

MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PAN MEDIANTE EL
USO DE HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS EN LA PANIFICADORA ÉXITO EN
EL MUNICIPIO DE DOSQUEBRADAS

ALEXANDER ZAPATA SALGUERO
1088273542

CHRISTIAN ANDRÉS PINEDA MEJÍA
1088277660

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
INGENIERÍA INDUSTRIAL
PEREIRA
2012

MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PAN MEDIANTE EL
USO DE HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS EN LA PANIFICADORA ÉXITO EN
EL MUNICIPIO DE DOSQUEBRADAS

ALEXANDER ZAPATA SALGUERO
1088273542

CHRISTIAN ANDRÉS PINEDA MEJÍA
1088277660

Trabajo de Grado

Director

Pedro Daniel Medina Varela

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
INGENIERÍA INDUSTRIAL
PEREIRA
2012

CONTENIDO

RESUMEN.....	11
INTRODUCCIÓN.....	12
1.1. DIAGNÓSTICO.....	13
1.1.1 Proceso de producción de pan mantequilla en Panificadora Éxito.....	14
1.2. MARCO SITUACIONAL Y TEMPORAL.....	21
2.JUSTIFICACIÓN.....	25
3. OBJETIVOS.....	26
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	26
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	26
4. MARCO REFERENCIAL.....	27
4.1 MARCO TEÓRICO.....	27
4.2 MARCO CONCEPTUAL.....	35
4.3 ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN.....	38
5. METODOLOGIA DE INVESTIGACIÓN.....	40
6. MEJORAMIENTO DE PROCESO.....	42
6.1 MEJORAMIENTO PROCESO DE MEZCLADO.....	42
6.1.1 Identificación del problema.....	42
6.1.2 Elección de factores y niveles:.....	43
6.1.3 Experimentos.....	43
6.1.4 Selección de variable respuesta.....	44
6.1.5 Desarrollo del experimento.....	45
6.2. MEJORAMIENTO EN EL PROCESO DE MULTIFORMADO.....	69
6.3 MEJORAMIENTO EN EL PROCESO DE CRECIMIENTO.....	72
6.3.1 Identificación del problema.....	72
6.3.2 Elección de factores y niveles.....	72
6.3.3 Selección de variable respuesta.....	73
6.3.4 Desarrollo del experimento.....	73
6.4 MEJORAMIENTO PROCESO DE HORNEADO.....	83
6.5 MEJORAMIENTO PROCESO DE EMPAQUE.....	84
7. ESTRATEGIAS DE CONTROL.....	87
8. CONCLUSIONES.....	89
9. RECOMENDACIONES.....	92
BIBLIOGRAFIA.....	93
ANEXOS.....	95

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Porcentaje de defectuosos pan mantequilla.....	14
Tabla 2. Niveles experimentación para el proceso de mezclado.....	43
Tabla 3. Criterios de calificación experimento de mezclado.....	44
Tabla 4. Análisis de varianza para experimento 1 de proceso mezclado.....	46
Tabla 5. Experimento 1 proceso de mezclado con transformación de variable respuesta.....	49
Tabla 6. Análisis de varianza para experimento 2 de proceso mezclado.....	54
Tabla 7. Experimento 2 proceso de mezclado con transformación de variable respuesta.....	56
Tabla 8. Análisis de varianza para experimento 3 de proceso mezclado.....	60
Tabla 9. Matriz de experimento 3 proceso de mezclado.....	61
Tabla 10. Experimento 3 proceso de mezclado con transformación de variable respuesta.....	65
Tabla 11. Experimento de masa en proceso de multiformado.....	70
Tabla 12. Niveles experimentación para proceso en cuarto de crecimiento.....	73
Tabla 13. Criterios de calificación experimento en cuarto de crecimiento.....	73
Tabla 14. Análisis de varianza para experimento en cuarto de crecimiento.....	74
Tabla 15. Matriz de diseño experimento de crecimiento.....	75
Tabla 16. Experimento 3 proceso de crecimiento con transformación de variable respuesta.....	79
Tabla 17. Condiciones proceso de horneado.....	83
Tabla 18. Muestreo proceso de horneado.....	84
Tabla 19. Porcentaje de defectuosos pan mantequilla.....	85
Tabla 20. Unidades producidas vs unidades defectuosas.....	86
Tabla 21. Formato de control para recepción de materia prima.....	88
Tabla 22. Formato de control para producto terminado.....	88

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Balanzas digitales para pesado de ingredientes.....	15
Figura 2. Máquina Mojadora.....	16
Figura 3. Fase 2 proceso de aplanado y corte.....	16
Figura 4. Fase 2 proceso de aplanado y corte.....	17
Figura 5. Fase 2 proceso de aplanado y corte.....	17
Figura 6. Fase 1 proceso de formado.....	18
Figura 7. Fase 2 proceso de formado.....	19
Figura 8. Cuarto de crecimiento.....	20
Figura 9. Horno 1 Panificadora Éxito.....	20
Figura 10. Horno 2 Panificadora Éxito.....	21
Figura 11. Proceso de empaquetado.....	21
Figura 12. Diagrama de causa y efecto para proceso de pan mantequilla 50gr.....	24
Figura 13. Modelo General de un proceso o sistema (Montgomery,1991,p.2).....	30
Figura 14. Distribución de muestreo prueba Durbin – Watson.....	34
Figura 15. Orden de Corrida Experimento 1 proceso de mezclado.....	45
Figura 16. R cuad. Experimento 1 proceso de mezclado.....	46
Figura 17. Grafico Normal de lo Efectos Experimento 1 de proceso de mezclado..	47
Figura 18. Gráfica de efectos principales Experimento 1 de proceso de mezclado. .	48
Figura 19. Diagrama de interacción de factores experimento 1 proceso de mezclado	48
Figura 20. Gráfica de probabilidad normal experimento 1 proceso de mezclado.....	50
Figura 21. Prueba de independencia experimento 1 proceso de mezclado.....	51
Figura 22. Estadístico Durbin experimento 1.1.....	51
Figura 23 Intervalo para prueba Durbin- Watson experimento 1.1.....	51
Figura 24.Prueba de igualdad de varianzas experimento 1.....	52
Figura 25.Prueba Bartlett experimento 1.1.....	53
Figura 26.Orden de Corrida Experimento 2 proceso de mezclado.....	54
Figura 27. R cuad. Experimento 2 proceso de mezclado.....	54
Figura 28.Grafico Normal de lo Efectos Experimento 2 de proceso de mezclado.....	55
Figura 29. Gráfica de efectos principales Experimento 2 de proceso de mezclado. .	55

Figura 30. Diagrama de interacción de factores experimento 2 proceso de mezclado	56
Figura 31. Gráfica de probabilidad normal experimento 2 proceso de mezclado.....	57
Figura 32. Prueba de independencia experimento 2 proceso de mezclado.....	58
Figura 33. Estadístico Durbin experimento 1.2.....	58
Figura 34. Intervalo para prueba Durbin- Watson experimento 1.2.....	58
Figura 35. Prueba de igualdad de varianzas experimento 2 proceso de mezclado....	59
Figura 36. Prueba Bartlett experimento 1.2.....	59
Figura 37. R cuad. Experimento 3 proceso de mezclado.....	62
Figura 38. Grafico Normal de lo Efectos Experimento 3 de proceso de mezclado....	62
Figura 39. Gráfica de efectos principales Experimento 3 de proceso de mezclado. .	63
Figura 40. Diagrama de interacción de factores experimento 3 proceso de mezclado	64
Figura 41. Diagrama de cubo proceso de mezclado.....	64
Figura 42. Gráfica de probabilidad normal experimento 1.3 proceso de mezclado...	66
Figura 43. Prueba de independencia experimento 3 proceso de mezclado.....	66
Figura 44. Estadístico Durbin experimento 1.3.....	67
Figura 45. Intervalo para prueba Durbin- Watson experimento 1.1.....	67
Figura 46. Prueba de igualdad de varianzas experimento 3 proceso de mezclado....	68
Figura 47. Prueba Bartlett experimento 1.3.....	68
Figura 48. R cuad. Experimento de cuarto de crecimiento.....	76
Figura 49. Grafico Normal de lo Efectos Experimento cuarto de crecimiento.....	76
Figura 50. Gráfica de efectos principales Experimento cuarto de crecimiento.....	77
Figura 51. Diagrama de interacción de factores experimento cuarto de crecimiento	78
Figura 52. Diagrama de cubo experimento en cuarto de crecimiento.....	78
Figura 53. Gráfica de probabilidad normal experimento cuarto de crecimiento.....	80
Figura 54. Prueba de independencia experimento cuarto de crecimiento.....	80
Figura 55. estadístico Durbin - Watson experimento cuarto de crecimiento.....	81
Figura 56. Intervalo para prueba Durbin- Watson experimento cuarto de crecimiento.	81
Figura 57. Prueba de igualdad de varianzas experimento cuarto de crecimiento....	82
Figura 58. Prueba Bartlett cuarto de crecimiento.....	82

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1.Resultado de un experimento.....	27
Ecuación 2.Fórmula prueba Anderson-Darling.....	33
Ecuación 3.Fórmula estadístico Durbin Watson.....	33
Ecuación 4.Fórmula prueba de Bartlett.....	34

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1.Tabla Durbin Watson.....	95
----------------------------------	----

RESUMEN

El trabajo fue realizado en la Panificadora Éxito ubicada en el municipio de Dosquebradas, esta empresa deseaba reducir el porcentaje de productos defectuosos en los panes mantequilla de 50 gr que se manifestaba durante el proceso de empaquetado del producto final. Para ello se realizó un completo estudio de cada una de las fases del proceso productivo en donde se identificó que el inconveniente no se situaba en la fase de empaquetamiento sino que durante los diferentes pasos de elaboración del pan se presentaban elementos causantes de la variabilidad en las dimensiones finales de los panes lo cuales ocasionaban errores visibles en la última etapa del proceso.

Mediante el uso de herramientas estadísticas, en especial el diseño experimental, se analizaron diferentes procesos del sistema, identificando y manipulando las diferentes variables controlables en búsqueda de una combinación de factores que redujera la variabilidad del proceso y mejorara cada etapa de fabricación. Una vez realizadas las modificaciones a las fases determinadas finalmente se realizó un muestreo del producto final, donde se obtuvo una disminución del porcentaje de panes no conformes pasando del 6% al 3% del total de la producción, reduciendo los costos generados por desperdicios y reproceso en aproximadamente 18 millones anuales los cuales fueron recomendados invertir en diferentes herramientas de control que permitan el mejoramiento continuo de la empresa.

