora 3 etapas)



Nota. Elaboración propia.

La presente figura representa la variación del porcentaje de maní en el medio del equipo durante una prueba con los ciclos divididos en 3 etapas.

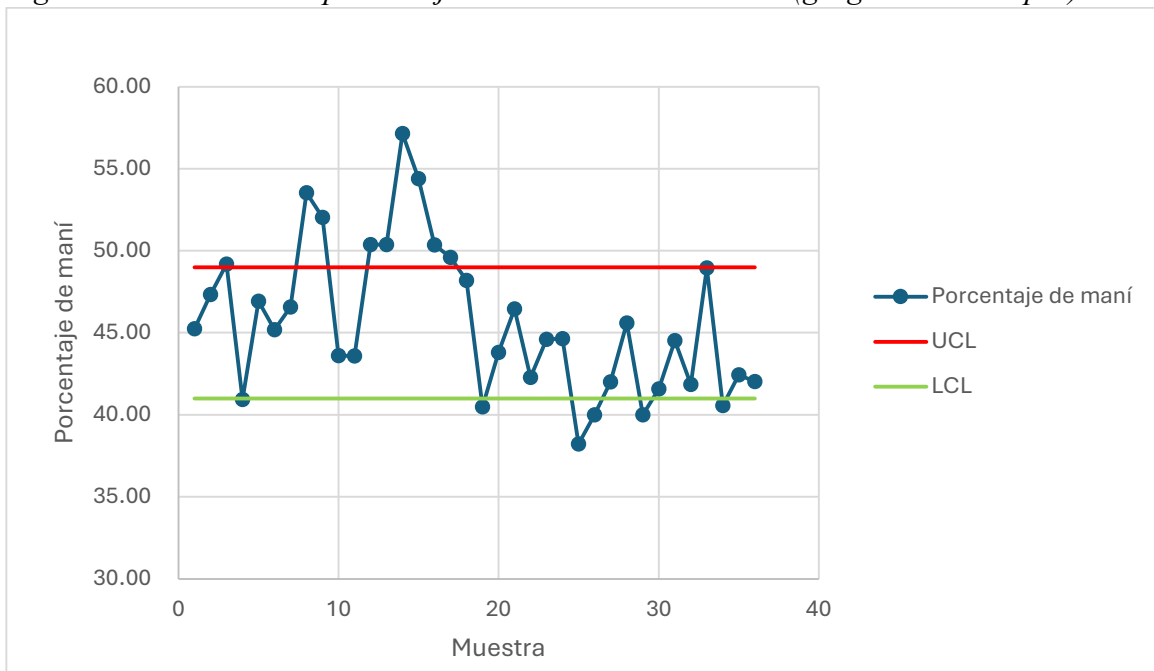
Cuadro 62. Resultados prueba de 3 etapas grageadora (derecha)

No.	Muestra	Brix ( $\pm 0.2$ )	Peso total ( $\pm 0.2$ g)	Peso maní ( $\pm 0.2$ g)	Porcentaje de maní	Incertidumbre
1	2/09/24 08:06	53.00	14.1	6.7	47.52%	1.57%
			12.8	5.9	46.09%	1.72%
			13.3	6.1	45.86%	1.65%
2	2/09/24 08:32	52.90	14.3	5.8	40.56%	1.51%
			12.7	6.4	50.39%	1.76%
			12.1	5.9	48.76%	1.84%
3	2/09/24 08:50	53.20	12.9	5.9	45.74%	1.70%
			14.52	6.2	42.70%	1.50%
			14.5	6.4	44.14%	1.51%
4	2/09/24 10:15	52.90	13.9	6.6	47.48%	1.59%
			13.4	6.4	47.76%	1.65%
			15.8	6.8	43.04%	1.38%
5	2/09/24 10:42	53.00	11.5	5.6	48.70%	1.93%
			14.8	6.8	45.95%	1.49%
			14.3	5.5	38.46%	1.50%

No.	Muestra	Brix ( $\pm 0.2$ )	Peso total ( $\pm 0.2$ g)	Peso maní ( $\pm 0.2$ g)	Porcentaje de maní	Incertidumbre
6	2/09/24 11:10	52.90	12.2	6.4	52.46%	1.85%
			12.3	5.8	47.15%	1.80%
			12.9	6.1	47.29%	1.71%
7	3/09/24 08:15	52.80	14.3	6.9	48.25%	1.55%
			13.5	6.6	48.89%	1.65%
			12	5.7	47.50%	1.85%
8	3/09/24 08:37	53.00	11.2	5.8	51.79%	2.01%
			10.2	4.9	48.04%	2.18%
			13.4	6.3	47.01%	1.65%
9	3/09/24 08:58	52.50	12.78	5.708	44.66%	1.71%
			13.5	6.34	46.96%	1.64%
			13.11	6.06	46.22%	1.68%
10	3/09/24 10:15	53.40	16	7.1	44.38%	1.37%
			14.6	7.1	48.63%	1.52%
			13.3	6.5	48.87%	1.67%
11	3/09/24 10:37	53.00	14.7	6.6	44.90%	1.49%
			14	6.7	47.86%	1.58%
			14.9	7.2	48.32%	1.49%
12	3/09/24 11:00	52.60	13.6	6.3	46.32%	1.62%
			13.67	6.2	45.35%	1.61%
			13.91	5.3	38.10%	1.54%

Aquí se presentan los resultados obtenidos en la parte derecha de la grageadora durante la prueba estructurada en tres etapas. Al igual que en los cuadros anteriores, se reportan valores de °Brix, pesos de muestra, porcentajes de maní e incertidumbres asociadas.

Figura 40. Variación de porcentaje de maní en lado derecho (grageadora 3 etapas)



Nota. Elaboración propia.

La presente figura contiene la variación del porcentaje de maní en el lado derecho del equipo durante una prueba con los ciclos divididos en 3 etapas.

Cuadro 63. Parámetros de operación grageadora (prueba de 17 ciclos)

Parámetro	Etapas 1	Etapas 2
Tiempo de rociado ( $\pm 0.01$ s)	1.7	1.6
Tiempo de pausa ( $\pm 0.01$ s)	15	8
Tiempo de polvo ( $\pm 0.01$ s)	36	34
Tiempo de pausa ( $\pm 0.01$ s)	30	30
Ciclos	3	14
Velocidad de banda ( $\pm 1$ rpm)	1200	1300

Este cuadro muestra los parámetros programados para una prueba extendida de grageado en dos etapas, acumulando un total de 17 ciclos. Se indican los tiempos de aplicación de jarabe, pausas, tiempos de polvo, número de ciclos y velocidades de rotación de la banda para cada etapa.

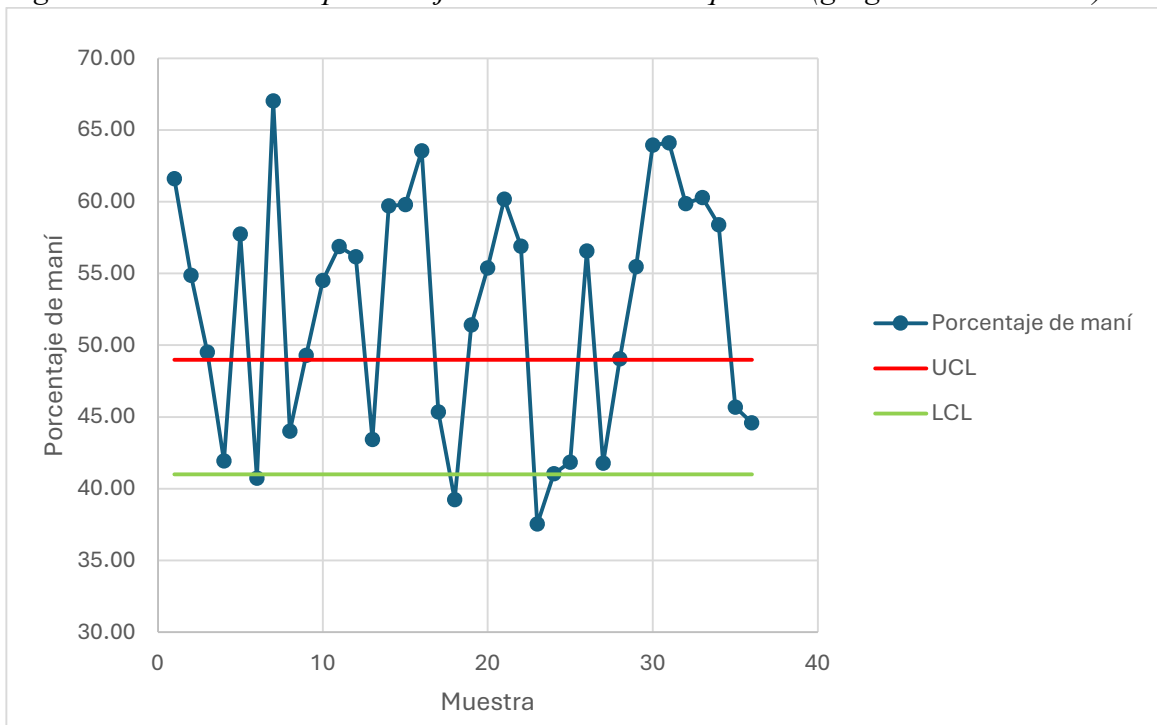
Cuadro 64. Resultados prueba de 17 ciclos grageadora (izquierda)

No.	Muestra	Brix ( $\pm 0.2$ )	Peso total ( $\pm 0.2$ g)	Peso maní ( $\pm 0.2$ g)	Porcentaje de maní	Incertidumbre
1	4/09/24 08:00	52.50	14.56	8.97	61.61	1.61
			14.03	7.70	54.88	1.63
			13.43	6.65	49.52	1.66

No.	Muestra	Brix ( $\pm 0.2$ )	Peso total ( $\pm 0.2$ g)	Peso maní ( $\pm 0.2$ g)	Porcentaje de maní	Incertidumbre
2	4/09/24 08:30	53.40	13.81	5.79	41.93	1.57
			14.25	8.23	57.75	1.62
			14.71	5.99	40.72	1.47
3	4/09/24 08:52	53.60	12.98	8.70	67.03	1.85
			14.00	6.16	44.00	1.56
			14.32	7.06	49.30	1.56
4	4/09/24 10:00	54.20	13.65	7.44	54.51	1.67
			12.99	7.39	56.89	1.77
			14.26	8.01	56.17	1.61
5	4/09/24 10:35	53.00	14.39	6.25	43.43	1.52
			13.38	7.99	59.72	1.74
			13.88	8.30	59.80	1.68
6	4/09/24 11:10	52.80	13.72	8.72	63.56	1.73
			14.40	6.53	45.35	1.53
			14.50	5.69	39.24	1.48
7	5/09/24 08:12	53.00	14.39	7.40	51.42	1.56
			13.58	7.52	55.38	1.68
			14.39	8.66	60.18	1.62
8	5/09/24 08:35	53.20	14.71	8.37	56.90	1.56
			14.68	5.51	37.53	1.46
			13.45	5.52	41.04	1.61
9	5/09/24 08:50	53.20	14.70	6.15	41.84	1.47
			12.96	7.33	56.56	1.77
			14.36	6.00	41.78	1.51
10	5/09/24 10:25	53.10	14.33	7.03	49.06	1.55
			13.72	7.61	55.47	1.67
			13.62	8.71	63.95	1.74
11	5/09/24 10:50	53.40	13.15	8.43	64.11	1.81
			13.11	7.85	59.88	1.78
			13.98	8.43	60.30	1.67
12	5/09/24 11:15	52.80	14.54	8.49	58.39	1.59
			13.68	6.25	45.69	1.61
			13.41	5.98	44.59	1.63

Este cuadro presenta los datos obtenidos en la zona izquierda de la grageadora durante una prueba de 17 ciclos de recubrimiento, con las mediciones de peso total, peso de maní, porcentaje y su incertidumbre.

Figura 41. Variación de porcentaje de maní en lado izquierdo (grageadora 17 ciclos)



Nota. Elaboración propia.

La presente figura contiene la variación del porcentaje de maní concentrado en el lado izquierdo del equipo durante una prueba con 17 ciclos.