INTRODUCCIÓN

La realización de experimentos es una constante en nuestra vida cotidiana, frecuentemente se elaboran diferentes cambios que permiten mejorar algún aspecto, por ejemplo en elegir los pasos para llegar a un determinado lugar con un menor tiempo o costo, cómo mejorar una receta de cocina mediante la elección de los ingredientes y las variables en sus cantidades; experimentar y tomar decisiones es algo común a todas las personas y también algo necesario para la optimización de las compañías, debido a que las organizaciones constantemente buscan el mejoramiento de sus procesos mediante cambios en algunas variables controlables, sin embargo esto es algo costoso y que puede llevar a soluciones poco significativas si no se realiza de la manera correcta. Es aquí donde cobra importancia la utilización de métodos y herramientas estadísticas entre ellas el diseño de experimentos, que permitirán de una forma sistémica resolver diferentes problemas.

Panadería ÉXITO es una empresa familiar que inicio sus actividades en el barrio Belmonte de la ciudad de Pereira el 16 de Marzo de 2004 y que actualmente fabrica una gran variedad de productos alimenticios en el municipio de Dosquebradas. Hoy en día la panificadora presenta problemas en la sección de empaque debido a que el producto no cumple con las especificaciones establecidas; sin embargo se afirma que este problema no es causado directamente en esta área sino que es el efecto de un conjunto de errores a lo largo de todo el proceso de fabricación del pan. Con el fin de reducir al mínimo las pérdidas monetarias ocasionadas por los desperdicios resultantes de los procesos productivos, Panadería ÉXITO desea implementar la utilización de métodos estadísticos en especial la herramienta de diseño de experimentos para diversos puntos del proceso de producción del pan identificando los factores que intervienen en dichas falencias y realizar su correspondiente mejora.

Anteriormente no fueron realizados estudios con relación estadística para la solución de problemas al interior de la Panadería ÉXITO, por lo que se espera obtener buenos resultados esta vez y poder establecer un conjunto de lineamientos básicos que permitan la disminución de los desperdicios y reprocesos actuales, el trabajo igualmente servirá como base para futuras investigaciones y desarrollo de proyectos de mejora e innovación al interior de la panificadora.

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. DIAGNÓSTICO

La Panadería Éxito entre su portafolio de productos ofrece galletas, tostadas, palos de queso, pan tajado, pan hamburguesa y pan mantequilla en la presentación de 25 gramos y 50 gramos. Desde el año 2009 han cambiado su proceso de empaque el cual inicialmente era manual, ahora es realizado por una máquina que empaqueta aproximadamente 100 productos por minuto, sin embargo es en este proceso donde se está presentando la mayor parte de desperdicios de tiempo y de material en especial cuando se elabora el pan mantequilla de 50 gramos.

El problema radica en las medidas finales del pan una vez llega a su etapa de empaquetado, debido a que sus dimensiones presentan alta variabilidad en largo y ancho lo que produce que la máquina no funcione correctamente, presentando ocasiones en las que corta al pan, lo aplasta en sus extremos, queda entre abierto el empaque y/o instantes en los cuales se producen atoramiento del producto, todos estos motivos considerados para establecer que el producto no es satisfactorio y retirarlo para reproceso.

Desde noviembre de 2011 se están consignando por escrito la proporción de panes defectuosos en el momento de empaque, en la Tabla 1 se encuentra expresada ésta información. Los resultados obtenidos en la Tabla 1 demuestran que la pérdida de producto final debido a los errores presentados en el proceso de empaque son entre el 4% y 6 % del total del producto, avaluados en costos de aproximadamente 37 millones de pesos desperdiciados anualmente entre gastos operacionales para reproceso y material de empaque desechado, lo cual es una de las mayores preocupaciones destacadas por el dueño de la empresa.

Sin embargo se sospecha que no es el proceso de empaquetado el que está siendo mal realizado, la generación de productos con diferencias en tamaños es presentada por diferentes factores que actúan y generan variabilidad durante todos los procesos del sistema, para ello primero se describirán cada una de las fases de producción.

Tabla 1. Porcentaje de defectuosos pan mantequilla

Días de producción de pan mantequilla 50gr	Noviembre		Diciembre		Enero	
	Unidades producidas	Unidades defectuosas	Unidades producidas	Unidades defectuosas	Unidades producidas	Unidades defectuosas
1	21.350	922	20.350	1.245	20.783	1.123
2	25.282	1.120	21.459	1.213	20.880	1.115
3	18.532	801	20.612	1.250	20.977	1.120
4	23.560	1.013	21.289	1.305	21.073	1.125
5	19.469	952	21.420	1.324	21.128	1.128
6	20.218	845	21.617	1.384	20.222	1.080
7	24.619	1.245	21.814	1.296	19.317	1.032
8	26.375	1.518	22.011	1.402	18.411	983
9	27.923	1.104	22.208	1.350	20.350	1.087
10	26.784	1.089	28.134	1.712	21.459	1.146
11	24.589	984	29.241	1.689	20.612	1.101
12	22.450	720	30.123	1.734	21.289	1.137
TOTAL	281.151	12.313	280.278	16.904	246.501	13.176
		4,38%		6,03%		5,35%

Nota: Histórico de producción pan mantequilla (2012).Base de datos Panificadora Éxito

1.1.1 Proceso de producción de pan mantequilla en Panificadora Éxito

Pesaje de los ingredientes: Dependiendo de la producción asignada para el día, son seleccionados los diferentes ingredientes para la elaboración del producto. Generalmente la producción del pan mantequilla es de 21.000 unidades por día (asignado producción 12 días al mes), para ello se utiliza una fórmula estándar que ha sido desarrollada en compañía de un ingeniero de alimentos en el año 2008 y aprobada por el INVIMA, en la tabla 2 se puede identificar esta fórmula.

Una vez seleccionados los ingredientes para la formación de un moje (lote de producción, en el caso del pan mantequilla aproximadamente de 6000 unidades), son pesados por una persona en magnitudes exactas de acuerdo a la receta de la tabla 2 mediante 2 balanzas digitales, estas balanzas se muestran en la figura 1.

Tabla 2. Formulación pan mantequilla 50 gr

PREPARACIÓN 1 MOJE (6000 PANES)

INGREDIENTE	CANTIDAD	UNIDAD
HARINA	50000	GR
AZUCAR	5000	GR
PROPIANATO	300	GR
GRASA	5000	GR
LEVADURA	1000	GR
ESENCIA	300	GR
MARGARINA	1000	GR
AGUA	25	LITROS
SAL	1000	GR

Nota: Ingredientes de mezcla para pan mantequilla 50 gr. (2010). Panificadora Éxito

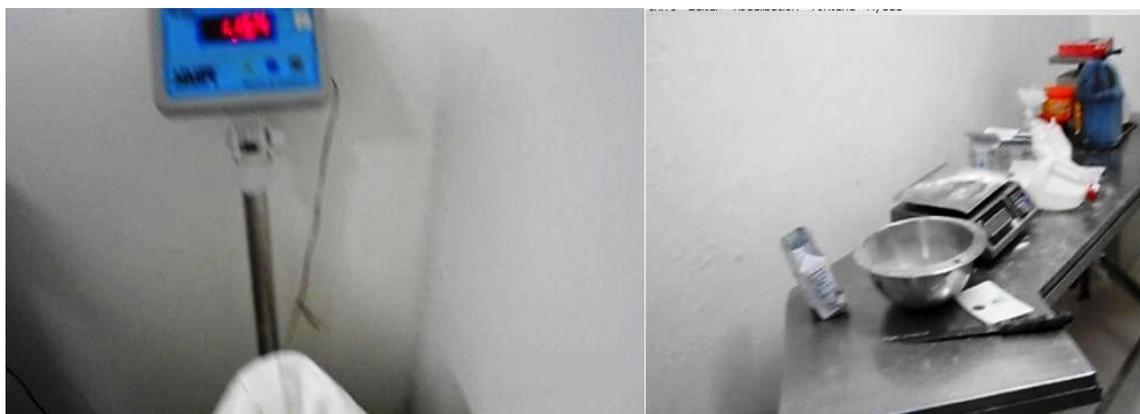


Figura 1. Balanzas digitales para pesado de ingredientes

- Mezclado: para este proceso es utilizada una máquina denominada “Mojadora”, la cual funciona con 2 velocidades, la primera para mezclar inicialmente los ingredientes sólidos y la segunda es aplicada una vez se adiciona el agua que permitirá a la masa sus características de elasticidad y extensibilidad. La primera velocidad es utilizada aproximadamente por 10 minutos y después la mezcla es sometida a la segunda velocidad aproximadamente por 7 minutos o cuando el operario observa que la masa está en condiciones para seguir su proceso. La Figura 2 muestra la máquina mezcladora utilizada por la panificadora Éxito.



Figura 2. Máquina Mojadora

- Aplanado y corte: Este proceso consiste en 4 fases:

Fase 1: Recortar grandes trozos de la masa que se encuentra en la majadora y ubicarlos en la mesa de los rodillos.

Fase 2: Pasar los trozos de masa por los rodillos eléctricos para aplanar y alargar el material, su finalidad es obtener una masa liza para producir panes con textura suave y buena presentación final. Una vez realizada esta fase, se debe ubicar la masa en la mesa de recorte. (Ver Figura 3)



Figura 3. Fase 2 proceso de aplanado y corte

Fase 3: Se debe reposar la masa recién pasada por los rodillos por aproximadamente 1 minuto en la mesa de recorte con el fin de que la masa se vuelva más maleable debido a la formación de gas durante el periodo de aplanamiento con los rodillos, esta fase es de gran importancia para el desempeño de la masa en sus siguientes procesos. (Ver Figura 4)



Figura 4. Fase 2 proceso de aplanado y corte

Fase 4: Recortar la masa aplanada y reposada en larga tiras, esto con el fin de que pueda ingresar la masa en la máquina multiformadora. (Ver figura 5)



Figura 5. Fase 2 proceso de aplanado y corte

- Formado: Este proceso es el que le brindará la forma simétrica a los trozos de masa. Para el caso de la panificadora Éxito, es utilizada una máquina multiformadora que realiza su función en dos fases.

Fase 1: El operario alimenta a la máquina con las tiras de masa, mientras la máquina realiza cortes dependiendo de una configuración manual para los diferentes productos, en el caso del pan mantequilla se ajusta la máquina

para que realice cortes rectangulares de 6x9 cm con un grosor de 1cm y un peso de 50gr. (Ver Figura 6)



Figura 6. Fase 1 proceso de formado

Fase 2: Una vez cortados los rectángulos de masa, estos se desplazan mediante una banda transportadora que los conduce a unos rodillos eléctricos que enrollan la masa para finalmente obtener una especie de cilindros de 10 cm de largo por 8 de perímetro. (Ver Figura 7)

- Fermentación: Es un proceso clave para la formación de producto, se realiza con fin de que la levadura actúe sobre los azúcares presentes en la masa para así producir el CO₂ que será capturado por la película exterior de la masa que le permitirá el crecimiento y esponjosidad deseada al pan. En el caso de la panificadora Éxito, un empleado ingresa los panes en bandejas a un cuarto aislado denominado “cuarto de crecimiento”, en el cual se conduce a una elevada humedad que permita la activación de la levadura.



Figura 7. Fase 2 proceso de formado

La temperatura ideal para el crecimiento según diversas fuentes consultadas se consigue entre 28 y 34 °C, manejando una humedad relativa de 85%. Sin embargo, la panificadora éxito no cuenta actualmente con un regulador de temperatura ni de humedad en el cuarto de crecimiento, actualmente este proceso se desarrolla de manera manual, para ello son calentadas dos ollas metálicas con agua a través de unas hornillas a gas con fin de elevar la temperatura y obtener la evaporación del agua que permitan el acondicionamiento de un ambiente húmedo en el cuarto, este proceso es muy variable en tiempo debido al bajo control que se tiene sobre temperatura y cantidad de agua a evaporar, se presenta un rango de duración entre 40 y 60 minutos de acuerdo al criterio del operario que define si el pan ha recibido su crecimiento necesario (Aproximadamente de 13 de perímetro x 11cm de largo) En la figura 8 se ilustra el cuarto de crecimiento.

- Horneado: Una vez el pan ha alcanzado su punto correcto de fermentación, se debe hornear. En el caso de la panificadora Éxito se cuenta con dos hornos con diferentes especificaciones de medidas y funcionamiento.

El horno 1 se ilustra en la figura 9, este horno es analógico y presenta los controles de temperatura, tiempo y vaporizador; es un horno estático con capacidad para introducir 33 latas x 24 panes, la medida de temperatura empleada es de 200 grados centígrados sostenidos por aproximadamente 25 minutos.

El horno 2 se ilustra en la figura 10, es un horno de control digital y regulador automático de temperatura, presenta sostenimiento de bandejas rotatorio hasta por 50 latas x24 panes, es empleado a una temperatura de 150 grados centígrados por aproximadamente 40 minutos. El crecimiento aproximado de un pan en ambos hornos bajo condiciones normales es de 1cm tanto de

largo como de ancho, para tener un pan con dimensiones aproximadas a 12 cm de largo por 14 de perímetro.



Figura 8. Cuarto de crecimiento

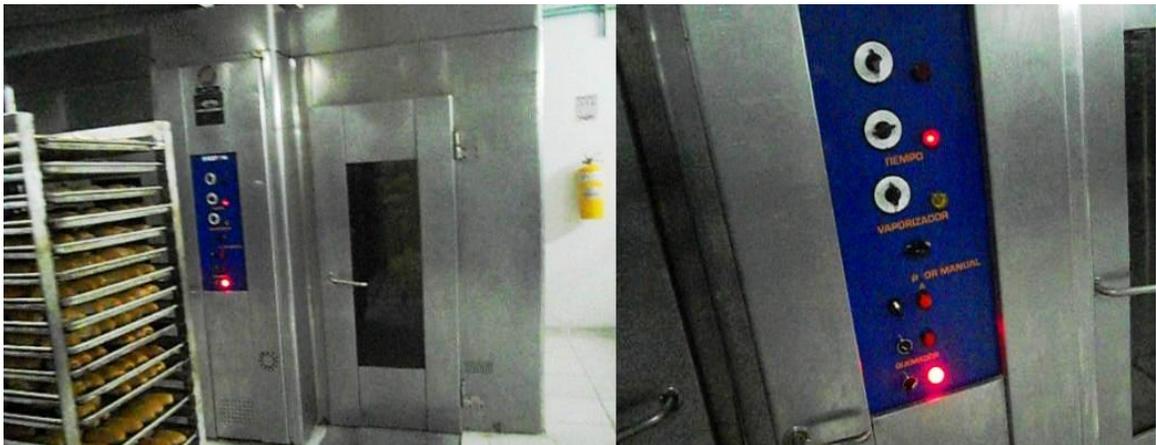


Figura 9. Horno 1 Panificadora Éxito

- **Empaquetado:** Una vez el pan ha sido horneado, es enviado a una habitación con ventiladores para enfriarlo antes de su empaquetado, en el momento que se considera que el pan tiene una temperatura baja es enviado a la máquina empaquetadora (ver la figura 11), cubriendo cada unidad de pan con una cobertura plástica que permite unas medidas máximas del pan en largo de 13cm y de perímetro 16cm manteniendo 1 cm de espacio en largo y 2 en el ancho.



Figura 10. Horno 2 Panificadora Éxito



Figura 11. Proceso de empaquetado

Después de ser empaquetados los panes, son transportados a la bodega de almacenaje, con temperatura ambiente, para posteriormente ser distribuido.

1.2. MARCO SITUACIONAL Y TEMPORAL

El trabajo realizado en la Panificadora Éxito ubicada en el municipio de Dosquebradas contempló 11 meses (desde Noviembre de 2011 hasta Septiembre de 2012). Los primeros 4 meses fueron dedicados al conocimiento del proceso de producción de Pan mantequilla de 50 gr, identificando las posibles variables que influían en los errores en el empaquetado final del producto. Los siguientes 4 meses fueron destinados a la planeación, experimentación y recolección de datos y finalmente los últimos 3 meses consistieron en la organización y análisis de la información.

En la primer fase del trabajo, se realizaron diferentes visitas desarrolladas por el equipo investigativo, donde apoyados en testimonios presentados por los distintos

empleados y ayudados por la información suministrada por el dueño de la panificadora, fueron identificados diferentes factores que podrían causar la variabilidad en el proceso de producción del pan y deben ser analizados, a continuación se exponen estos supuestos:

- Recepción de materia prima: Existen dificultades con los proveedores de materia prima, en especial con la harina debido a que se manejan 2 proveedores, donde el primero ofrece precios más bajos que el segundo, sin embargo, los tiempos de vencimiento del lote proporcionados por el proveedor 2 son más cortos que el proveedor 1 (3 meses frente a 5 meses), se presume que las diferencias de vencimiento generan considerable variabilidad para la mezcla de materiales, es este un factor que se estudiará en este trabajo.
- Mezcla-Formación de la masa: En esta etapa se añaden los ingredientes, de la receta y son mezclados por la mojadora, la cual maneja 2 velocidades, una para homogenizar y la otra para otorgarle la suavidad ideal a la masa, actualmente se presentan variaciones en la contextura final de la masa, donde en ocasiones queda muy “chiclosa” y en otros momentos muy dura, igualmente se presentan instantes en los que la masa se recalienta y se teme porque esto afecte las condiciones finales del pan. Se hace necesario identificar combinación de factores más eficientes para lograr una masa bien calificada que conlleve a un pan excelente.
- Multiformadora: esta máquina realiza los cortes y envolvimiento de los panes bajo una configuración ajustable, actualmente se presentan variaciones en las dimensiones finales de estos, para lo cual se quiere identificar la mejor combinación de los factores para estandarizar las medidas de los panes
- Crecimiento: Se considera como la parte crítica del problema, debido a que se tiene muy bajo control con respecto a las medidas de añadidura de agua, no hay un cálculo bien definido del tiempo de exposición y temperatura aplicada en el cuarto de fermentación, por ello se identifica como el proceso donde se presentan las mayores variabilidades en cuanto a tamaño del pan, en circunstancias el pan crece más de las dimensiones máximas del empaque por lo cual va a ser un pan que va a causar desperdicios y reproceso, inclusive hay circunstancias en que el pan excede sus límites de crecimiento lo cual genera una descompensación en las fibras internas del pan que lo conllevan a que el pan se desinflen con solo tocarlo. Para ello se busca regular lo mejor posible este proceso
- Horneado: Actualmente se cuentan 2 hornos con diferentes características de tamaño, capacidad y funcionamiento, estos elementos junto con los

tiempos y temperaturas de horneado pueden ser causantes de variabilidad en el producto final. Es necesario determinar la influencia de las diferencias entre los hornos y estandarizar tanto tiempos como temperaturas de funcionamiento para ambos.

- Proceso de empaque: La máquina empaquetadora puede ser configurada fácilmente debido a su característica digital, es necesario determinar la variabilidad ocasionada por la configuración en las medidas de corte y la velocidad de funcionamiento.
- Control de calidad: Se ha identificado que el control de calidad por parte de los operarios es mínimo en cada uno de los procesos, se buscará determinar cuáles fases requieren un mejor control y de qué manera debe realizarse

El propósito de este trabajo consiste en abordar cada uno de los anteriores aspectos, con el fin de mejorar el proceso productivo del pan mantequilla de 50 gr de la panificadora Éxito, en la figura 12 se visualiza el diagrama de causa y efecto para el proceso de producción de este pan.