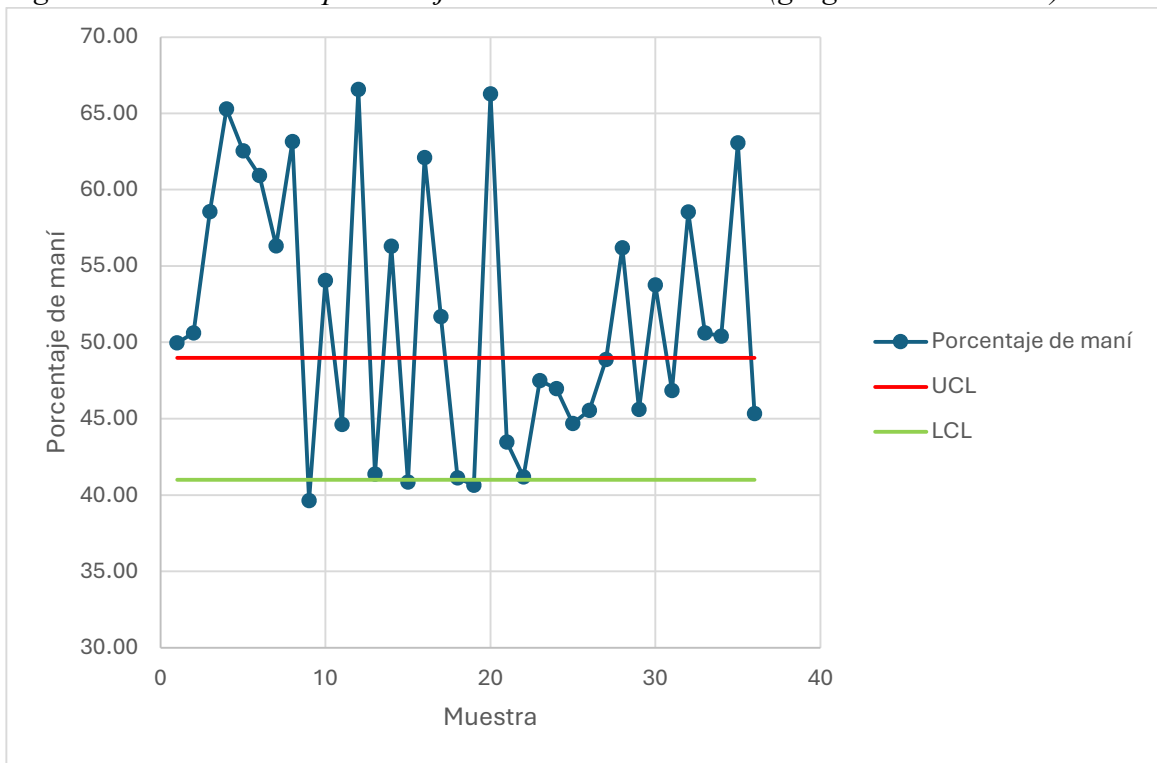
Cuadro 65. Resultados prueba de 17 ciclos grageadora (medio)

No.	Muestra	Brix ( $\pm 0.2$ )	Peso total ( $\pm 0.2$ g)	Peso maní ( $\pm 0.2$ g)	Porcentaje de maní	Incertidumbre
1	4/09/24 08:00	52.50	13.15	6.57	49.96	1.70
			14.72	7.45	50.61	1.52
			13.42	7.86	58.57	1.73
2	4/09/24 08:30	53.40	13.74	8.97	65.28	1.74
			13.8	8.63	62.54	1.71
			14.79	9.01	60.92	1.58
3	4/09/24 08:52	53.60	14.08	7.93	56.32	1.63
			12.97	8.19	63.15	1.82
			13.9	5.51	39.64	1.55
4	4/09/24 10:00	54.20	12.93	6.99	54.06	1.76
			13.2	5.89	44.62	1.66
			13.16	8.76	66.57	1.83
5	4/09/24 10:35	53.00	13.78	5.7	41.36	1.57
			14.19	7.99	56.31	1.62

No.	Muestra	Brix ( $\pm 0.2$ )	Peso total ( $\pm 0.2$ g)	Peso maní ( $\pm 0.2$ g)	Porcentaje de maní	Incertidumbre
			14.69	6	40.84	1.47
6	4/09/24 11:10	52.80	14.51	9.01	62.10	1.62
			14.22	7.35	51.69	1.58
			14.64	6.02	41.12	1.48
7	5/09/24 08:12	53.00	13.58	5.52	40.65	1.59
			13.46	8.92	66.27	1.78
			13.69	5.95	43.46	1.59
8	5/09/24 08:35	53.20	14.74	6.07	41.18	1.47
			14.4	6.84	47.50	1.54
			13.73	6.45	46.98	1.61
9	5/09/24 08:50	53.20	14.7	6.57	44.69	1.49
			13.37	6.09	45.55	1.64
			13.73	6.71	48.87	1.62
10	5/09/24 10:25	53.10	13.56	7.62	56.19	1.69
			13.99	6.38	45.60	1.57
			12.93	6.95	53.75	1.76
11	5/09/24 10:50	53.40	14.41	6.75	46.84	1.53
			13.77	8.06	58.53	1.68
			14.4	7.29	50.63	1.56
12	5/09/24 11:15	52.80	14.56	7.34	50.41	1.54
			13.27	8.37	63.07	1.78
			13.59	6.16	45.33	1.62

En esta sección se muestran los resultados correspondientes al centro de la grageadora bajo las condiciones de 17 ciclos.

Figura 42. Variación de porcentaje de maní en lado medio (grageadora 17 ciclos)



Nota. Elaboración propia.

Esta figura contiene la variación del porcentaje de maní en el lado de en medio del equipo durante una prueba con 17 ciclos.

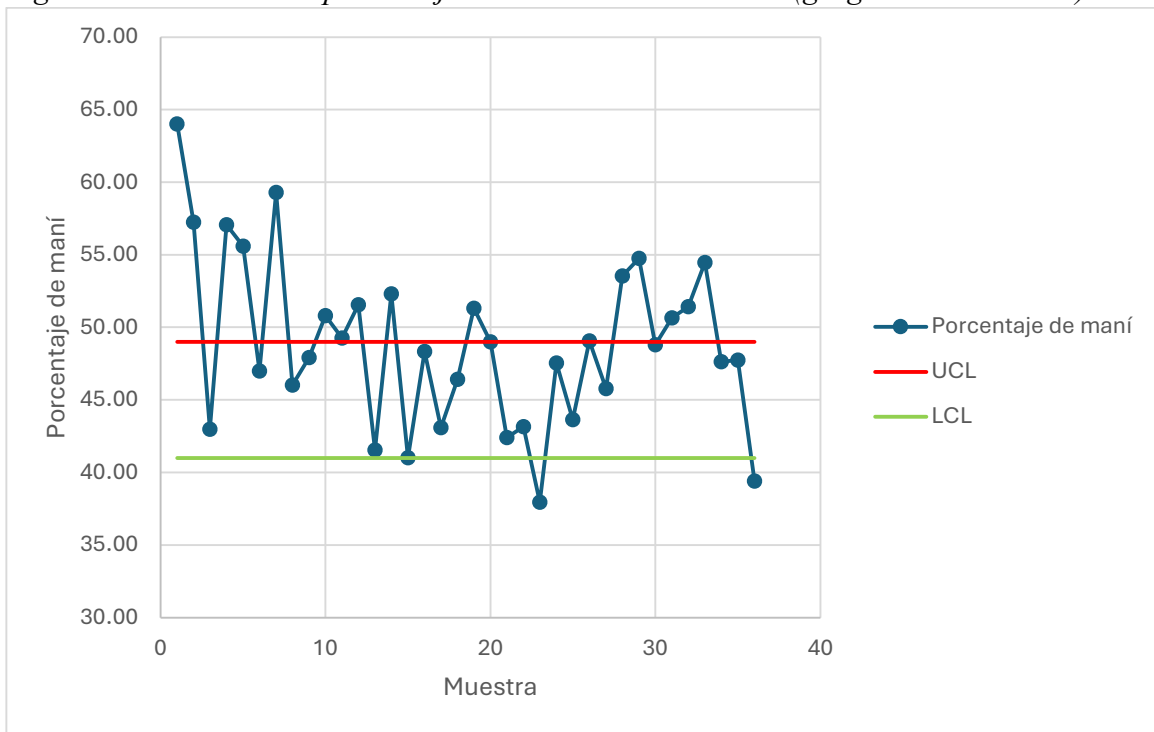
Cuadro 66. Resultados prueba de 17 ciclos grageadora (derecha)

No.	Muestra	Brix ( $\pm 0.2$ )	Peso total ( $\pm 0.2$ g)	Peso maní ( $\pm 0.2$ g)	Porcentaje de maní	Incertidumbre
1	4/09/24 08:00	52.50	13.00	8.32	64.00	1.83
			13.35	7.64	57.23	1.73
			13.33	5.73	42.99	1.63
2	4/09/24 08:30	53.40	13.16	7.51	57.07	1.75
			12.90	7.17	55.58	1.77
			13.28	6.24	46.99	1.66
3	4/09/24 08:52	53.60	13.24	7.85	59.29	1.76
			13.47	6.20	46.03	1.63
			13.36	6.40	47.90	1.66
4	4/09/24 10:00	54.20	12.99	6.60	50.81	1.73
			12.99	6.40	49.27	1.72
			13.19	6.80	51.55	1.71
5		53.00	13.48	5.60	41.54	1.61

No.	Muestra	Brix ( $\pm 0.2$ )	Peso total ( $\pm 0.2$ g)	Peso maní ( $\pm 0.2$ g)	Porcentaje de maní	Incertidumbre
	4/09/24 10:35		13.00	6.80	52.31	1.74
			13.41	5.50	41.01	1.61
6	4/09/24 11:10	52.80	13.24	6.40	48.34	1.68
			13.46	5.80	43.09	1.62
			13.14	6.10	46.42	1.68
7	5/09/24 08:12	53.00	13.45	6.90	51.30	1.67
			13.47	6.60	49.00	1.65
			13.44	5.70	42.41	1.62
8	5/09/24 08:35	53.20	13.44	5.80	43.15	1.62
			12.91	4.90	37.96	1.66
			13.25	6.30	47.55	1.67
9	5/09/24 08:50	53.20	13.08	5.71	43.64	1.67
			12.92	6.34	49.07	1.72
			13.24	6.06	45.77	1.66
10	5/09/24 10:25	53.10	13.26	7.10	53.54	1.71
			12.97	7.10	54.74	1.76
			13.32	6.50	48.80	1.67
11	5/09/24 10:50	53.40	13.03	6.60	50.65	1.72
			13.03	6.70	51.42	1.73
			13.22	7.20	54.46	1.72
12	5/09/24 11:15	52.80	13.23	6.30	47.62	1.67
			12.99	6.20	47.73	1.71
			13.45	5.30	39.41	1.60

Este cuadro detalla los resultados de la prueba de 17 ciclos en el lado derecho de la graeadora con todas las mediciones ya antes descritas.

Figura 43. Variación de porcentaje de maní en lado derecho (grageadora 17 ciclos)



Nota. Elaboración propia.

Esta figura contiene la variación del porcentaje de maní concentrado en el lado derecho del equipo durante una prueba con 17 ciclos.

Cuadro 67. Parámetros de operación grageadora (prueba de 16 ciclos)

Parámetro	Etapas 1	Etapas 2
Tiempo de rociado ( $\pm 0.01$ s)	1.5	1.6
Tiempo de pausa ( $\pm 0.01$ s)	15	10
Tiempo de polvo ( $\pm 0.01$ s)	35	32
Tiempo de pausa ( $\pm 0.01$ s)	30	30
Ciclos	4	12
Velocidad de banda ( $\pm 1$ rpm)	1200	1300

Se presentan los parámetros programados para la operación de la grageadora durante una prueba de 16 ciclos divididos en dos etapas. Al igual que en las otras pruebas, se detallan los tiempos de rociado y pausa, tanto del jarabe como del polvo, número de ciclos por etapa y la velocidad de la banda.