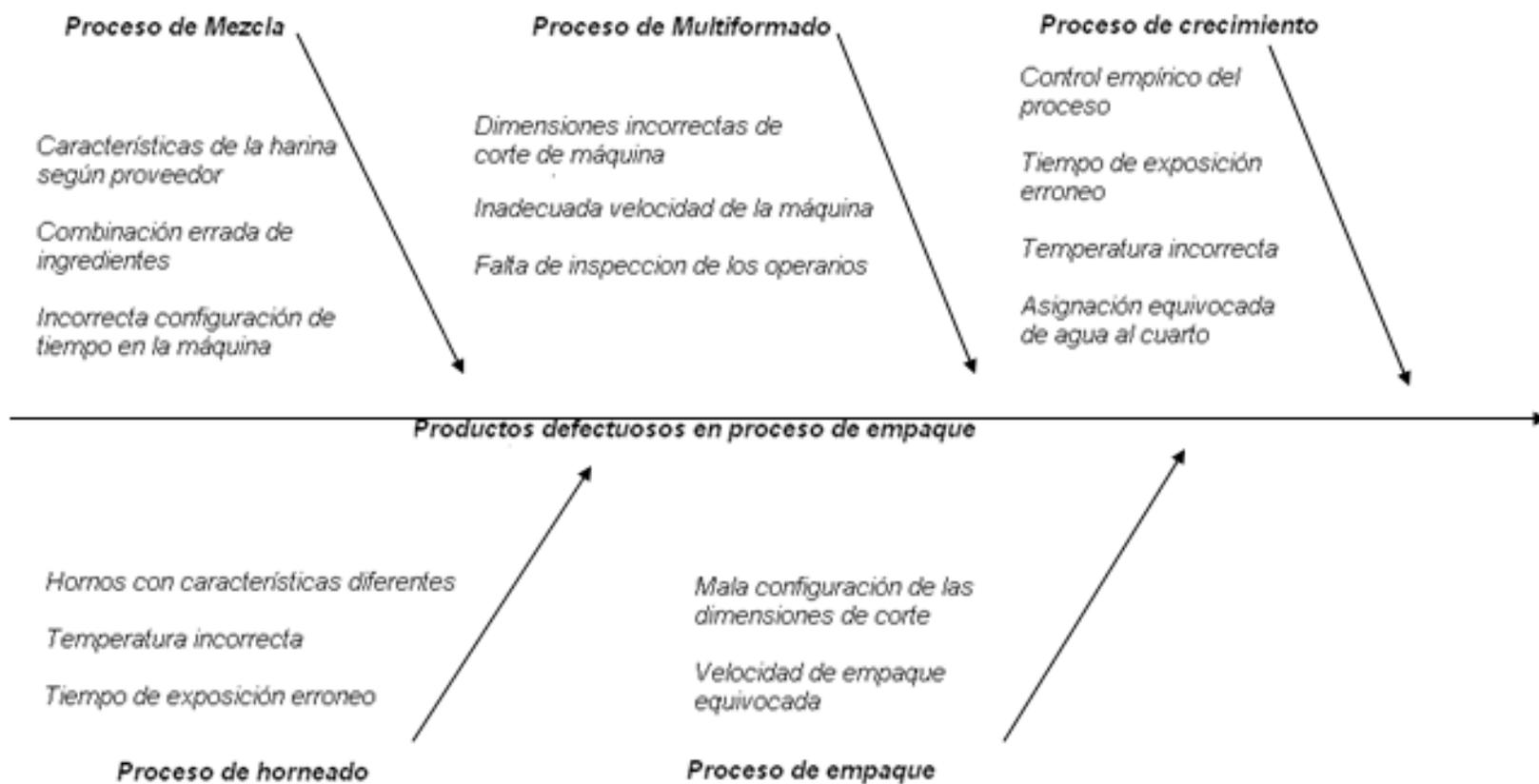


Figura 12. Diagrama de causa y efecto para proceso de pan mantequilla 50gr.

2. JUSTIFICACIÓN

Uno de los elementos que genera mayores costos en las empresas, es la pérdida de tiempo y materiales debido a la generación de productos defectuosos y reprocesos en el área de producción, por ello es importante identificar cuáles son los factores que causan estos desperdicios para tomar decisiones que permitan su reducción. Para esto, existen diversas herramientas y métodos que permiten llevar un mejor control en las empresas mejorando la productividad, analizando cuales factores se pueden optimizar para elaborar productos con mejor calidad, sin incurrir en sobrecostos que no aportan valor al sistema, uno de los principales instrumentos para el logro de estos objetivos es el uso de herramientas estadísticas. Tal como afirma Deming (considerado uno de los padres de la Calidad Total), “no hay conocimiento que pueda contribuir tanto a mejorar la calidad, la productividad y la competitividad como el de los métodos estadísticos” (Deming, 1982, p.14)¹

Hoy en día los métodos estadísticos se utilizan en la resolución de problemas, en la planificación de la toma de datos, en el análisis de las relaciones entre variables y en la toma de decisiones. El Diseño de Experimentos es una herramienta estadística que permite planear una prueba o serie de pruebas para obtener conclusiones válidas y objetivas acerca de los procesos, a partir del análisis de los datos recolectados. En el campo de la ingeniería, cumple un papel importante en los procesos de manufactura en diversos aspectos, incluyendo la mejora y desarrollo de procesos y el diseño de nuevos productos, disminución de la variabilidad y desperdicios en los procesos y finalmente la obtención de una mejor calidad.

En el caso de la Panificadora EXITO, se busca realizar el diseño de experimentos para identificar las variables que generan el desperdicio e imperfectos en el momento del empaquetado del producto final, para esto es necesario realizar un estudio completo de cada uno de los procesos y de esta manera poder elaborar los cambios respectivos en cada etapa del sistema modificando los factores controlables para obtener la solución más cercana a la óptima, esto permitirá llevar un mejor control del producto a la hora del empaque, de esta manera se eliminarán sobrecostos ocasionados por desperdicios de material y reprocesos, contribuyendo finalmente a una mayor rentabilidad para la empresa.

¹ EE.UU, Massachusetts Institute of Technology, Center for Advanced Educational services. (1982). Out of crisis. Cambridge: Deming, W.E

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Mejorar el proceso de fabricación pan mantequilla de 50 gr mediante el uso de herramientas estadísticas en la panificadora Éxito en el municipio de Dosquebradas.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar la mejor composición de ingredientes y tiempo de mezclado que permitan una masa de excelente consistencia.
- Establecer una configuración de la máquina multiformadora que reduzca el número de no conformidades en el proceso.
- Determinar la combinación óptima de agua, temperatura y tiempo de crecimiento en el cuarto de fermentación.
- Asignar la mejor configuración de tiempo y temperatura para cada uno de los hornos, teniendo en cuenta las características de funcionamiento de los mismos.
- Fijar los parámetros de funcionamiento de la empaquetadora que minimicen el error en los cortes del empaque.
- Sugerir herramientas y formatos que permitan mejorar el control e inspección en los procesos que lo requieren.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1 MARCO TEÓRICO

La experimentación juega un papel fundamental en virtualmente todos los campos de la investigación y el desarrollo. “Un experimento es una prueba o serie de pruebas en las que se hacen cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso o sistema para observar e identificar las razones de los cambios que pudieran observarse en la respuesta de salida” (Montgomery, 1991, p.2) ².

La experimentación proporciona la descripción aproximada de cómo se comportan los procesos y/o productos, restringida a una región de interés.

El objetivo de la experimentación es obtener información de calidad. Información que permita desarrollar nuevos productos y procesos, comprender mejor un sistema y tomar decisiones sobre como optimizarlo y mejorar su calidad, permitiendo el mejoramiento continuo de las empresas y por ello el interés de estas por aplicar la experimentación en todas sus áreas.

Pero, la mayoría de los problemas industriales, están condicionadas por el tiempo y el presupuesto, lo que supone una limitación importante a la hora de experimentar. Por eso todas las empresas deberían intentar responder antes de realizar sus experimentos la siguiente pregunta, ¿Cómo puedo obtener de los experimentos la mayor información posible y de la manera más eficiente?

La experimentación es normalmente cara. La capacidad de experimentar está limitada por el coste en tiempo y en recursos. Por tanto, una organización óptima de la experimentación deberá contemplar el menor número de experimentos que permita obtener la información buscada, y para ello es necesario una correcta planificación de los experimentos.

Además en la ecuación 1. Se observa cómo es necesario tener en cuenta que el resultado observado de un experimento (y) tiene incertidumbre:

Ecuación 1. Resultado de un experimento

$$y=n+e \quad (1.1)$$

Donde n es el resultado “verdadero” (desconocido) del experimento y e es una contribución aleatoria, que varía cada vez que se repite el experimento. Ello, la Estadística, disciplina que proporciona las herramientas para trabajar en ambientes de incertidumbre, juega un papel fundamental en el diseño de los

²Montgomery, D. (1991). Diseño y Análisis de Experimentos. México D.F: Editorial Iberoamericana.

experimentos y en la evaluación de los resultados experimentales (Ferré, Ruíz. 2005, p.1)³.

Tanto por la importancia de las decisiones que se pueden tomar, como por el costo elevado de la experimentación no es adecuado dejar la elección de los experimentos y la evaluación de los resultados de manera intuitiva y subjetiva, es más razonable utilizar una metodología matemática y estadística que indique como planificar, diseñar, analizar, controlar la secuencia de experimentos de una forma óptima, de modo que se minimice tanto el coste de la experimentación como la influencia del error experimental sobre la información buscada.

De esta manera se hace necesario, y más eficiente en términos de los resultados obtenidos y número de experimentos, utilizar como estrategia para la experimentación una metodología estadística preestablecida para poder planificar y analizar correctamente los experimentos.

La metodología estadística por excelencia para optimizar la experimentación se conoce como Diseño de Experimentos, la cual se abrevia como DoE proveniente de su significado en inglés: "Design of Experiments".

Los orígenes del diseño experimental se remontan a las primeras décadas del siglo XX, cuando Ronald Fisher introdujo la importancia en las estadísticas y el análisis de datos en el sector agrícola en Rothamsted, cercano a Londres.

Según Ronald Fisher máximo exponente del diseño experimental en su obra titulada "Statistical methods for research workers", se afirma que la historia de la teoría estadística empleada en el diseño de experimentos se remonta al célebre ensayo de Thomas Bayes publicado en 1763 y conocido como el primer intento de utilizar la teoría de la probabilidad como instrumento de razonamiento inductivo, para deducir de lo particular a lo general o de la muestra a la población.

Posteriormente el Sir Ronald A Fisher (1890-1962), influenciado por Pearson y Student (W.S. Gosset), hizo importantes y numerosas aportaciones a la estadística, con investigaciones hacia el interior de distribuciones de datos estadísticos con el coeficiente de correlación; concibió la idea de diseño de experimentos con un método para obtener información más completa y más precisa en la realización de un experimento.

Durante los años de 1930 la influencia de su trabajo estadístico se difundió a través del mundo de habla inglesa y frecuentemente más allá, así que después de la segunda guerra mundial con la formación de la Sociedad Internacional Biométrica en 1947, un nuevo campo de la investigación científica fue reconocido. Como resultado de la introducción de métodos competentes y la purificación del razonamiento inductivo por los cuales Fisher había sido primeramente el responsable, fue el innovador del uso de los métodos estadísticos en el diseño de

³España. Departamento de Química Analítica y Química Orgánica Universidad Rovira i Virgili. (2005). Introducción al Diseño Estadístico de Experimentos. Cataluña: Ferré, J., Ruíz, F.

experimentos; desarrollo y uso por primera vez el análisis de varianza como herramienta primaria para el análisis estadístico en el diseño experimental. Fisher se percató de algunos errores que se llevaban a cabo en los experimentos actuales y que obstaculizaban el análisis de datos. Logrando proponer como principios básicos del diseño experimental: la aleatorización, la realización de réplicas y la formación de bloques.⁴ (1950, Citado en Yacuzzi, 2004)

De esta manera se podría considerar el Diseño Estadístico de Experimentos (DEE) como un proceso activo para planear el experimento de tal forma que se recopilan datos que pueden analizarse con métodos estadísticos que llevarán a conclusiones válidas y objetivas que permitirán tomar decisiones importantes en las empresas. Para llegar a estas correctas respuestas es necesario seguir una serie de pasos o etapas para el diseño estadístico de experimentos

Procedimiento de la aplicación del DEE

Para la aplicación del enfoque estadístico en el diseño y análisis de experimentos es necesario que todos los participantes tengan una idea clara de qué es lo que exactamente se va a estudiar, cómo se van a coleccionar los datos y al menos una comprensión cualitativa de cómo van a analizarse estos.