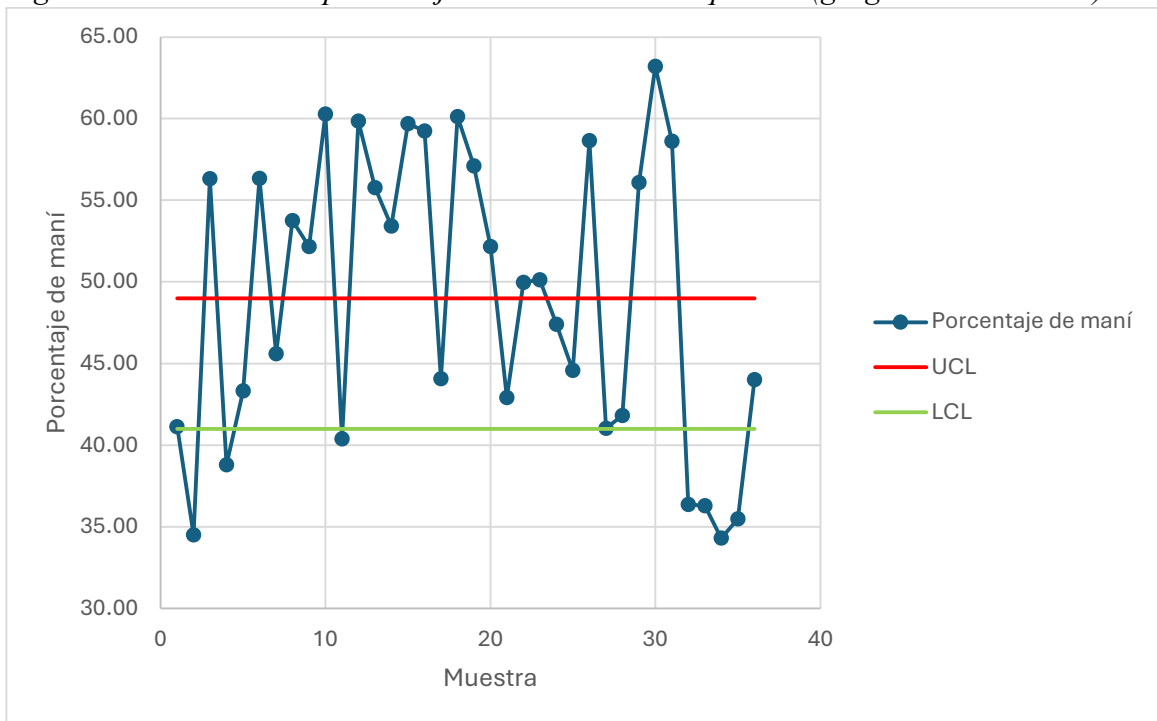
Cuadro 68. Resultados prueba de 16 ciclos grageadora (izquierda)

No.	Muestra	Brix ( $\pm 0.2$ )	Peso total ( $\pm 0.2$ g)	Peso maní ( $\pm 0.2$ g)	Porcentaje de maní	Incertidumbre
1	16/09/24 07:50	52.30	15.56	6.40	41.13	1.39
			13.68	4.72	34.50	1.55
			14.70	8.28	56.33	1.56

No.	Muestra	Brix ( $\pm 0.2$ )	Peso total ( $\pm 0.2$ g)	Peso maní ( $\pm 0.2$ g)	Porcentaje de maní	Incertidumbre
2	16/09/24 08:15	53.50	15.75	6.11	38.79	1.36
			14.91	6.46	43.33	1.46
			15.39	8.67	56.34	1.49
3	16/09/24 08:52	53.80	14.54	6.63	45.60	1.51
			15.18	8.16	53.75	1.50
			15.53	8.10	52.16	1.45
4	16/09/24 09:30	53.00	14.10	8.50	60.28	1.66
			14.88	6.01	40.39	1.45
			13.90	8.32	59.86	1.68
5	16/09/24 10:00	52.60	15.24	8.50	55.77	1.50
			13.61	7.27	53.42	1.67
			14.34	8.56	59.69	1.62
6	16/09/24 10:30	52.90	14.99	8.88	59.24	1.55
			15.16	6.68	44.06	1.44
			13.49	8.11	60.12	1.73
7	17/09/24 08:10	52.80	14.76	8.43	57.11	1.56
			14.80	7.72	52.16	1.52
			14.40	6.18	42.92	1.51
8	17/09/24 08:42	53.20	13.63	6.81	49.96	1.64
			15.68	7.86	50.13	1.43
			15.61	7.40	47.41	1.42
9	17/09/24 09:20	53.20	13.66	6.09	44.58	1.60
			13.81	8.10	58.65	1.68
			14.67	6.02	41.04	1.47
10	17/09/24 10:35	54.30	13.44	5.62	41.82	1.61
			15.19	8.52	56.09	1.51
			13.75	8.69	63.20	1.72
11	17/09/24 11:10	53.60	15.15	8.88	58.61	1.53
			14.35	5.22	36.38	1.48
			13.92	5.05	36.28	1.53
12	17/09/24 11:38	53.60	13.70	4.70	34.31	1.54
			15.13	5.37	35.49	1.40
			14.86	6.54	44.01	1.47

Este cuadro muestra los resultados obtenidos en la zona izquierda de la grageadora durante la prueba de 16 ciclos.

Figura 44. Variación de porcentaje de maní en lado izquierdo (grageadora 16 ciclos)



Nota. Elaboración propia.

Esta figura contiene la variación del porcentaje de maní en el lado izquierdo de la grageadora durante una prueba con 16 ciclos.

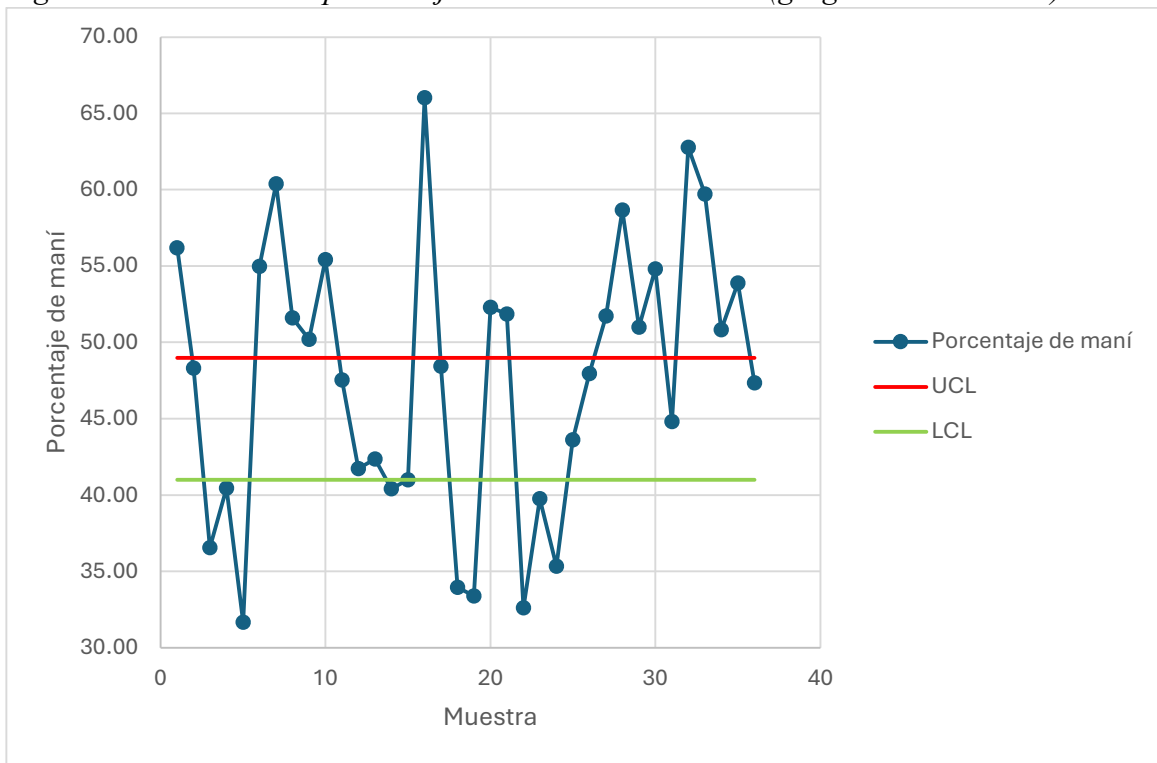
Cuadro 69. Resultados prueba de 16 ciclos grageadora (medio)

No.	Muestra	Brix ( $\pm 0.2$ )	Peso total ( $\pm 0.2$ g)	Peso maní ( $\pm 0.2$ g)	Porcentaje de maní	Incertidumbre
1	16/09/24 07:50	52.30	15.48	8.7	56.20	1.48
			12.19	5.89	48.32	1.82
			14.99	5.48	36.56	1.42
2	16/09/24 08:15	53.50	15.33	6.2	40.44	1.41
			15.76	4.99	31.66	1.33
			12.17	6.69	54.97	1.88
3	16/09/24 08:52	53.80	13.86	8.37	60.39	1.69
			12.81	6.61	51.60	1.76
			15.76	7.91	50.19	1.42
4	16/09/24 09:30	53.00	12.85	7.12	55.41	1.78
			12.2	5.8	47.54	1.82
			13.3	5.55	41.73	1.63
5	16/09/24 10:00	52.60	15.79	6.69	42.37	1.38
			12.37	5	40.42	1.74
			13.34	5.47	41.00	1.62

<b>No.</b>	<b>Muestra</b>	<b>Brix (<math>\pm 0.2</math>)</b>	<b>Peso total (<math>\pm 0.2</math> g)</b>	<b>Peso maní (<math>\pm 0.2</math> g)</b>	<b>Porcentaje de maní</b>	<b>Incertidumbre</b>
6	16/09/24 10:30	52.90	13.27	8.76	66.01	1.81
			14.33	6.94	48.43	1.55
			13.61	4.62	33.95	1.55
7	17/09/24 08:10	52.80	15.48	5.17	33.40	1.36
			12.6	6.59	52.30	1.79
			15.66	8.12	51.85	1.44
8	17/09/24 08:42	53.20	14.9	4.86	32.62	1.41
			15.47	6.15	39.75	1.39
			13.61	4.81	35.34	1.56
9	17/09/24 09:20	53.20	15.43	6.73	43.62	1.41
			14.99	7.19	47.97	1.48
			12.97	6.71	51.73	1.74
10	17/09/24 10:35	54.30	12.99	7.62	58.66	1.78
			12.51	6.38	51.00	1.79
			12.68	6.95	54.81	1.80
11	17/09/24 11:10	53.60	15.06	6.75	44.82	1.46
			12.84	8.06	62.77	1.84
			12.21	7.29	59.71	1.91
12	17/09/24 11:38	53.60	14.44	7.34	50.83	1.55
			15.53	8.37	53.90	1.46
			13.01	6.16	47.35	1.70

En el presente cuadro se registran los resultados del centro de la grageadora en la prueba de 16 ciclos.

Figura 45. Variación de porcentaje de maní en lado medio (grageadora 16 ciclos)



Nota. Elaboración propia.

Esta figura contiene la variación del porcentaje de maní tomado de en medio del equipo durante una prueba con 16 ciclos.

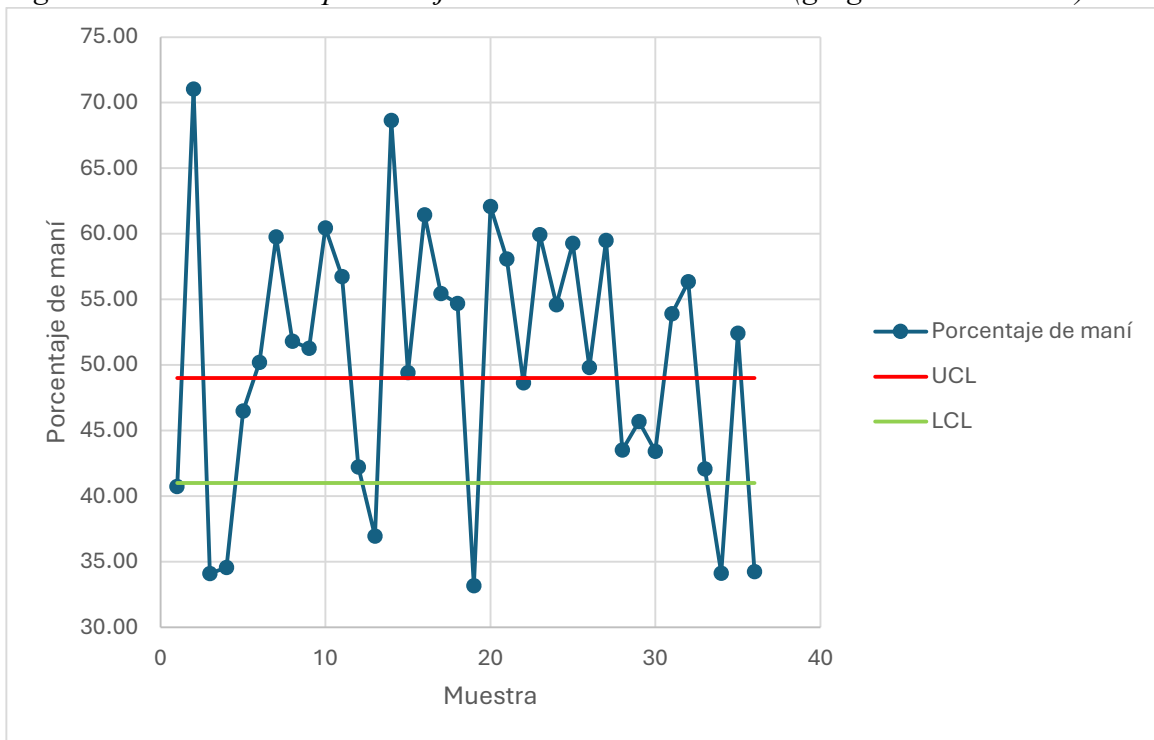
Cuadro 70. Resultados prueba de 16 ciclos grageadora (derecha)

No.	Muestra	Brix ( $\pm 0.2$ )	Peso total ( $\pm 0.2$ g)	Peso maní ( $\pm 0.2$ g)	Porcentaje de maní	Incertidumbre
1	16/09/24 07:50	52.30	12.60	5.13	40.71	1.71
			12.46	8.85	71.03	1.97
			13.35	4.55	34.08	1.58
2	16/09/24 08:15	53.50	13.40	4.63	34.55	1.58
			14.37	6.68	46.49	1.53
			13.81	6.93	50.18	1.62
3	16/09/24 08:52	53.80	12.57	7.51	59.75	1.85
			13.03	6.75	51.80	1.73
			14.20	7.28	51.27	1.58
4	16/09/24 09:30	53.00	13.60	8.22	60.44	1.72
			12.94	7.34	56.72	1.78
			12.41	5.24	42.22	1.75
5	16/09/24 10:00	52.60	13.67	5.05	36.94	1.56
			12.94	8.88	68.62	1.87

<b>No.</b>	<b>Muestra</b>	<b>Brix (<math>\pm 0.2</math>)</b>	<b>Peso total (<math>\pm 0.2</math> g)</b>	<b>Peso maní (<math>\pm 0.2</math> g)</b>	<b>Porcentaje de maní</b>	<b>Incertidumbre</b>
			13.80	6.82	49.42	1.62
6	16/09/24 10:30	52.90	13.82	8.49	61.43	1.70
			14.45	8.01	55.43	1.58
			13.26	7.25	54.68	1.72
7	17/09/24 08:10	52.80	13.75	4.56	33.16	1.53
			13.37	8.30	62.08	1.76
			14.86	8.63	58.08	1.56
8	17/09/24 08:42	53.20	14.52	7.06	48.62	1.53
			14.22	8.52	59.92	1.64
			14.49	7.91	54.59	1.57
9	17/09/24 09:20	53.20	14.46	8.57	59.27	1.61
			12.59	6.27	49.80	1.77
			14.81	8.81	59.49	1.57
10	17/09/24 10:35	54.30	13.33	5.80	43.51	1.64
			13.09	5.98	45.68	1.68
			13.22	5.74	43.42	1.65
11	17/09/24 11:10	53.60	14.64	7.89	53.89	1.55
			13.54	7.63	56.35	1.70
			13.05	5.49	42.07	1.66
12	17/09/24 11:38	53.60	13.31	4.54	34.11	1.59
			13.68	7.17	52.41	1.65
			13.76	4.71	34.23	1.54

Este cuadro recoge los datos del lado derecho de la grageadora durante la prueba de 16 ciclos.