Etapas de planeación:

- 1) Identificación y definición del problema: Con base en información histórica reciente recolectada por el equipo de mejoramiento se debe seleccionar un problema que sea importante para la compañía tanto en términos económicos como estratégicos. Es necesario consultar a todas las partes implicadas como cuerpo técnico, de calidad, manufactura, clientes. Un planteamiento claro determinará una mejor comprensión del problema y facilitará su solución.
- 2) Elección de los factores, niveles y rangos: Aquí son muy válidas las hipótesis formuladas por los conocedores del proceso, respecto a cuáles factores pueden influir sobre la variable de respuesta cuales son los factores controlables y cuáles no, teniendo en cuenta que los primeros son las variables que pueden ser manipuladas, ajustadas y medidas por el experimentador por ejemplo la cantidad de presión aplicada, mientras los factores no controlables son los elementos que causan variabilidad al sistema pero que no podemos manipular con facilidad pero que en ocasiones podemos medir, por ejemplo la humedad relativa del medio ambiente puede alterar el sistema, si esta humedad no puede controlarse tal vez se pueda medir y los resultados pueden tenerse en cuenta para el experimento. Cuando un factor varía de manera natural y no controlable puede llegar a controlarse para fines del experimento, a este factor se le conoce como factor de ruido.

⁴Argentina. Universidad del CEMA.(2004). El diseño experimental y los métodos de Taguchi: Conceptos y aplicaciones en la industria farmacéutica. Buenos aires: Yacuzzi, E.

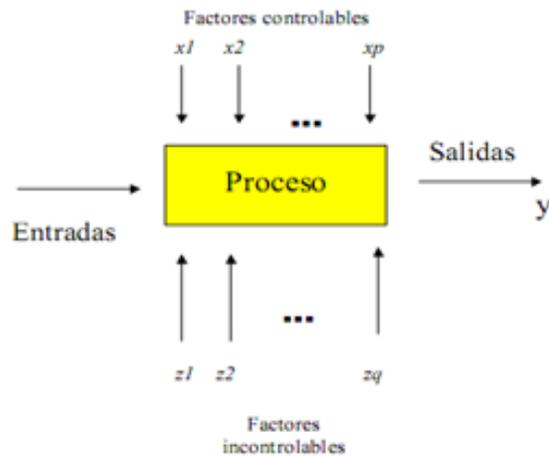


Figura 13. Modelo General de un proceso o sistema (Montgomery, 1991, p.2)⁵

También es importante definir los niveles en los que serán probados los factores. Por ejemplo un factor o variable puede considerarse como la temperatura de trabajo del proceso y sus niveles para la experimentación pueden ser 2: Alto (80 grados centígrados) o bajo (20 grados centígrados), con ambos niveles obtendrá posiblemente respuestas diferentes, en este caso se está trabajando con un rango de 60 grados, para la elección de este rango es necesario el conocimiento del proceso, el cual es una combinación de experiencia práctica y conocimientos teóricos.

3) Selección de la variable respuesta: El experimentador debe tener la certeza de que esta variable realmente proporciona información útil sobre el proceso bajo estudio. Se recomienda seleccionar una variable crítica del proceso, ya sea por su alta variabilidad, o porque sus indicadores de capacidad de proceso no son adecuados, o porque es causal de un porcentaje importante de defectos o artículos defectuosos. En la mayoría de los casos se selecciona como la media o la desviación estándar de un proceso. Es necesario tener en cuenta que la eficiencia de los instrumentos de medición conforma un factor importante para tener en cuenta.

4) Elección del diseño experimental: Se escoge el tipo de diseño (modelo) adecuado para el cumplimiento de los objetivos del experimento, teniendo en cuenta los aspectos económicos para que el experimento sea eficiente. La elección del diseño implica la consideración del tamaño de la muestra o número de réplicas, la selección de un orden de corridas adecuadas para los ensayos experimentales y la determinación si entran o no en juego la formación de bloques u otras restricciones acerca aleatorización.

5) Realización del experimento: Definir las personas que van a intervenir, la función de cada persona, seleccionar las unidades experimentales, aleatorizar el

⁵Montgomery, D. (1991). Diseño y Análisis de Experimentos. México D.F: Editorial Iberoamericana.

experimento, comprobar los sistemas de medición y llevar a cabo el experimento teniendo siempre un monitoreo para fijarse con atención que todo se esté realizando tal cual fue la planeación, determinar errores que pueden alterar los resultados, para ello Montgomery sugiere llevar a cabo inicialmente una prueba piloto con finalidad de realizar una corridas que proporcionen información sobre la consistencia del material experimental, una idea sobre el error y una oportunidad de replantear el experimento si se hace necesario.

6) Análisis estadístico de datos: Es conveniente resaltar la importancia de utilizar los métodos estadísticos adecuados para el análisis, estos deben estar totalmente acordes con el modelo o tipo de diseño seleccionado en la etapa de planeación; se recomienda el uso de un paquete de software estadístico, el cual garantiza la consistencia entre el modelo planeado y el ANOVA, además estos paquetes cuentan con ayudas gráficas que facilitan enormemente el análisis, para nuestro caso utilizaremos el software MINITAB.

En esta etapa se deben conjugar eficientemente el conocimiento del proceso y los métodos de análisis estadísticos, es importante resaltar que ninguna de las conclusiones obtenidas tendrá 100% de confiabilidad, en razón a que estamos trabajando con modelos probabilísticos y que las pruebas de nuestro experimento constituyen solamente una muestra aleatoria de la realidad que deseamos modelar. Se deben contrastar las hipótesis iniciales con los resultados del experimento, observar que nuevo conocimiento acerca del proceso nos dejó el experimento, validar los supuestos del modelo y seleccionar el tratamiento ganador.

7) Conclusiones y recomendaciones: En el momento en que se hayan analizado los datos, se hace necesario sacar las propias conclusiones prácticas acerca de los resultados obtenidos y realizar los correspondientes informes y avisos para el mejoramiento.

Es indispensable tener en cuenta que la experimentación es una parte esencial del proceso de aprendizaje, en la que se formulan hipótesis tentativas fundamentadas en el conocimiento técnico del proceso estudiado, se planean y ejecutan experimentos para comprobar dichas hipótesis y se formulan nuevas hipótesis para reiniciar el proceso; es justamente un proceso sistémico y es muy poco probable planear el gran y único experimento que solucione todos nuestros problemas en corto plazo, la experiencia nos indica que es más eficiente apostar a la experimentación secuencial, es decir, varios experimentos donde los resultados del anterior son la base para la planeación de uno nuevo. (Montgomery, 1991, p.10-14).⁶

En el sector industrial es costoso llevar a cabo experimentos, pero se han diseñado métodos adecuados estadísticamente que permiten obtener información en forma eficiente, se puede afirmar que a la fecha existe un tipo de experimento adecuado a cada situación; sin que dejemos de lado la importancia que en todo este proceso tiene el compromiso y liderazgo de la alta gerencia, es obvio que un proyecto de diseño experimental bien conjugado con las metas estratégicas de la compañía obtendrá fácilmente el patrocinio adecuado por parte de la empresa; y los buenos

⁶Montgomery, D. (1991). Diseño y Análisis de Experimentos. México D.F: Editorial Iberoamericana

resultados (demostrados financieramente) harán que estos recursos se vean como una inversión de comprobado retorno financiero

Para identificar estadísticamente cuales son los factores que tienen mayor incidencia en el comportamiento de la variable elegida como respuesta se utiliza el Análisis de varianza.

Para ella se utiliza una prueba de hipótesis sobre la igualdad de las medias de la variable respuesta, de la siguiente manera:

Ho: $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_k = \mu$

Ha: Al menos una media es diferente a las demás

Para identificar si se acepta o se rechaza la hipótesis se utiliza un estadístico de prueba manejándose un Valor P y una significancia. El valor p es la probabilidad de obtener una estadística de prueba que sea por lo menos tan extrema como el valor calculado. Un valor comúnmente utilizado en la significancia es 0.05. Si el valor p de una estadística de prueba es menor que su nivel de significancia, rechace la hipótesis nula, de esta manera se puede concluir que existe una diferencia significativa en los tratamientos indicando cuales son los términos más representativos del modelo.

La prueba F permite determinar la significancia del modelo y de los factores que lo componen, entre mayor sea el valor de este parámetro, mayor será la certeza con que se puede afirmar que el factor o interacción de factores tiene un efecto relevante para la explicación del modelo.

De igual manera es importante notar que todo diseño experimental se puede expresar a través de un modelo matemático o modelo de regresión que expresa la variable de respuesta en términos de los factores involucrados en el diseño. A través de los residuos (diferencia entre el valor real y el valor estimado por el modelo) del modelo matemático se puede validar el cumplimiento de los supuestos matemáticos del modelo; dichos supuestos son:

1. *Normalidad*: este supuesto se puede validar a través de pruebas estadísticas tales como Kolmogorov-Smirnov, Shapiro-Wilks, Anderson-Darling.

La prueba de Anderson-Darling es usada para probar si una muestra viene de una distribución específica. Esta prueba es una modificación de la prueba de Kolmogorov-Smirnov donde se le da más peso a las colas de la distribución que la prueba de Kolmogorov-Smirnov

En estadística, la prueba de Anderson-Darling es una prueba no paramétrica sobre si los datos de una muestra provienen de una distribución específica.

La fórmula para el estadístico determina si los datos (observar que los datos se deben ordenar) vienen de una distribución con función acumulativa F(Ver Ecuación 2).