Figura 46. Variación de porcentaje de maní en lado derecho (grageadora 16 ciclos)



Nota. Elaboración propia.

Esta figura contiene la variación del porcentaje de maní concentrado en el lado derecho del equipo durante una prueba con 16 ciclos.

Cuadro 71. Parámetros de operación pulidora (prueba mayor tiempo de residencia)

Parámetro	Valor
Giro normal ( $\pm 1$ rpm)	650
Contra giro ( $\pm 1$ rpm)	500
Tiempo de residencia ( $\pm 0.01$ s)	900

Este cuadro presenta los parámetros establecidos para la prueba en la que se incrementó el tiempo de residencia dentro de la pulidora. Se mantuvieron constantes las velocidades del giro normal y del contra giro, mientras que el tiempo de residencia fue aumentado a 900 segundos, permitiendo evaluar el efecto de una mayor permanencia del producto en esta etapa sobre el porcentaje de maní adherido.

Cuadro 72. Resultados mayor tiempo de residencia en pulidora

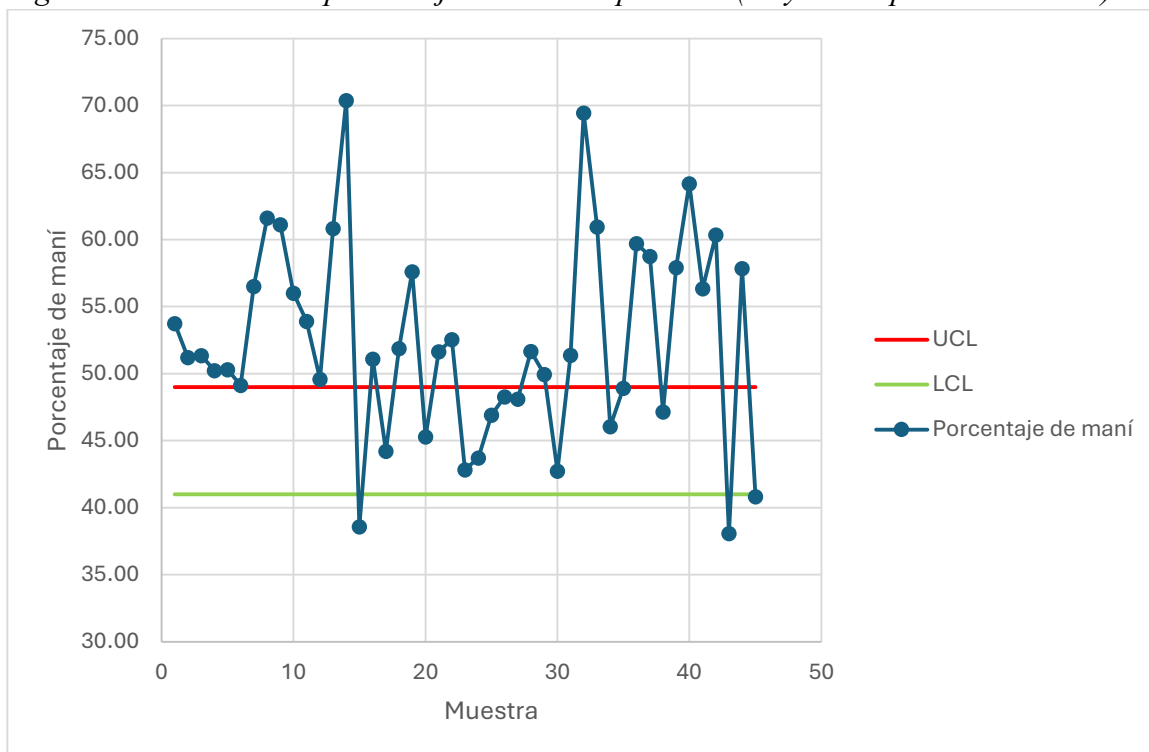
No.	Muestra	Peso total ( $\pm 0.2$ g)	Peso maní ( $\pm 0.2$ g)	Porcentaje de maní	Incertidumbre
1	18/09/24 07:50	11.50	6.18	53.74	1.97
		11.01	5.64	51.23	2.04
		13.14	6.75	51.37	1.71
2	18/09/24 08:15	10.23	5.14	50.24	2.19
		11.43	5.75	50.31	1.96

No.	Muestra	Peso total ( $\pm 0.2$ g)	Peso maní ( $\pm 0.2$ g)	Porcentaje de maní	Incertidumbre
		13.35	6.56	49.14	1.67
3	18/09/24 08:40	9.91	5.60	56.51	2.32
		11.13	6.86	61.64	2.11
		11.55	7.06	61.13	2.03
4	18/09/24 09:05	12.16	6.81	56.00	1.89
		10.20	5.50	53.92	2.23
		13.49	6.69	49.59	1.65
5	18/09/24 10:30	11.57	7.04	60.85	2.02
		9.93	6.99	70.39	2.46
		13.19	5.09	38.59	1.63
6	18/09/24 10:55	11.35	5.80	51.10	1.98
		11.31	5.00	44.21	1.93
		11.18	5.80	51.88	2.02
7	18/09/24 11:20	9.91	5.71	57.62	2.33
		12.01	5.44	45.30	1.83
		13.01	6.72	51.65	1.73
8	18/09/24 11:45	10.22	5.37	52.54	2.21
		12.89	5.52	42.82	1.69
		12.90	5.64	43.72	1.69
9	18/09/24 12:10	12.47	5.85	46.91	1.77
		12.28	5.93	48.29	1.81
		11.06	5.32	48.10	2.01
10	18/09/24 12:35	12.95	6.69	51.66	1.74
		12.79	6.39	49.96	1.75
		12.89	5.51	42.75	1.69
11	18/09/24 14:00	12.57	6.46	51.39	1.79
		9.89	6.87	69.46	2.46
		10.14	6.18	60.95	2.31
12	18/09/24 14:25	11.68	5.38	46.06	1.89
		12.88	6.30	48.91	1.73
		10.82	6.46	59.70	2.15
13	18/09/24 14:50	12.05	7.08	58.76	1.93
		12.45	5.87	47.15	1.78
		10.67	6.18	57.92	2.17
14	18/09/24 15:15	11.14	7.15	64.18	2.13
		10.22	5.76	56.36	2.25
		10.52	6.35	60.36	2.22
15	18/09/24 15:50	13.21	5.03	38.08	1.62

No.	Muestra	Peso total ( $\pm 0.2$ g)	Peso maní ( $\pm 0.2$ g)	Porcentaje de maní	Incertidumbre
		12.60	7.29	57.86	1.83
		12.32	5.03	40.83	1.75

Se presentan los resultados obtenidos para los lotes de muestras procesadas con el tiempo de residencia extendido. Para cada muestra se midió el peso total, el peso de maní adherido y se calculó el porcentaje correspondiente, incluyendo la incertidumbre.

Figura 47. Variación de porcentaje de maní en pulidora (mayor tiempo de residencia)



Nota. Elaboración propia.

Esta figura contiene la variación del porcentaje de maní a la salida de la pulidora en una prueba con mayor tiempo de residencia (900 segundos).

Cuadro 73. Parámetros de operación pulidora (prueba menor tiempo de residencia)

Parámetro	Valor
Giro normal ( $\pm 1$ rpm)	650
Contra giro ( $\pm 1$ rpm)	500
Tiempo de residencia ( $\pm 0.01$ s)	420

Aquí se describen los parámetros utilizados en la prueba con tiempo de residencia reducido. Las velocidades de giro se mantuvieron iguales a la prueba anterior, pero el tiempo de residencia se disminuyó a 420 segundos.

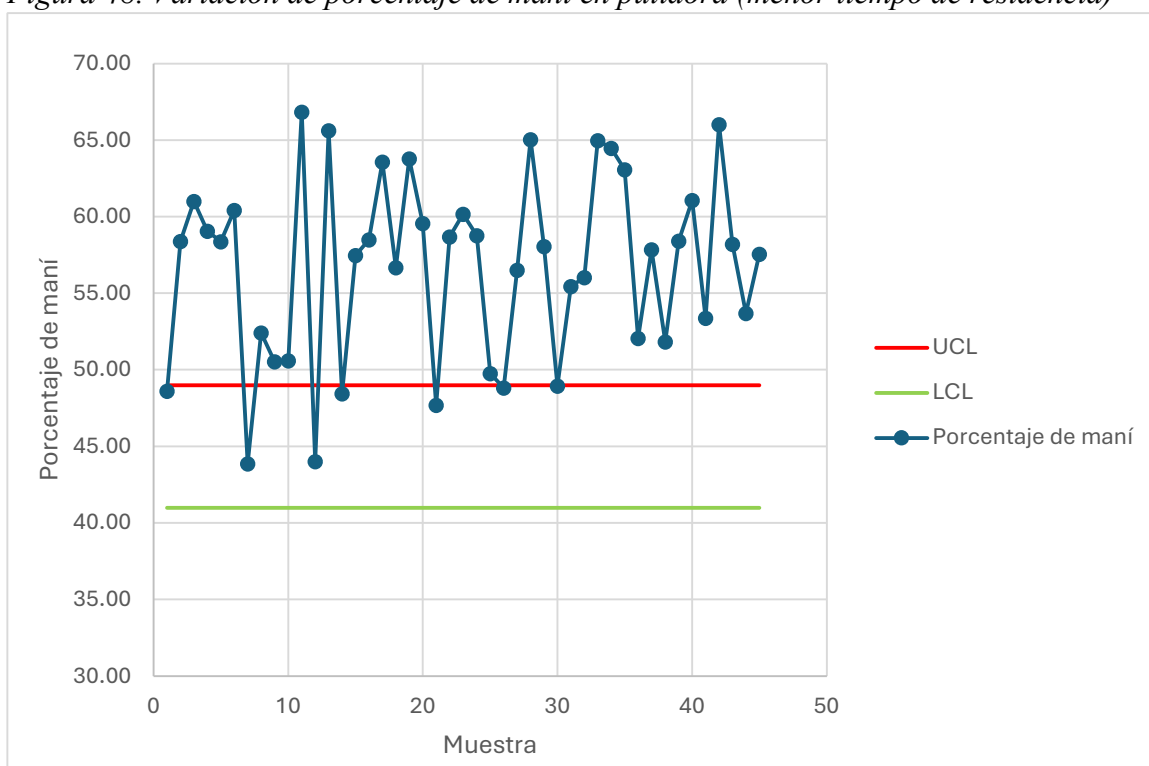
*Cuadro 74. Resultados menor tiempo de residencia en pulidora*

<b>No.</b>	<b>Muestra</b>	<b>Peso total (<math>\pm 0.2</math> g)</b>	<b>Peso maní (<math>\pm 0.2</math> g)</b>	<b>Porcentaje de maní</b>	<b>Incertidumbre</b>
1	19/09/24 07:50	11.81	5.74	48.60	1.88
		10.79	6.30	58.39	2.15
		11.69	7.13	60.99	2.00
2	19/09/24 08:15	11.31	6.68	59.06	2.05
		12.42	7.25	58.37	1.86
		10.28	6.21	60.41	2.27
3	19/09/24 08:40	11.67	5.12	43.87	1.87
		10.59	5.55	52.41	2.13
		11.32	5.72	50.53	1.98
4	19/09/24 09:05	10.20	5.16	50.59	2.20
		9.95	6.65	66.83	2.42
		11.84	5.21	44.00	1.85
5	19/09/24 10:30	10.73	7.04	65.61	2.23
		12.78	6.19	48.44	1.74
		10.72	6.16	57.46	2.15
6	19/09/24 10:55	11.37	6.65	58.49	2.04
		10.16	6.46	63.58	2.33
		9.97	5.65	56.67	2.31
7	19/09/24 11:20	10.19	6.50	63.79	2.33
		11.03	6.57	59.56	2.11
		10.57	5.04	47.68	2.10
8	19/09/24 11:45	12.37	7.26	58.69	1.87
		10.87	6.54	60.17	2.15
		10.60	6.23	58.77	2.19
9	19/09/24 12:10	12.02	5.98	49.75	1.86
		10.63	5.19	48.82	2.09
		12.58	7.11	56.52	1.83
10	19/09/24 12:35	10.47	6.81	65.04	2.28
		10.99	6.38	58.05	2.10
		12.67	6.20	48.93	1.76
11	19/09/24 14:00	12.79	7.09	55.43	1.79
		12.76	7.15	56.03	1.80
		10.28	6.68	64.98	2.32
12	19/09/24 14:25	10.05	6.48	64.48	2.37
		11.40	7.19	63.07	2.07
		9.95	5.18	52.06	2.27
13	19/09/24 14:50	10.65	6.16	57.84	2.17

No.	Muestra	Peso total (±0.2 g)	Peso maní (±0.2 g)	Porcentaje de maní	Incertidumbre
		10.65	5.52	51.83	2.12
		11.64	6.80	58.42	1.99
14	19/09/24 15:15	10.76	6.57	61.06	2.18
		10.25	5.47	53.37	2.21
		10.24	6.76	66.02	2.34
15	19/09/24 15:50	10.17	5.92	58.21	2.28
		12.37	6.64	53.68	1.84
		10.53	6.06	57.55	2.19

Este cuadro detalla los resultados obtenidos en lotes de muestra al aplicar un menor tiempo de residencia en la pulidora. Se muestran el peso total del producto, el peso de maní y el porcentaje respectivo, incluyendo la incertidumbre de cada cálculo.

Figura 48. Variación de porcentaje de maní en pulidora (menor tiempo de residencia)



Nota. Elaboración propia.

Esta figura contiene la variación del porcentaje de maní a la salida de la pulidora en una prueba con menor tiempo de residencia (420 segundos).

*Cuadro 75. Parámetros de operación para horno*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
<b>Temperatura (<math>\pm 0.1^\circ\text{C}</math>)</b>	190 – 195
<b>Capacidad del alimentador (%)</b>	47 – 49
<b>Tiempo de residencia (<math>\pm 0.01</math> s)</b>	780

El Cuadro 75 muestra la temperatura de horneado, que oscila entre 190 y 195 °C dependiendo del flujo masico; capacidad del alimentador, expresada en porcentaje; y tiempo de residencia, que es el tiempo que el producto permanece en el horno.

*Cuadro 76. Parámetros de operación tambor y bomba de saborizante (nivel 6)*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
<b>Velocidad (<math>\pm 1</math> rpm)</b>	12
<b>Tiempo de cobertura (<math>\pm 0.01</math> s)</b>	150
<b>Velocidad de bomba (nivel)</b>	6
<b>Velocidad de bomba (rpm)</b>	12
<b>Velocidad de bomba (<math>\pm 1.4</math> L/h)</b>	10.88

Se presentan los parámetros establecidos para la operación del tambor de sazonado y la bomba de aplicación de saborizante cuando esta opera en nivel 6. Se indica la velocidad de rotación del tambor, el tiempo de cobertura del producto y la velocidad de la bomba tanto en nivel como en rpm, junto con su equivalencia en flujo volumétrico.

*Cuadro 77. Muestreo propuesta de control de velocidad de bomba (nivel 6)*

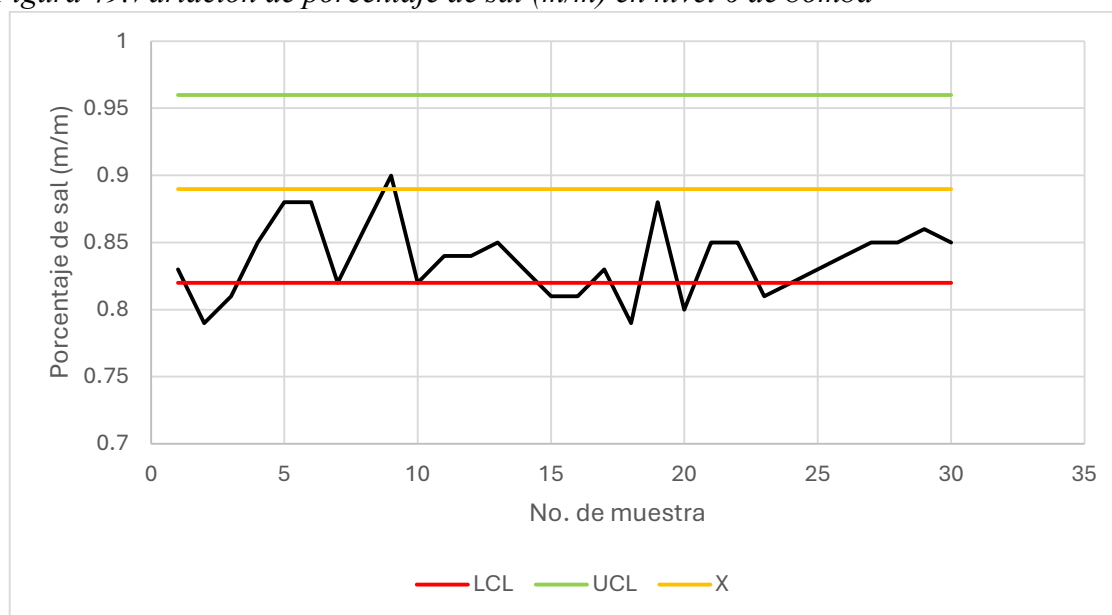
<b>No.</b>	<b>Muestra</b>	<b>° Brix (<math>\pm 0.2</math>)</b>	<b>Humedad (<math>\pm 0.3\%</math>)</b>	<b>Humedad corregida (<math>\pm 0.3\%</math>)</b>	<b>Porcentaje de sal (<math>\pm 0.2\%</math>)</b>	<b>Apariencia</b>	<b>Textura</b>	<b>Olor</b>	<b>Sabor</b>	<b>Color</b>
1	22/11/2 4 (7:30 a.m.)	33.4	0.89	1.79	0.83	4.5	5	5	4.5	4.5
2	22/11/2 4 (8:00 a.m.)	35.2	0.69	1.59	0.79	4.5	5	4	4	4
3	22/11/2 4 (8:30 a.m.)	33.8	0.96	1.86	0.81	4	5	4.5	4.5	4.5
4	22/11/2 4 (9:00 a.m.)	37.4	0.92	1.82	0.85	4	5	5	4.5	4
5	22/11/2 4 (10:30 a.m.)	34	0.76	1.66	0.88	4.5	5	4	5	4.5
6	22/11/2 4 (11:00 a.m.)	34.2	0.63	1.53	0.88	4	5	4	4.5	4.5
7	22/11/2 4 (11:30 a.m.)	38.4	0.58	1.48	0.82	4	5	5	4.5	4

No.	Muestra	° Brix (±0.2)	Humedad (±0.3%)	Humedad corregida (±0.3%)	Porcentaje de sal (±0.2%)	Apariencia	Textura	Olor	Sabor	Color
8	22/11/2 4 (12:00 p.m.)	38.7	0.92	1.82	0.86	4.5	5	4.5	4.5	4
9	22/11/2 4 (12:30 p.m.)	37	0.79	1.69	0.9	4	5	4	4	4.5
10	22/11/2 4 (13:00 p.m.)	34	0.52	1.42	0.82	5	5	4	4	4.5
11	25/11/2 4 (7:30 a.m.)	37.5	0.69	1.59	0.84	4	5	4	4	4
12	25/11/2 4 (8:00 a.m.)	38	0.93	1.83	0.84	5	5	4	4	4
13	25/11/2 4 (8:30 a.m.)	35.5	1.17	2.07	0.85	4	5	4.5	4.5	4.5
14	25/11/2 4 (9:00 a.m.)	35.6	0.76	1.66	0.83	4	5	4	5	4
15	25/11/2 4 (10:30 a.m.)	35.2	0.92	1.82	0.81	4.5	5	4.5	4	4
16	25/11/2 4 (11:00 a.m.)	37.1	1.12	2.02	0.81	4	5	4	4	4.5
17	25/11/2 4 (11:30 a.m.)	36.5	1.01	1.91	0.83	4.5	5	4	4.5	4
18	25/11/2 4 (12:00 p.m.)	35.8	0.66	1.56	0.79	4	5	4.5	5	4
19	25/11/2 4 (12:30 p.m.)	36.5	0.97	1.87	0.88	4	5	4.5	4.5	6
20	25/11/2 4 (13:00 p.m.)	33.1	0.54	1.44	0.8	4	5	4.5	4.5	4
21	26/11/2 4 (7:30 a.m.)	34.8	1.07	1.97	0.85	4	5	4.5	4	4
22	26/11/2 4 (8:00 a.m.)	37.5	0.81	1.71	0.85	4	5	4.5	5	4.5
23	26/11/2 4 (8:30 a.m.)	33.4	0.96	1.86	0.81	5	5	4	4.5	4

No.	Muestra	° Brix (±0.2)	Humedad (±0.3%)	Humedad corregida (±0.3%)	Porcentaje de sal (±0.2%)	Apariencia	Textura	Olor	Sabor	Color
24	26/11/2 4 (9:00 a.m.)	34.7	0.72	1.62	0.82	4	5	4	4	4
25	26/11/2 4 (10:30 a.m.)	34.8	1.07	1.97	0.83	4.5	5	4	4	4.5
26	26/11/2 4 (11:00 a.m.)	34.5	0.91	1.81	0.84	4.5	5	4	4.5	4.5
27	26/11/2 4 (11:30 a.m.)	36.2	1.1	2	0.85	4	5	4	4.5	4
28	26/11/2 4 (12:00 p.m.)	33.9	0.84	1.74	0.85	4	5	4	4.5	4
29	26/11/2 4 (12:30 p.m.)	32	0.52	1.42	0.86	4.5	5	4	5	4
30	26/11/2 4 (13:00 p.m.)	34.5	0.67	1.57	0.85	4.5	5	4.5	4	4.5

Este cuadro presenta los resultados del muestreo realizado durante el proceso de sazonado con la bomba operando a nivel de velocidad 6. En cada muestra se evaluaron parámetros fisicoquímicos como los grados Brix y el porcentaje de humedad. Además, se incluyeron evaluaciones sensoriales calificadas en escala del 1 al 5 para atributos como apariencia, textura, olor, sabor y color.

Figura 49. Variación de porcentaje de sal (m/m) en nivel 6 de bomba



Nota. Elaboración propia.

La presente figura contiene una representación gráfica de la variación del porcentaje de sal a lo largo del tiempo utilizando el nivel 6 de la bomba de saborizante.

*Cuadro 78. Parámetros de operación tambor y bomba de saborizante (nivel 5)*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
<b>Velocidad (<math>\pm 1</math> rpm)</b>	12
<b>Tiempo de cobertura (<math>\pm 0.01</math> s)</b>	150
<b>Velocidad de bomba (nivel)</b>	5
<b>Velocidad de bomba (rpm)</b>	10
<b>Velocidad de bomba (<math>\pm 1.4</math> L/h)</b>	9.06

En este cuadro se detallan los parámetros técnicos establecidos para la operación del tambor de sazonado y la bomba de saborizante cuando esta última opera en el nivel 5 de velocidad. Se reporta una velocidad del tambor, tiempo de cobertura del producto y velocidad de la bomba.