Ecuación 2.Fórmula prueba Anderson-Darling

$$A^2 = -N \cdot S \quad (2.1)$$

$$S = \sum_{k=1}^N \frac{2k-1}{N} [\ln F(Y_k) + \ln(1 - F(Y_{N+1-k}))] \quad (2.2)$$

2. *Independencia*: La independencia de los errores se muestra gráficamente mediante una gráfica que compara los residuales con respecto al tiempo. Es importante que los datos se alimenten en el orden en que fueron tomados. En este diagrama se revisa que no se presente ningún patrón en la distribución de los datos, de lo contrario se concluiría que existen errores sistemáticos que se deben eliminar para realizar el análisis.(Cuesta, 2009, p8)⁷.

Para detectar la presencia de autocorrelación en una serie de datos la prueba más utilizada y que es calculada en, prácticamente, todos los programas econométricos, es la de Durbin Watson. Para este fin se define el estadístico de la siguiente manera:

Ecuación 3.Fórmula estadístico Durbin Watson

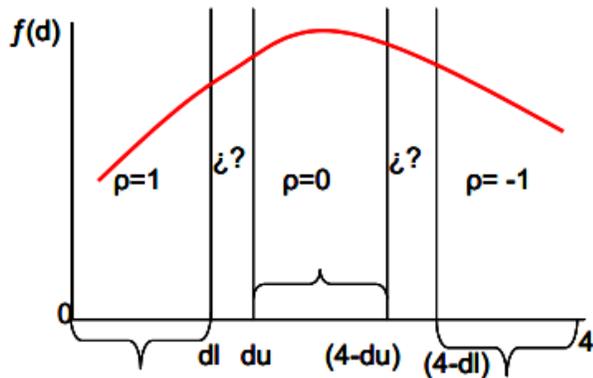
$$d = \frac{\sum_{t=2}^{t=T} (E_t E_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^{t=T} E_t^2} \quad (3.1)$$

Donde E_t es el residuo estimado para el periodo t. Es posible escribir a d como

$$d = \frac{\sum_{t=2}^{t=T} E_t^2 + \sum_{t=2}^{t=T} E_{t-1}^2 + 2 \sum_{t=2}^{t=T} E_t E_{t-1}}{\sum_{t=1}^{t=T} E_t^2} \approx 2(1 - p) \quad (3.2)$$

La distribución del muestreo de la prueba y su contraste depende del número de observaciones, del numero de parámetros, de la inclusión o no del intercepto y de la incorporación de variables rezagadas en el modelo, además del nivel de significancia (Ver figura 14) Los valores del estadístico Durbin-Watson poseen un rango que va de cero a cuatro.

⁷Colombia. Centro de calidad de Cali. (2009). Diseño de experimentos conceptos básicos. Cali: Cuesta. A



<u>Valor del Durbin entre</u>	<u>Valor del ρ</u>	<u>Conclusión</u>
Limites 0—dL	1	Autocorrelación Positiva
Limites dL—dU	$\zeta?$	Ausencia de Evidencia
Limites dU—4-dU	0	Ausencia de Autocorrelación
Limites 4-dU—4-dL	$\zeta?$	Ausencia de Evidencia
Limites 4-dL—4	-1	Autocorrelación Negativa

Figura 14. Distribución de muestreo prueba Durbin – Watson

Existen tablas para probar la hipótesis de autocorrelación cero ($\rho=0$) contra la hipótesis de autocorrelación positiva ($\rho>0$), que arrojan los límites: inferior (dL) y superior (dU), para la autocorrelación negativa se estima por diferencia con límites dado por la tabla que son 4-dU y 4-dL. ⁸(Ramírez, 2004, p4).

3. Homogeneidad o varianza constante: Se recomienda formar varios grupos de residuos consecutivos (ordenando ascendentemente las observaciones según el valor estimado de y), calcular el promedio y la varianza de cada grupo; en este momento se tienen varios promedios y varias varianzas; entonces se procede a efectuar una regresión lineal de promedios en función de varianzas, si no existe relación lineal significativa entre promedios y varianzas, se considera que el modelo si cumple adecuadamente con el supuesto.

Aunque la desigualdad de varianza puede ser evaluada por el análisis de los gráficos de los residuos, existen pruebas estadísticas que son más precisas. Una prueba bastante usada es la prueba de Bartlett. El test calculará una estadística, cuya distribución de la muestra es bien aproximada por la distribución χ^2 , con $(\alpha-1)$ grados de libertad, cuando las “ α ” muestras aleatorias fueran provenientes de poblaciones normales Independientes. La estadística de prueba es dada por:

Ecuación 4. Fórmula prueba de Bartlett

⁸Venezuela. Universidad de los Andes. (2004). Autocorrelación: Ramírez. D

$$X_0^2 = 2,3026 \frac{q}{c} (4.1)$$

Donde:

$$Q = (N - \alpha) \log S_p^2 - \sum_{i=1}^{\alpha} (n_i - 1) \log S_i^2 \quad (4.2)$$

$$C = 1 + \frac{1}{3(\alpha-1)} [\sum_{i=1}^{\alpha} (n_i - 1)^{-1} - (N - \alpha)^{-1}] \quad (4.3)$$

$$S_p^2 = \frac{\sum_{i=1}^{\alpha} (n_i - 1) S_i^2}{N - \alpha} \quad (4.4)$$

Siendo, S_i^2 la varianza de la muestra de la i -ésima población. La cantidad q es grande cuando las varianzas muestrales S_i^2 difieren mucho; siendo igual a cero cuando todas las S_i^2 fueran iguales. Así, rechazamos H_0 si los valores de X_0^2 fueran muy grandes; o sea, rechazaremos H_0 solamente si $X_0^2 > X_{\alpha, \alpha-1}^2$ el punto porcentual superior de la distribución X^2 , con $\alpha-1$ grados de libertad. (Vivanco, 2009, p70)⁹

Cuando los datos son números enteros o variables discretas, frecuentemente se extrae la raíz cuadrada de los datos, ya que estos suelen seguir una distribución de Poisson (varianza dependiente de la media) en vez de una Normal. La transformación \sqrt{Y} generalmente hará que las varianzas sean independientes de las medias. (Serrano, 2003, p 44)¹⁰

4.2 MARCO CONCEPTUAL

El diseño de experimentos ha sido creado por matemáticos y estadísticos, por lo que posee su propio lenguaje, el cual es necesario para conocer para su mejor comprensión y utilización. A continuación se describen algunos de los términos más importantes:

⁹Perú. Universidad Nacional del Callao (2009) Facultad de Ingeniería pesquera y de alimentos. Planeamiento de Experimentos y Optimización de Procesos en la Industria de Alimentos". Callao: Vivanco. D

¹⁰España. Universidad Jaume I (2003). Introducción al análisis de datos experimentales: tratamientos de datos en Bioensayos. Cataluña: Serrano. R

Anova.

Es una colección de modelos estadísticos y sus procedimientos asociados, en el cual la varianza está particionada en ciertos componentes debidos a diferentes variables explicativas. Los ejemplos de aplicación son múltiples, pudiéndose agrupar, según el objetivo que persiguen, en dos principalmente: la comparación de múltiples columnas de datos y la estimación de los componentes de variación de un proceso.

Arreglo factorial.

Conjunto de puntos experimentales o tratamientos que pueden formarse al considerar todas las posibilidades de combinación de los niveles de los factores.

Bloque.

Grupo de unidades experimentales que son homogéneas con respecto a un factor; todas las unidades experimentales en un bloque son afectadas en la misma manera por el factor bajo el cual se formó el bloque.

Diseño de experimentos.

El diseño de experimentos es una parte clave del desarrollo de la metodología Seis Sigma para determinar los factores importantes que influyen en un determinado proceso y encontrar su combinación óptima para así mejorar el rendimiento y el producto derivado.

Efecto de un factor.

El cambio estadísticamente significativo que se observa en la variable de respuesta debido a un cambio de nivel en el factor.

Efecto principal.

Es la contribución de cada factor sobre las variables de respuesta después de medir el cambio producido en éstas (el cambio depende del nivel de cada factor).

Error experimental.

Representa la porción de variabilidad de la variable de respuesta, que no resulta ser explicada por los factores estudiados a causa de errores cometidos por el investigador en las etapas de planeación y ejecución del experimento.

Factor cualitativo.

Sus niveles de prueba toman valores de tipo nominal; ejemplo: máquinas, lotes, marcas, etc.

Factor cuantitativo.

Sus niveles de prueba toman cualquier valor dentro de cierto intervalo, su escala de medición es continua; ejemplo: temperatura, presión, velocidad, etc.

Factores controlables.

Variables de entrada (ó de proceso) que el investigador puede fijar en un punto o nivel de operación; por ejemplo: si un proceso trabaja con agua y existe algún mecanismo que permita fijar la temperatura del agua en 60 ó 65 ó 70 grados Celsius, entonces decimos que la Temperatura es un factor controlable. En este punto es importante resaltar el aspecto de la calidad de las mediciones (Aseguramiento metrológico).

Factores no controlables.

Se pueden llamar también Factores de ruido, y casi siempre son la mayoría de variables que pueden afectar nuestra variable de respuesta; son variables que NO se pueden controlar durante la operación normal del proceso. Un factor NO controlable puede llegar a ser controlable en la medida en que se desarrollen mecanismos de control. Ejemplo: la temperatura ambiente, el ánimo de los operadores, la cantidad de lluvia, etc. son factores que suelen ser NO controlables.

Factores.

Cualquier influencia que afecta las variables de respuesta (excluyendo a los tratamientos), es controlada casi completamente por el experimentador; de esta variable se desean estudiar los efectos ya sea en una o en varias respuestas. Puede presentarse de forma cuantitativa o cualitativa. Los factores son los componentes del proceso y el nivel en el que éstos se encuentran determina las variables de respuesta resultante, la cual se pretende mejorar u optimizar.

Interacción entre factores.

Se presenta cuando el efecto de un factor depende del nivel en que se encuentra el otro factor.

Interacción.

Cuando Existe una relación o dependencia entre dos o más factores, es decir, cuando el efecto de un factor depende del nivel de otro.

Niveles de un factor:

Estados, categorías o intensidades de un factor.

Niveles.

Los diferentes valores que se asignan (fijan) a cada factor estudiado en un diseño experimental se denominan niveles. Una combinación de niveles de todos los factores estudiados se denomina tratamiento o punto de diseño. También es posible que esos niveles sean escogidos de manera aleatoria.

Unidad experimental.

Cada elemento que será sometido a determinadas condiciones del experimento y que brindará una respuesta (medición o dato estadístico). Las características de este elemento deben ser claramente definidas por el investigador; según el caso unidad experimental puede ser: una persona, una caja, un camión, un turno de producción, un m³ de carbón, una hora, etc., etc. Lo que debe quedar claro es que cada unidad experimental producirá una respuesta (un dato para ser analizado).