*Cuadro 79. Muestreo propuesta de control de velocidad de bomba (nivel 5)*

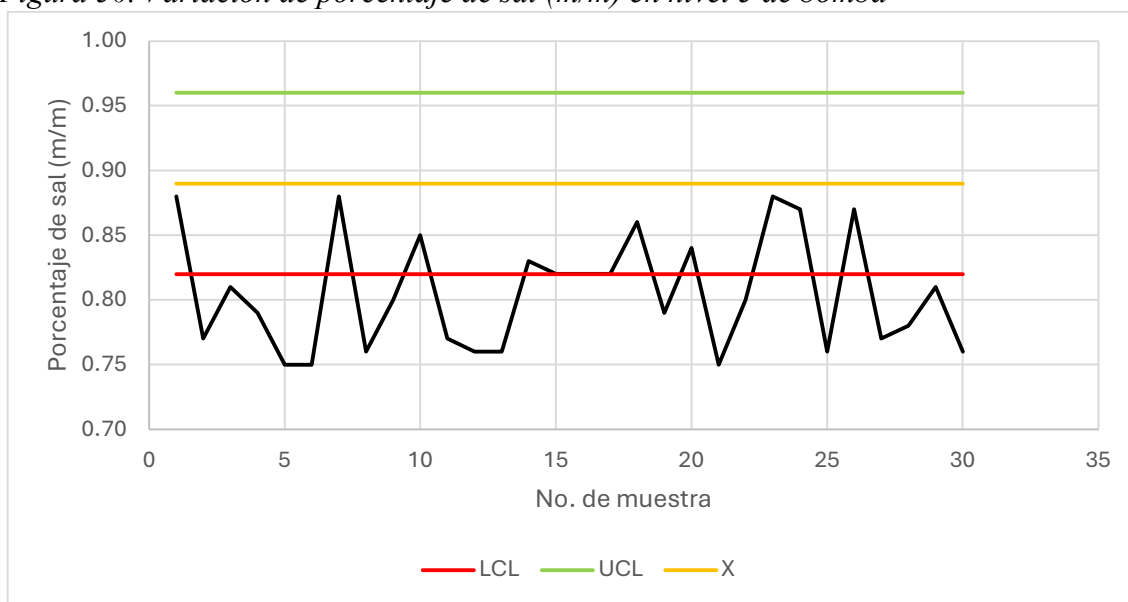
<b>No.</b>	<b>Muestra</b>	<b>° Brix (<math>\pm 0.2</math>)</b>	<b>Humedad (<math>\pm 0.3\%</math>)</b>	<b>Humedad corregida (<math>\pm 0.3\%</math>)</b>	<b>Porcentaje de sal (<math>\pm 0.2\%</math>)</b>	<b>Apariencia</b>	<b>Textura</b>	<b>Olor</b>	<b>Sabor</b>	<b>Color</b>
1	05/11/2 4 (7:30 a.m.)	34.7	0.73	1.63	0.88	4	5	4.5	4	3.5
2	05/11/2 4 (8:00 a.m.)	34.6	0.63	1.53	0.77	4	5	5	4.5	4.5
3	05/11/2 4 (8:30 a.m.)	38.5	1.12	2.02	0.81	4	5	5	4	4.5
4	05/11/2 4 (9:00 a.m.)	35.8	1.16	2.06	0.79	4	5	5	4	4.5
5	05/11/2 4 (10:30 a.m.)	36.9	0.83	1.73	0.75	4	5	4.5	4.5	5
6	05/11/2 4 (11:30 a.m.)	39	0.57	1.47	0.75	4.5	5	4.5	4	4
7	05/11/2 4 (12:00 p.m.)	35.9	0.81	1.71	0.88	4	5	4.5	4	4

No.	Muestra	° Brix (±0.2)	Humedad (±0.3%)	Humedad corregida (±0.3%)	Porcentaje de sal (±0.2%)	Apariencia	Textura	Olor	Sabor	Color
8	05/11/2 4 (12:30 p.m.)	36.6	0.56	1.46	0.76	4	4	4.5	4	4
9	06/11/2 4 (7:30 a.m.)	34.7	0.65	1.55	0.80	4	5	4	4	3.5
10	06/11/2 4 (8:00 a.m.)	35.2	0.85	1.75	0.85	4	5	4.5	4	4
11	06/11/2 4 (8:30 a.m.)	36.6	0.83	1.73	0.77	4.5	5	5	4.5	3.5
12	06/11/2 4 (9:00 a.m.)	34.1	0.58	1.48	0.76	4	5	4	4.5	3.5
13	06/11/2 4 (10:30 a.m.)	36.3	1.09	1.99	0.76	4.5	5	4.5	4	3.5
14	6/11/24 (11:30 a.m.)	33.9	1.19	2.09	0.83	5	5	4	4	3.5
15	06/11/2 4 (12:00 p.m.)	34.5	0.57	1.47	0.82	4.5	5	4	4	5
16	07/11/2 4 (7:30 a.m.)	39.8	0.99	1.89	0.82	4	5	4.5	4	3.5
17	07/11/2 4 (8:00 a.m.)	36.8	0.61	1.51	0.82	4	5	4	4	3.5
18	07/11/2 4 (8:30 a.m.)	36.5	1.04	1.94	0.86	4	5	4.5	4	3.5
19	07/11/2 4 (9:00 a.m.)	33.8	1.11	2.01	0.79	4	5	4.5	4.5	4
20	07/11/2 4 (10:30 a.m.)	37.5	0.83	1.73	0.84	4.5	5	4	4.5	4

No.	Muestra	° Brix (±0.2)	Humedad (±0.3%)	Humedad corregida (±0.3%)	Porcentaje de sal (±0.2%)	Apariencia	Textura	Olor	Sabor	Color
21	07/11/2 4 (11:30 a.m.)	37.3	0.95	1.85	0.75	4.5	4	4.5	5	5
22	07/11/2 4 (12:00 p.m.)	35.2	0.68	1.58	0.80	4	5	4	4	4
23	07/11/2 4 (12:30 p.m.)	34.6	0.68	1.58	0.88	4	5	4.5	4	3.5
24	08/11/2 4 (8:00 a.m.)	38	0.95	1.85	0.87	4	5	5	4	4.5
25	08/11/2 4 (8:30 a.m.)	38.2	1.13	2.03	0.76	4	5	5	4	3.5
26	08/11/2 4 (9:00 a.m.)	38.6	0.58	1.48	0.87	5	5	4.5	4	3.5
27	08/11/2 4 (10:00 a.m.)	35	0.71	1.61	0.77	4.5	5	4.5	4	4
28	08/11/2 4 (11:30 a.m.)	37.9	0.99	1.89	0.78	4	5	5	4.5	4
29	08/11/2 4 (12:00 p.m.)	36.5	1.01	1.91	0.81	4	4	4.5	4.5	4.5
30	08/11/2 4 (12:30 p.m.)	38.5	0.89	1.79	0.76	4	5	5	4.5	3.5

Este cuadro muestra los resultados del muestreo realizado con la bomba operando a nivel 5 de velocidad, además de una recopilación de evaluaciones sensoriales para apariencia, textura, olor, sabor y color.

Figura 50. Variación de porcentaje de sal (m/m) en nivel 5 de bomba



Nota. Elaboración propia.

La presente figura contiene una representación gráfica de la variación del porcentaje de sal a lo largo del tiempo utilizando el nivel 5 de la bomba de saborizante.

Cuadro 80. Parámetros de operación banda secadora (prueba 8 minutos de residencia)

Parámetro	Valor
Velocidad de banda ( $\pm 1$ rpm)	10
Velocidad ventiladores ( $\pm 1$ rpm)	60
Velocidad extractor de vapores ( $\pm 1$ rpm)	60
Tiempo de residencia ( $\pm 0.01$ s)	480

Este cuadro muestra las condiciones de operación establecidas durante la prueba con 8 minutos de residencia en la banda secadora. Se controló la velocidad de la banda, así como la velocidad de los ventiladores y del extractor de vapores, todos con un margen de error de  $\pm 1$  rpm.

Cuadro 81. Resultados variación de residencia en banda (8 minutos)

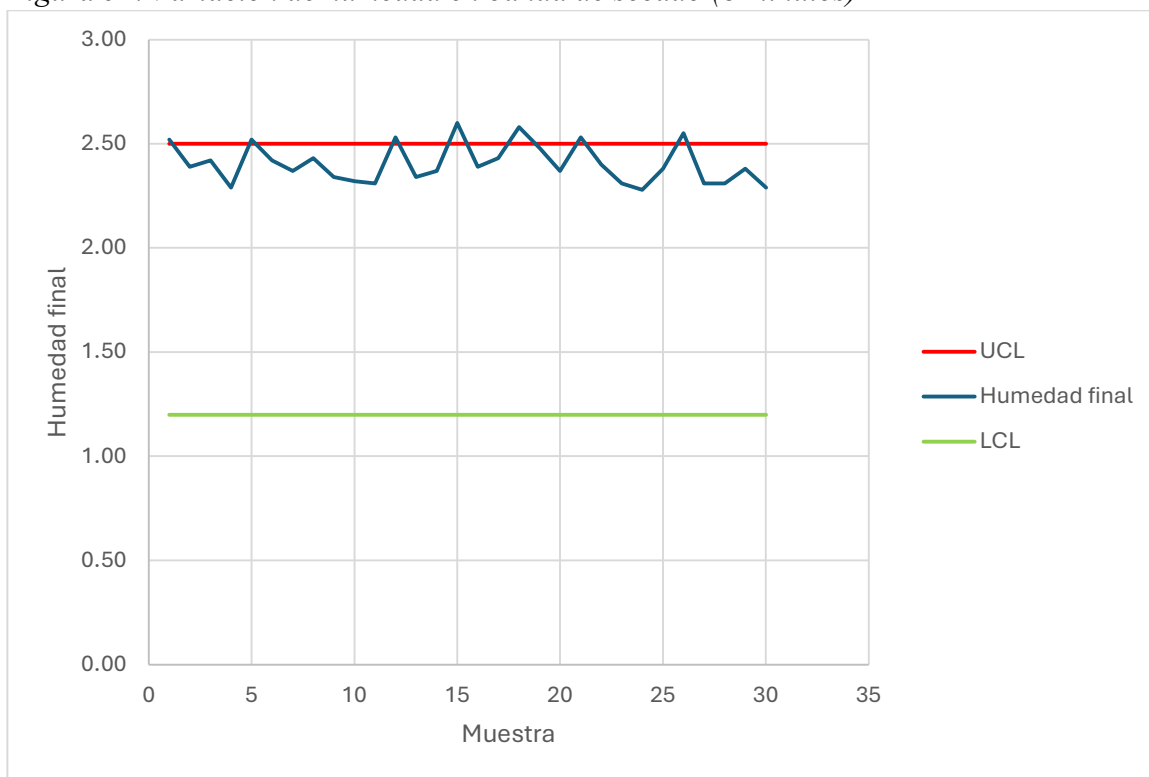
No.	Muestra	Humedad horno ( $\pm 0.3\%$ )	Humedad horno corregido ( $\pm 0.3\%$ )	Humedad final ( $\pm 0.3\%$ )	Humedad final corregida ( $\pm 0.3\%$ )
1	24/09/24 07:50	0.74	1.64	1.62	2.52
2	24/09/24 08:05	0.7	1.6	1.49	2.39
3	24/09/24 08:20	0.73	1.63	1.52	2.42

<b>No.</b>	<b>Muestra</b>	<b>Humedad horno (±0.3%)</b>	<b>Humedad horno corregido (±0.3%)</b>	<b>Humedad final (±0.3%)</b>	<b>Humedad final corregida (±0.3%)</b>
4	24/09/24 08:35	0.61	1.51	1.39	2.29
5	24/09/24 08:50	0.78	1.68	1.62	2.52
6	24/09/24 09:05	0.6	1.5	1.52	2.42
7	24/09/24 10:00	0.68	1.58	1.47	2.37
8	24/09/24 10:15	0.56	1.46	1.53	2.43
9	24/09/24 10:30	0.71	1.61	1.44	2.34
10	24/09/24 10:45	0.66	1.56	1.42	2.32
11	24/09/24 11:00	0.55	1.45	1.41	2.31
12	24/09/24 11:15	0.54	1.44	1.63	2.53
13	24/09/24 11:30	0.71	1.61	1.44	2.34
14	24/09/24 11:45	0.59	1.49	1.47	2.37
15	24/09/24 12:00	0.74	1.64	1.7	2.6
16	24/09/24 12:15	0.62	1.52	1.49	2.39
17	24/09/24 12:30	0.54	1.44	1.53	2.43
18	24/09/24 12:45	0.55	1.45	1.68	2.58
19	25/09/24 08:50	0.71	1.61	1.58	2.48
20	25/09/24 09:05	0.77	1.67	1.47	2.37
21	25/09/24 09:20	0.52	1.42	1.63	2.53
22	25/09/24 09:35	0.67	1.57	1.5	2.4
23	25/09/24 09:50	0.55	1.45	1.41	2.31
24	25/09/24 10:05	0.58	1.48	1.38	2.28

No.	Muestra	Humedad horno ( $\pm 0.3\%$ )	Humedad horno corregido ( $\pm 0.3\%$ )	Humedad final ( $\pm 0.3\%$ )	Humedad final corregida ( $\pm 0.3\%$ )
25	25/09/24 11:00	0.75	1.65	1.48	2.38
26	25/09/24 11:15	0.62	1.52	1.65	2.55
27	25/09/24 11:30	0.78	1.68	1.41	2.31
28	25/09/24 11:45	0.57	1.47	1.41	2.31
29	25/09/24 12:00	0.58	1.48	1.48	2.38
30	25/09/24 12:15	0.65	1.55	1.39	2.29

Se presentan los resultados obtenidos al operar la banda secadora con un tiempo de residencia de 8 minutos. Se registra para cada muestra la humedad medida al salir del horno, la humedad corregida, así como la humedad final del producto y su correspondiente valor corregido.

Figura 51. Variación de humedad en banda de secado (8 minutos)



Nota. Elaboración propia.

Esta figura representa la variación de humedad final a lo largo de 30 lotes en una prueba con tiempo de residencia de 8 minutos en la banda secadora.

*Cuadro 82. Parámetros de operación banda secadora (prueba 6 minutos de residencia)*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
<b>Velocidad de banda (<math>\pm 1</math> rpm)</b>	10
<b>Velocidad ventiladores (<math>\pm 1</math> rpm)</b>	60
<b>Velocidad extractor de vapores (<math>\pm 1</math> rpm)</b>	60
<b>Tiempo de residencia (<math>\pm 0.01</math> s)</b>	360

En este cuadro se especifican las condiciones de operación durante la prueba con un tiempo de residencia de 6 minutos. Se mantuvo constante la velocidad de la banda, junto con los ventiladores y el extractor de vapores.

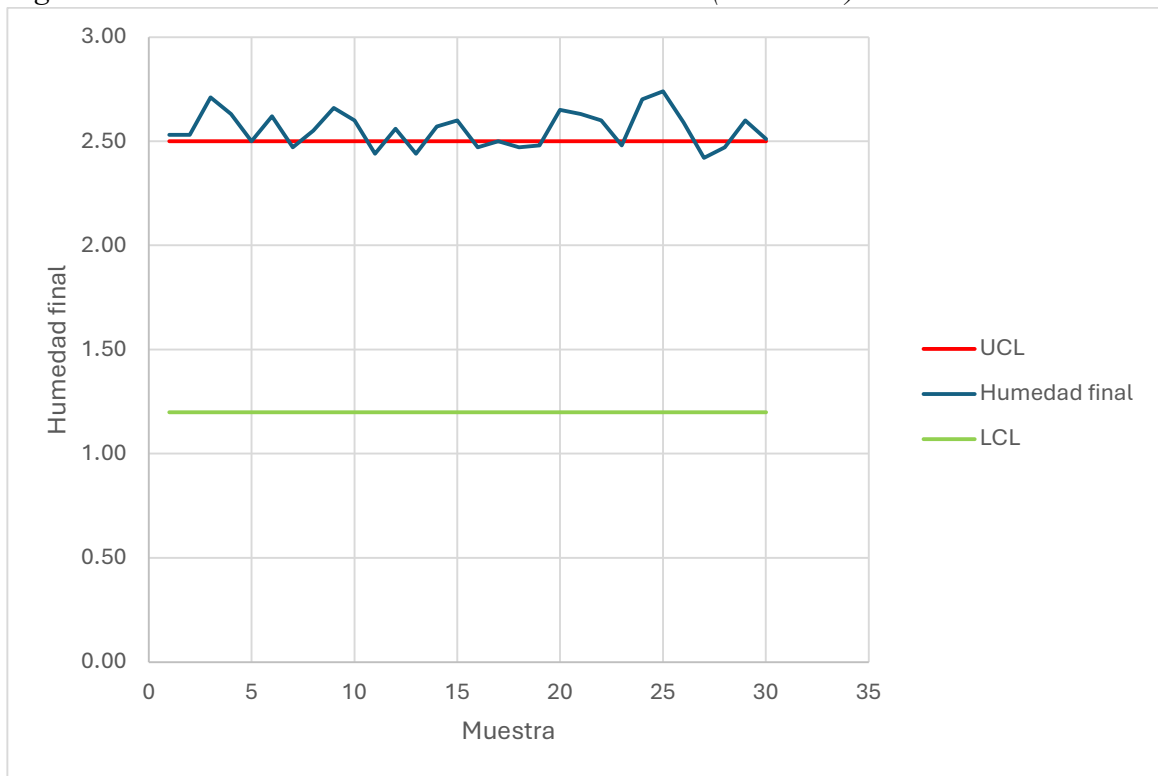
*Cuadro 83. Resultados variación de residencia en banda (6 minutos)*

<b>No.</b>	<b>Muestra</b>	<b>Humedad horno (<math>\pm 0.3\%</math>)</b>	<b>Humedad horno corregido (<math>\pm 0.3\%</math>)</b>	<b>Humedad final (<math>\pm 0.3\%</math>)</b>	<b>Humedad final corregida (<math>\pm 0.3\%</math>)</b>
1	23/09/24 07:00	0.56	1.46	1.63	2.53
2	23/09/24 07:15	0.65	1.55	1.63	2.53
3	23/09/24 07:30	0.66	1.56	1.81	2.71
4	23/09/24 07:45	0.65	1.55	1.73	2.63
5	23/09/24 08:00	0.55	1.45	1.6	2.5
6	23/09/24 08:15	0.65	1.55	1.72	2.62
7	23/09/24 08:30	0.53	1.43	1.57	2.47
8	23/09/24 08:45	0.69	1.59	1.65	2.55
9	23/09/24 09:00	0.54	1.44	1.76	2.66
10	23/09/24 09:15	0.55	1.45	1.7	2.6
11	23/09/24 10:00	0.7	1.6	1.54	2.44
12	23/09/24 10:15	0.55	1.45	1.66	2.56
13	23/09/24 10:30	0.69	1.59	1.54	2.44

<b>No.</b>	<b>Muestra</b>	<b>Humedad horno (±0.3%)</b>	<b>Humedad horno corregido (±0.3%)</b>	<b>Humedad final (±0.3%)</b>	<b>Humedad final corregida (±0.3%)</b>
14	23/09/24 10:45	0.68	1.58	1.67	2.57
15	23/09/24 11:00	0.73	1.63	1.7	2.6
16	23/09/24 11:15	0.72	1.62	1.57	2.47
17	23/09/24 11:30	0.77	1.67	1.6	2.5
18	23/09/24 11:45	0.72	1.62	1.57	2.47
19	23/09/24 12:00	0.56	1.46	1.58	2.48
20	23/09/24 12:15	0.78	1.68	1.75	2.65
21	23/09/24 12:30	0.62	1.52	1.73	2.63
22	23/09/24 12:45	0.76	1.66	1.7	2.6
23	23/09/24 14:00	0.77	1.67	1.58	2.48
24	23/09/24 14:15	0.6	1.5	1.8	2.7
25	23/09/24 14:30	0.72	1.62	1.84	2.74
26	23/09/24 14:45	0.67	1.57	1.69	2.59
27	23/09/24 15:00	0.62	1.52	1.52	2.42
28	23/09/24 15:15	0.75	1.65	1.57	2.47
29	23/09/24 15:30	0.69	1.59	1.7	2.6
30	23/09/24 15:45	0.69	1.59	1.61	2.51

En el presente cuadro se muestran los datos experimentales obtenidos con un tiempo de residencia de 6 minutos. Al igual que en la prueba anterior, se midió la humedad a la salida del horno y la humedad final del producto, junto con sus respectivas correcciones.

Figura 52. Variación de humedad en banda de secado (6 minutos)



Nota. Elaboración propia.

Esta figura representa la variación de humedad a lo largo de 30 lotes en una prueba con tiempo de residencia de 6 minutos en la banda secadora.

## 12.7 Evaluación sensorial

Figura 53. Ejemplo de boleta para comparación de evaluación sensorial

LOGO DE LA EMPRESA	<b>Comparación sensorial</b>	Nombre: _____ Gafete: _____
<b>INSTRUCCIONES</b>		
Evalúe las muestras presentadas utilizando una escala de 1 (No lo prefiero) a 5 (Lo prefiero).		
<b>Muestra 1</b>		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor		
Textura		
<b>Muestra 2</b>		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor		
Textura		

La presente figura contiene un ejemplo de las boletas utilizadas para evaluar las muestras de maní japonés antes y después de la prueba con implementación de mejoras. Las boletas reales se presentan en las siguientes figuras.

Figura 54. Comparación sensorial boleta 1

<b>INSTRUCCIONES</b>		
Evalúe las muestras presentadas utilizando una escala de 1 (No lo prefiero) a 5 (Lo prefiero).		
<b>Muestra 1</b>		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	5	Buen Sabor
Textura	5	Crujiente
<b>Muestra 2</b>		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	5	Buen Sabor
Textura	5	Esta crujiente, mejor que la 1

Se adjuntan ejemplos de las boletas utilizadas, por motivos de confidencialidad no se incluye el encabezado con logo de la empresa y nombre del panelista evaluado. Todas las siguientes figuras fueron tomadas en la Empresa de Snacks como elaboración propia.

Figura 55. Comparación sensorial boleta 2

INSTRUCCIONES		
Evalúe las muestras presentadas utilizando una escala de 1 (No lo prefiero) a 5 (Lo prefiero).		
Muestra 1		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	5	
Textura	5	BIEN
Muestra 2		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	5	MEJOR QUE 1
Textura	5	NO SE SIENTE DIFERENCIA

Figura 56. Comparación sensorial boleta 3

INSTRUCCIONES		
Evalúe las muestras presentadas utilizando una escala de 1 (No lo prefiero) a 5 (Lo prefiero).		
Muestra 1		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	5	bien
Textura	5	crujiente
Muestra 2		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	5	
Textura	5	me gusta más que la 1

Figura 57. Comparación sensorial boleta 4

INSTRUCCIONES		
Evalúe las muestras presentadas utilizando una escala de 1 (No lo prefiero) a 5 (Lo prefiero).		
Muestra 1		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	5	FALTA UN POCO DE SAL
Textura	5	
Muestra 2		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	5	MEJOR
Textura	5	

Figura 58. Comparación sensorial boleta 5

INSTRUCCIONES		
Evalúe las muestras presentadas utilizando una escala de 1 (No lo prefiero) a 5 (Lo prefiero).		
Muestra 1		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	5	my bueno
Textura	5	
Muestra 2		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	5	igual
Textura	5	me gusta más

Figura 59. Comparación sensorial boleta 6

INSTRUCCIONES		
Evalúe las muestras presentadas utilizando una escala de 1 (No lo prefiero) a 5 (Lo prefiero).		
Muestra 1		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	4	falta sal
Textura	5	
Muestra 2		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	5	
Textura	5	mas crujiente

Figura 60. Comparación sensorial boleta 7

INSTRUCCIONES		
Evalúe las muestras presentadas utilizando una escala de 1 (No lo prefiero) a 5 (Lo prefiero).		
Muestra 1		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	5	Bien
Textura	5	
Muestra 2		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	5	Mejor
Textura	5	

Figura 61. Comparación sensorial boleta 8

INSTRUCCIONES		
Evalúe las muestras presentadas utilizando una escala de 1 (No lo prefiero) a 5 (Lo prefiero).		
Muestra 1		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	5	
Textura	5	
Muestra 2		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	5	no siento diferencia
Textura	5	

Figura 62. Comparación sensorial boleta 9

INSTRUCCIONES		
Evalúe las muestras presentadas utilizando una escala de 1 (No lo prefiero) a 5 (Lo prefiero).		
Muestra 1		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	5	prefiero esta
Textura	5	
Muestra 2		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	5	
Textura	5	me gusta mas que la 1

Figura 63. Comparación sensorial boleta 10

INSTRUCCIONES		
Evalúe las muestras presentadas utilizando una escala de 1 (No lo prefiero) a 5 (Lo prefiero).		
Muestra 1		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	5	SE SIEMPRE MAS SALADO
Textura	5	
Muestra 2		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	5	
Textura	5	PREFIERO ESTE

Figura 64. Comparación sensorial boleta 11

INSTRUCCIONES		
Evalúe las muestras presentadas utilizando una escala de 1 (No lo prefiero) a 5 (Lo prefiero).		
Muestra 1		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	5	Buena sal
Textura	5	Prefiero este
Muestra 2		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	5	
Textura	5	

Figura 65. Comparación sensorial boleta 12

INSTRUCCIONES		
Evalúe las muestras presentadas utilizando una escala de 1 (No lo prefiero) a 5 (Lo prefiero).		
Muestra 1		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	3	Poca sal, se ve pálido
Textura	4	Pasta crujiente
Muestra 2		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	5	
Textura	4	Mejor

Figura 66. Comparación sensorial boleta 13

INSTRUCCIONES		
Evalúe las muestras presentadas utilizando una escala de 1 (No lo prefiero) a 5 (Lo prefiero).		
Muestra 1		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	4	leve sal
Textura	5	
Muestra 2		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	5	
Textura	5	

Figura 67. Comparación sensorial boleta 14

INSTRUCCIONES		
Evalúe las muestras presentadas utilizando una escala de 1 (No lo prefiero) a 5 (Lo prefiero).		
Muestra 1		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	4	Poco sabor
Textura	5	
Muestra 2		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	5	
Textura	5	

Figura 68. Comparación sensorial boleta 15

INSTRUCCIONES		
Evalúe las muestras presentadas utilizando una escala de 1 (No lo prefiero) a 5 (Lo prefiero).		
Muestra 1		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	5	no gusta mas
Textura	5	
Muestra 2		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	5	
Textura	5	no gusta mas

Figura 69. Comparación sensorial boleta 16

INSTRUCCIONES		
Evalúe las muestras presentadas utilizando una escala de 1 (No lo prefiero) a 5 (Lo prefiero).		
Muestra 1		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	4	Falta sal
Textura	4	No crujiente
Muestra 2		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	5	
Textura	5	

Figura 70. Comparación sensorial boleta 17

INSTRUCCIONES		
Evalúe las muestras presentadas utilizando una escala de 1 (No lo prefiero) a 5 (Lo prefiero).		
Muestra 1		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	4	le falta sabor
Textura	4	Textura no crujiente
Muestra 2		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	4	falta sabor
Textura	5	mejor que 1