Variable respuesta.

Aquella característica de interés para el investigador, aquella que se quiere mejorar mediante el experimento. Por lo general el valor de esta variable afecta la calidad del producto; cada unidad experimental entrega un valor de la variable de respuesta, es decir, nuestro experimento tendrá tantos datos como unidades experimentales hayan sido incluidas.

4.3 ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN

La panificadora Éxito no presenta estudios anteriores donde se utilice el diseño experimental, sin embargo sí existen aplicaciones de ésta herramienta en empresas relacionadas con la misma razón comercial y se obtuvieron excelentes resultados que sirven como base para este proyecto.

Como primer punto de referencia se encuentra un estudio realizado en 2004 por Sergio Henao Osorio, ingeniero agroindustrial de la Universidad Nacional de Colombia con sede en Palmira en donde se buscaba la factibilidad de reemplazar un porcentaje de la harina de trigo por harina de yuca y analizar la influencia en el producto final.

El proyecto fue llevado a cabo en la panadería “La Estrella” donde se realizaron experimentos variando el porcentaje de participación de la nueva harina combinada, obteniendo como resultado que la sustitución de un 5 a 10% de harina de yuca es factible manteniendo las condiciones de sabor y calidad nutricional del

pan, presentando un ahorro en materia prima de aproximadamente un 10% que se tradujo en reducción de costos y aumento de utilidades para la empresa.¹¹

Otro proyecto que utilizó como metodología el diseño de experimentos para otro sector empresarial pero refiriéndose a la reducción de desperdicios de producción, fue el trabajo realizado por el Ing. Martín Tanco y las Doctoras Laura Ilzarbe, Elisabeth Viles y M. J. Alvarez de TECNUN, (2008) Universidad de Navarra, San Sebastián, España. Este equipo realizó el proyecto llamado “Applying Design of Experiments to improve a laser welding process” o en su versión traducida y reducida: “Aplicación del Diseño de Experimentos para la mejora de procesos”¹².

El estudio se hizo en una fábrica de automóviles, en el proceso de la soldadura láser aplicada para unir los laterales del auto y su techo, este proceso presentaba problemas de calidad, ya que la aparición de poros en ambos cordones de la soldadura era frecuente; el proyecto comenzó con una tasa media de defectos del 3% y buscaba reducir esta situación con la aplicación del diseño de experimentos.

El proceso objeto de estudio se encarga de soldar cada uno de los costados del coche con el techo. En dicho proceso, las tres partes del coche son introducidas a una cabina cerrada en donde son soldadas con aporte de material por un robot a través de un láser. Existen dos cordones de soldadura, uno a cada lado del coche, los cuales son producidos por dos robots gemelos pero completamente independientes. Las directivas realizaron una estimación sobre los costos de no calidad, este defecto ocasionaba pérdidas de alrededor de 33.600 euros/anuales, a la cual se deben sumar además los costos implicados por re trabajar los automóviles defectuosos fuera de la línea de producción.

Luego de realizar el correspondiente estudio y análisis de los datos arrojados por la experimentación, se logro reducir los desperfectos producidos por la soldadura a un 0,09% en el lado izquierdo y a un 1,4% en el lado derecho; esto fue una reducción promedio del 97% en los desperfectos del proceso estudiado.

La experiencia fue positiva y muy constructiva, ya que utilizando un diseño sencillo, se obtuvo una reducción importante del problema. La experiencia fue muy buena para aprender nuevas herramientas, especialmente para los que trabajan en la fábrica; este proyecto mostró la utilidad del Diseño de Experimentos para la mejora de procesos y sirve de ejemplo para nuevos proyectos de aplicación.

¹¹Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Ciencia, tecnología, desarrollo e innovación. (2004). Estudio Tecnológico de utilización de harina de yuca en panificación. Sede Palmira.

¹²España. Universidad de Navarra. (2008). Aplicación del Diseño de Experimentos para la mejora de procesos. San Sebastián: Ilzarbe, L., Viles. E., Alvarez, M.

5. METODOLOGIA DE INVESTIGACIÓN

El problema planteado en la investigación realizada en la Panificadora Éxito lleva a concluir que el trabajo comienza por ser de tipo exploratorio, pasa a ser descriptivo y finalmente se convierte de tipo explicativo debido a que se cumple una metodología que comienza desde un sondeo inicial, para después determinar las posibles causas o razones del comportamiento de las variables y posteriormente se obtiene una solución factible al problema.

El trabajo consiste en lograr una mejora individual en cada una de las etapas del proceso productivo del pan mantequilla de 50gr para en último llegar a una solución conjunta que disminuya el porcentaje de defectuosos del producto final. Para ello se utilizaron herramientas estadísticas especialmente el Diseño Experimental. A continuación se describe el procedimiento realizado.

- 1) Identificación y definición del problema: Con base en información histórica recolectada por el equipo, se definió que el porcentaje de producto final defectuoso era aproximadamente del 6% que se estiman en un valor de 37 millones de pesos anuales. Se determinó que el problema no se debe a una fase en específico sino que es la acumulación de la variabilidad a lo largo de todo el proceso.
- 2) Elección de los factores, niveles y rangos: Para cada uno de los procesos se requirieron varios días de observación e investigación teórica con el fin de determinar cuáles eran los factores más relevantes que generaban la variabilidad en el sistema.
- 3) Selección de la variable respuesta: Dependiendo del proceso que se estaba mejorando se define la variable respuesta. Para el proceso de mezclado el interés se encontraba en encontrar una masa con características de viscosidad, maleabilidad y temperatura excelentes; para el proceso de corte, crecimiento y horneado se requería analizar las dimensiones de largo y diámetro del pan; y para el proceso de empaque se analiza el porcentaje de productos defectuosos.
- 4) Elección del diseño experimental: Dependiendo igualmente del proceso a mejorar se planeaba la experimentación, se selecciona el tamaño de muestra, el número de repeticiones y la posible formación de bloques, esta fase se encuentra explicada en profundidad en la sección de experimentación.
- 5) Realización del experimento: Una vez planeados los experimentos para cada proceso, se procede a la ejecución de estos. El proceso de mezclado se dividió en tres secciones: las dos primeras para determinar las variables con mayor

incidencia y la última sección para integrarlas (cada sección se realizó en días diferentes); El experimento para el proceso de crecimiento fue dividido en dos bloques (2 días de toma de datos); el experimento para los procesos de multiformado y horneado se realizaron en un día cada uno y con respecto al proceso de empaque se tomaron muestras durante 12 días de producción.

Entre las herramientas de medición de datos se encuentran un cronómetro, un pedazo de nylon para medir la longitud y diámetro de los panes, una regla, y un termómetro.

- 6) Análisis estadístico de datos: Para esta fase se utilizó en especial el software MINITAB, mediante el cual se definieron las variables más importantes en cada proceso, la interacción con otras variables, la combinación que permitía mejoras en cada etapa del sistema, además se estudiaron los supuestos estadísticos para determinar la validez del modelo.
- 7) Conclusiones: Una vez analizados los datos, determinados teóricamente las mejores combinaciones de niveles y variables para cada proceso, se procedió a correr el sistema bajo estas variaciones, finalmente se obtuvo una mejora considerable en general, donde se pasó de un 6% a un 3% de productos defectuosos en el proceso de empaque lo cual conlleva a un ahorro aproximado a 18 millones anuales que se recomendaron ser reinvertidos en tecnología que permita controlar aún más el sistema.

6. MEJORAMIENTO DE PROCESO.

6.1 MEJORAMIENTO PROCESO DE MEZCLADO

6.1.1 Identificación del problema

El proceso de mezclado, como anteriormente se menciona, está compuesto por dos etapas que se desarrollan en la misma máquina (mojadora). La primera consiste en combinar los ingredientes necesarios para fabricar el pan sin la adición de agua, esta primera etapa dura aproximadamente 10 minutos en la primera velocidad de la mojadora (velocidad lenta). Pasado este tiempo, el operario encargado del proceso adiciona el último ingrediente faltante para la mezcla, el agua, en una cantidad aproximada de 25 L, programando la máquina mojadora en la segunda velocidad (velocidad rápida), los ingredientes se mezclan en esta velocidad un tiempo de aproximadamente 7 minutos, hasta obtener finalmente una masa consistente que posteriormente se convertirá en pan. Es de crucial importancia mantener este punto del proceso controlado, ya que de la buena conformación de la masa dependen los pasos subsiguientes en la conformación del pan. Se han presentado varios casos en los que la masa se torna dura o momentos en los cuales es muy viscosa, situaciones en las cuales se supone alteraciones en el producto final.

En el proceso de mezclado existen factores que afectan directamente la calidad del lote (masa), estos son la temperatura de la masa y la textura de la misma. La temperatura de la masa resultante, luego del proceso de mezclado, no debe exceder la temperatura ambiente (aproximadamente 23 °C); ya que si la masa experimenta una temperatura superior, la levadura presente en la mezcla se activara antes de tiempo, lo que afecta directamente el proceso en el cuarto de fermentación. La temperatura depende directamente del tiempo de exposición a las diferentes velocidades de la máquina. El otro factor que debe tenerse en cuenta en el proceso de mezclado es la textura de la masa, que puede depender de la harina que se utilice para su conformación, la cantidad de agua que se le suministre a la mezcla y los tiempos de exposición de la mezcla a cada una de las velocidades de la máquina.

El fin de la experimentación en este punto del proceso es determinar la combinación óptima de las variables que juegan un papel importante en el proceso de mezclado, con lo cual se espera mejorar significativamente la calidad del pan y con esto disminuir el porcentaje de productos defectuosos al final del proceso.

6.1.2 Elección de factores y niveles:

Los factores determinados como controlables para la experimentación son:

- Cantidad de Agua
- Tipo de Harina (proveedor)
- Tiempo de mezclado en la velocidad 1
- Tiempo de mezclado en la velocidad 2

Para cada uno de los factores se maneja 2 niveles; los niveles de los factores se muestran en la tabla 3.

Tabla 2. Niveles experimentación para el proceso de mezclado

FACTOR	NOMBRE	NIVEL BAJO (-1)	NIVEL ALTO (1)
A	AGUA	25 litros	28 litros
B	HARINA	TIPO I	TIPO II
C	T. MEZCLA 1	5 MINUTOS	8 MINUTOS
D	T. MEZCLA 2	8 MINUTOS	14 MINUTOS

Nota de experimentación:

- El factor HARINA presentará dos opciones; la harina TIPO I, que es fabricada por el proveedor “Molinera del Valle” y la harina tipo II que es fabricada por el proveedor “Industria Molinera de Caldas”.