Figura 71. Comparación sensorial boleta 18

INSTRUCCIONES		
Evalúe las muestras presentadas utilizando una escala de 1 (No lo prefiero) a 5 (Lo prefiero).		
Muestra 1		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	4	falta sal
Textura	4	falta crocancia.
Muestra 2		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	5	
Textura	4	falta crocancia

Figura 72. Comparación sensorial boleta 19

INSTRUCCIONES		
Evalúe las muestras presentadas utilizando una escala de 1 (No lo prefiero) a 5 (Lo prefiero).		
Muestra 1		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	4	leve sal
Textura	4	
Muestra 2		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	5	
Textura	5	

Figura 73. Comparación sensorial boleta 20

INSTRUCCIONES		
Evalúe las muestras presentadas utilizando una escala de 1 (No lo prefiero) a 5 (Lo prefiero).		
Muestra 1		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	5	
Textura	5	
Muestra 2		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	5	No g
Textura	5	No g

Figura 74. Comparación sensorial boleta 21

INSTRUCCIONES		
Evalúe las muestras presentadas utilizando una escala de 1 (No lo prefiero) a 5 (Lo prefiero).		
Muestra 1		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	5	Pefero de
Textura	5	
Muestra 2		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	5	
Textura	5	Pefero de

Figura 75. Comparación sensorial boleta 22

INSTRUCCIONES		
Evalúe las muestras presentadas utilizando una escala de 1 (No lo prefiero) a 5 (Lo prefiero).		
Muestra 1		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	5	
Textura	5	
Muestra 2		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	5	SE SIENTE MAS EL SABOR, MAS SAL
Textura	5	

Figura 76. Comparación sensorial boleta 23

INSTRUCCIONES		
Evalúe las muestras presentadas utilizando una escala de 1 (No lo prefiero) a 5 (Lo prefiero).		
Muestra 1		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	5	
Textura	5	
Muestra 2		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	5	mejor que 1
Textura	5	mejor que 1

Figura 77. Comparación sensorial boleta 24

INSTRUCCIONES		
Evalúe las muestras presentadas utilizando una escala de 1 (No lo prefiero) a 5 (Lo prefiero).		
Muestra 1		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	3	Muy poca sal, no se sente
Textura	3	No esta tan compacto
Muestra 2		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	5	Mejor
Textura	3	No esta compacto

Figura 78. Comparación sensorial boleta 25

INSTRUCCIONES		
Evalúe las muestras presentadas utilizando una escala de 1 (No lo prefiero) a 5 (Lo prefiero).		
Muestra 1		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	4	
Textura	3	(FOCO) CRUJIENTE
Muestra 2		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	4	LEVE SORCO
Textura	4	

Figura 79. Comparación sensorial boleta 26

INSTRUCCIONES		
Evalúe las muestras presentadas utilizando una escala de 1 (No lo prefiero) a 5 (Lo prefiero).		
Muestra 1		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	5	
Textura	5	
Muestra 2		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	3	
Textura	5	frío esta

Figura 80. Comparación sensorial boleta 27

INSTRUCCIONES		
Evalúe las muestras presentadas utilizando una escala de 1 (No lo prefiero) a 5 (Lo prefiero).		
Muestra 1		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	5	Mqot sicut
Textura	5	
Muestra 2		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	5	
Textura	5	Mqot textura

Figura 81. Comparación sensorial boleta 28

INSTRUCCIONES		
Evalúe las muestras presentadas utilizando una escala de 1 (No lo prefiero) a 5 (Lo prefiero).		
Muestra 1		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	4	podría tener más sal
Textura	5	
Muestra 2		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	4	me gusta más que la otra
Textura	5	

Figura 82. Comparación sensorial boleta 29

INSTRUCCIONES		
Evalúe las muestras presentadas utilizando una escala de 1 (No lo prefiero) a 5 (Lo prefiero).		
Muestra 1		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	5	
Textura	5	
Muestra 2		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	5	mejor
Textura	5	mejor

Figura 83. Comparación sensorial boleta 30

INSTRUCCIONES		
Evalúe las muestras presentadas utilizando una escala de 1 (No lo prefiero) a 5 (Lo prefiero).		
Muestra 1		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	4	falta sal
Textura	5	
Muestra 2		
Característica	Calificación	Observaciones
Sabor	5	
Textura	5	mejor

## 12.8 Análisis estadístico

### 12.8.1 Propagación de error (suma y resta)

La propagación de errores en operaciones de suma y resta se utiliza para estimar la incertidumbre total cuando se combinan magnitudes experimentales con sus respectivas incertidumbres. En estos casos, las incertidumbres absolutas se combinan mediante la raíz cuadrada de la suma de sus cuadrados, lo cual permite cuantificar el efecto acumulado del error al realizar estas operaciones. (Devore, 2010)

*Ecuación 18. Propagación de error para sumas y restas*

$$\Delta\delta = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}$$

Donde:

- $\Delta\delta$  es la incertidumbre de la magnitud experimental.
- $\Delta x$  y  $\Delta y$  son la incertidumbre del instrumento de medición.

Esta ecuación fue utilizada para calcular el porcentaje de error en el promedio y rango de los porcentajes de sal para el ajuste de límites de operación, como se demuestra a continuación:

$$\Delta\delta = \sqrt{(0.2\%)^2 + (0.2\%)^2 + (0.2\%)^2} = \pm 0.346\%$$

### 12.8.2 Propagación de error (multiplicación y división)

En procesos de multiplicación o división de magnitudes experimentales, las incertidumbres relativas (porcentuales) de cada variable se combinan para estimar la incertidumbre relativa total del resultado (Devore, 2010)

Ecuación 19. Propagación de error para multiplicación y división

$$\frac{\Delta\delta}{\delta} = \sqrt{\left[\left(\frac{\Delta x}{x}\right)^2 + \left(\frac{\Delta y}{y}\right)^2\right]}$$

Donde:

- $\Delta\delta$  es la incertidumbre de la magnitud experimental.
- $\Delta x$  y  $\Delta y$  son la incertidumbre del instrumento de medición.
- $\delta$  es la magnitud del dato experimental calculado.
- $x$  y  $y$  son la magnitud del dato medido.

La Ecuación 19 fue empleada en varias ocasiones, incluyendo la incertidumbre del porcentaje de maní a lo largo de toda la investigación, como se puede ver ejemplificado aquí:

$$\Delta\delta = 45.8623\% \sqrt{\left[\left(\frac{0.2}{12.64}\right)^2 + \left(\frac{0.2}{5.797}\right)^2\right]} = 1.741\%$$

### 12.8.3 Media aritmética

La media aritmética es una medida de tendencia central que indica el valor promedio en una muestra que se está analizando (Anderson *et al.*, 2011).

Ecuación 20. Media aritmética

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}$$

Donde:

- $\sum_{i=1}^N x_i$  es la suma de las mediciones de las réplicas
- $N$  es el número total de mediciones en el conjunto
- $\bar{x}$  es la media aritmética

La media aritmética fue empleada en el establecimiento de nuevos límites para el porcentaje de salsa, el análisis sensorial de la propuesta de control de bomba y la comparación sensorial antes y después de la implementación de mejoras. Un ejemplo del análisis de la bomba se presenta a continuación:

$$\bar{x} = \frac{4 + 4 + 4 + 4 + 4 + 4.5 + 4 + 4 + 4 + 4 + 4.5 + 4 + 4.5 + 5 + 4.5 + [\dots] + 4}{30} = 4.1833$$

### 12.8.4 Desviación estándar

Se define la desviación estándar como una medida de variabilidad calculada al tomar la raíz cuadrada positiva de la varianza (Anderson *et al.*, 2011).

Ecuación 21. Desviación estándar

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

Donde:

- $s$  es la desviación estándar
- $\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2$  es la desviación del valor de la media
- $N - 1$  es el número de grados de libertad

La desviación estándar fue empleada para evaluar la variabilidad en los resultados del análisis sensorial realizado durante las pruebas de la bomba dosificadora. Esta medida permitió identificar la consistencia en la percepción del sabor entre los evaluadores y determinar si la aplicación del saborizante era uniforme. A continuación, se presenta un ejemplo del análisis correspondiente:

$$s = \sqrt{\frac{(4-4.18)^2+(4-4.18)^2+(4-4.18)^2+(4-4.18)^2+(4-4.18)^2+(4.5-4.18)^2+\dots+(4-4.18)^2}{30-1}} = 0.3075$$

### 12.8.5 Coeficiente de variación (CV)

El coeficiente de variación es una medida de variabilidad relativa que compara la desviación estándar con la media, siendo utilizada ampliamente para evaluar la consistencia de los resultados (Anderson *et al.*, 2011). Para calcularse se utiliza la siguiente fórmula:

Ecuación 22. Coeficiente de variación

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} \times 100\%$$

Donde:

- $s$  es la desviación estándar
- $\bar{x}$  es la media aritmética

Se utilizó el cálculo del coeficiente de variación para analizar los resultados del análisis sensorial antes y después de la propuesta de mejoras, Cuadro 57, como se demuestra a continuación:

$$CV = \frac{0.5799}{4.52} \times 100\% = 12.83\%$$

### **XIII. GLOSARIO**

**Acelerómetro** – Dispositivo que mide la aceleración de un objeto o sistema al traducir las vibraciones en señales analógicas, en este caso sirve para detectar condiciones fuera de lo normal en la operación.

**Alérgenos** – Sustancias presentes en los alimentos que pueden generar reacciones alérgicas en personas sensibles a las mismas. El maní es un alérgeno de importancia regulatoria.

**Batch** – Denominación de un lote de producción, puede usarse por equipo o para referirse a toda la línea de producción.

**Bomba de cavidad progresiva** – Tipo de bomba de desplazamiento positivo conformada por un rotor similar a un tornillo, creando cavidades para que el fluido avance dentro de ellas. Su principal ventaja es poder trabajar con fluidos de viscosidad alta o con sólidos en suspensión.

**Bomba peristáltica** – Bomba de desplazamiento positivo que impulsa el fluido por medio del movimiento de rodillos dentro del equipo, por lo que evita entrar en contacto con las partes móviles.

**Galleta** – Para el contexto de maní japonés, la galleta es la masa formada por harina, azúcar y agua que recubre al maní durante el proceso de grageado para darle esa cubierta crocante característica.

**Grageado** – Proceso de aumento del tamaño de un núcleo sólido, en este caso el maní, con capas alternadas de harina y jarabe, que después pasa por un proceso de agitación continua entre cada capa agregada hasta obtener una cubierta uniforme.

**Grageadora** – Equipo utilizado para realizar el proceso de grageado. Consiste en una cabina cerrada que en su interior cuenta con una banda que mueve el producto, un dispensador de tornillo para alimentar los polvos y boquillas de spray que dispersan el jarabe.

**Granulometría** – Distribución del tamaño de partícula que componen a una sustancia, como la harina utilizada para la fabricación del maní japonés.

**Hollín** – Material carbonoso similar a la ceniza que se adhiere a las paredes del horno, por lo que se transfiere a los maníes en el proceso de horneado al arrancar el equipo.

**Inocuidad** – Condición que garantiza que un alimento no vaya a causar daño al consumidor a la hora de ser preparado y/o ingerido, por lo que implica la ausencia de contaminantes físicos, químicos o biológicos en niveles que representen un riesgo para la salud.

**Jarabe** – Solución concentrada de azúcar y agua que se utiliza durante el proceso de grageado para formar las capas externas de la galleta, sirviendo como aglutinante y aportando un dulce característico al producto final.

Porcentaje de maní – Parámetro de calidad que indica la proporción de maní con respecto al peso total del producto con galleta. Puede utilizarse como indicador de uniformidad del proceso en la grageadora y pulidora.

Propiedades organolépticas – Características que pueden ser percibidas por los órganos de los sentidos, como lo es en alimentos el color, sabor, olor, textura y apariencia en general.

Prueba hedónica – Método de análisis sensorial que evalúa que tanto un grupo de consumidores prefiere un alimento utilizando escalas de aceptación.

Pulido – Etapa del proceso de fabricación de maní japonés en la que se suaviza la superficie de la galleta al dar vueltas en un tipo de tambor rotatorio con el fin de mejorar la apariencia final.

Pulidora – Equipo que realiza el proceso de pulido. Es una clase de tambor rotatorio que da vueltas en giro normal y en contragiro para mover uniformemente todo el lote en su interior.

Rancidez – Alteración de la calidad del producto final que genera olores y sabores desagradables, afectando negativamente la percepción de este.

Refractómetro – Instrumento utilizado para medir el índice de refracción de una sustancia, por lo que se puede determinar de manera rápida y precisa la concentración de sólidos solubles en soluciones como el jarabe o la salsa.

Sensorial – Atributo relacionado con las pruebas realizadas por medio de los sentidos para determinar la aceptación del consumidor hacia un alimento.

Tiempos de residencia – Tiempo promedio que un lote de producto permanece dentro de un equipo o etapa del proceso. En el caso del maní japonés se aplica a las operaciones como grageado, pulido, horneado o secado.