6.1.3 Experimentos

Con el fin de reducir la utilización de recursos en experimentación y de facilitar un poco más el análisis del efecto que cada una de estas variables tiene sobre el proceso, se dividió el experimento en tres etapas o sub experimentos que se muestran a continuación:

- *Experimento 1:* En este experimento se estudiarán los efectos de las variables Agua y Harina, mientras las otras dos variables permanecen constantes en nivel bajo.

- *Experimento 2:* En este experimento se estudiarán los efectos de las variables Tiempo de Mezcla 1 (utilizado para la fusión de ingredientes sin agua) y Tiempo de Mezclado 2 (aplicado para la homogenización de la masa con el agua) mientras las otras dos variables (Agua y tipo de harina) permanecen constantes en nivel bajo.
- *Experimento 3:* Este experimento se realizará con las variables que hayan mostrado ser significativas en los dos primeros experimentos.

6.1.4 Selección de variable respuesta

Para los tres experimentos se maneja una respuesta basada en una calificación de 1 a 10, que será el resultado de la suma de las calificaciones que se le den a los factores temperatura y textura de la masa dentro del experimento, la calificación de estos dos últimos factores será de 1 a 5.

La elección de la variable respuesta mediante una suma de calificaciones se debe a que se consideran 2 variables respuestas con igual importancia: la temperatura final del pan y la textura de este. Esta transformación permitirá abordar las dos variables respuesta al mismo tiempo y analizar los resultados con mayor claridad. Los criterios para asignar la calificación de la textura son netamente cualitativos, ya que la textura de la masa no es un factor que se pueda medir fácilmente porque depende directamente del conocimiento y la experiencia que los productores de pan quienes determinan si la textura de la masa es la correcta; por otra parte, los criterios para asignar la calificación al factor Temperatura serán cuantitativos teniendo como base niveles teóricos óptimos para el proceso.

Debido a que en esta parte del proceso se trabaja con un lote (moje) no es posible tomar una gran cantidad de mediciones ya que esto demandaría mucho tiempo y un gran aumento de los costos de experimentación. A continuación se muestra la tabla 4 donde se muestra el criterio para calificar la variable temperatura:

Tabla 3. Criterios de calificación experimento de mezclado

NIVEL CERO DE DESVIACIÓN	
TEMPERATURA	23 °C
DESVIACIÓN	CALIFICACIÓN
0 °C	5
{0 - 2 °C}	4
{2,1 - 4 °C}	3
{4,1 - 6 °C}	2
{6,1 - 10 °C}	1

6.1.5 Desarrollo del experimento

- Experimento 1

Para esta fase se determinó realizar un experimento 2^2 (2 factores con 2 niveles) con dos replicas cada combinación para un total de 8 resultados.

Se muestra la figura 15 con los datos correspondientes al orden de corrida para el primer experimento realizado en el proceso de mezclado.

↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6-T	C7
	OrdenEst	OrdenCorrida	PtCentral	Bloques	Agua	Harina	Calificación
1	6	1	1	1	28	Tipo I	7
2	3	2	1	1	25	Tipo II	5
3	4	3	1	1	28	Tipo II	9
4	8	4	1	1	28	Tipo II	8
5	1	5	1	1	25	Tipo I	4
6	2	6	1	1	28	Tipo I	6
7	5	7	1	1	25	Tipo I	5
8	7	8	1	1	25	Tipo II	5

Figura 15. Orden de Corrida Experimento 1 proceso de mezclado

Análisis de Varianza

El análisis de varianza se realizó con el programa MINITAB®. Se realizó una prueba de hipótesis sobre la igualdad de las medias de las calificaciones, de la siguiente manera:

$$H_0: u_1 = u_2 = u_3 = \dots u_k = u$$

Ha: Al menos una media es diferente a las demás.

El nivel de confianza que se manejó para la prueba de hipótesis es del 95%. Se utiliza el valor de P obtenido en el análisis de varianza y un $\alpha = 0.05$ para concluir si se rechaza o acepta la hipótesis. En la tabla 5 se muestra la información respectiva al Análisis de varianza.

Tabla 4. Análisis de varianza para experimento 1 de proceso mezclado

<i>Fuente</i>	<i>GL</i>	<i>SC</i> <i>Sec.</i>	<i>SC</i> <i>Ajust.</i>	<i>CM</i> <i>Ajust.</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Efectos principales	2	18,25	18,25	9,125	24,33	0,006
Agua	1	15,125	15,125	5,125	40,33	0,003
Harina	1	3,125	3,125	3,125	8,33	0,045
2-Interacciones de (No.) Factores	1	1,125	1,125	1,125	3	0,158
Agua*Harina	1	1,125	1,125	1,125	3	0,158
<i>Error residual</i>	4	1,5	1,5	0,375		
Total	7	20,875				

La prueba F permite determinar la significancia del modelo y de los factores que lo componen, entre mayor sea el valor de este parámetro, mayor será la certeza con que se puede afirmar que el factor o interacción de factores tiene un efecto relevante para la explicación del modelo. Para este caso, el modelo obtuvo una prueba F de 24.33, lo cual expresa que el modelo es significativo, apoyándose en los resultados del valor P.

Los valores P menores a 0,05 permiten rechazar la hipótesis nula, de esta manera se puede concluir que existe una diferencia significativa en los tratamientos indicando cuales son los términos más representativos del modelo, en este caso fueron los 2 factores considerados inicialmente (agua y harina). La interacción Agua- Harina presenta un $P > 0,05$ indicando que no existe una diferencia significativa con los tratamientos por tanto no es representativa.

Otro parámetro que apoya el modelo es el R^2 , para este experimento su valor fue de R-cuad. = 75,3%, (Ver figura 16) lo cual indica que los factores incluidos en el modelo explican en un 75,3% la variabilidad del mezclado del pan y por ello afectan la calificación. Para conocer a fondo como se comportó cada variable durante el estudio, y para comprobar los resultados obtenidos con la ANOVA, se realizó un análisis gráfico.

S = 0,612372 PRESS = 6
R-cuad. = 75,31% R-cuad. (pred.) = 69,22% R-cuad. (ajustado) = 70,91%

Figura 16. R cuad. Experimento 1 proceso de mezclado

Análisis gráfico.

El uso de gráficas ayuda a visualizar de manera más clara los efectos de cada uno de los factores y las interacciones entre ellos.

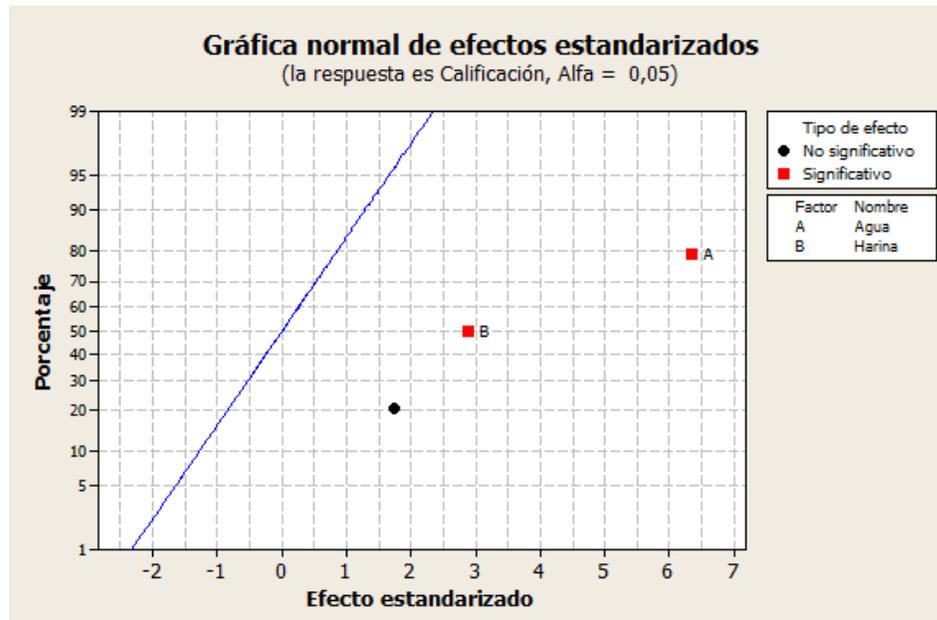


Figura 17. Grafico Normal de lo Efectos Experimento 1 de proceso de mezclado.

La grafica normal de los efectos estandarizados (Figura 17) permite comprobar que, con los resultados obtenidos en el análisis de varianza, los factores significativos fueron el agua y la harina. La interacción entre los dos factores no resulto ser relevante.

Diagrama de Efectos Principales.

Con este diagrama se puede concluir cual es el nivel optimo de combinación de los factores (Figura 18), donde se identificó que se presentaban mejores resultados trabajando con el agua en nivel alto (28 litros) y con la harina tipo II.

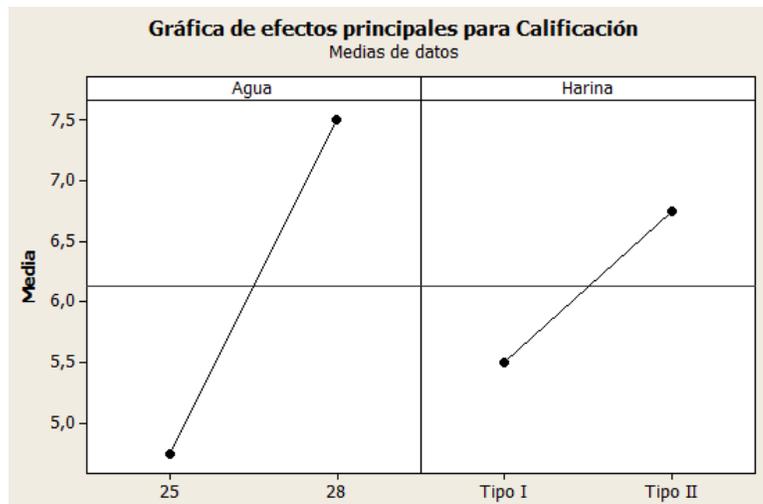


Figura 18. Gráfica de efectos principales Experimento 1 de proceso de mezclado

Diagrama de interacción de factores.

La gráfica de interacción de factores (Figura 19) muestra que las dos variables son independientes entre sí y que el mejor rendimiento se obtiene cuando las dos están en su nivel alto (28 litros para el agua y la harina tipo II).

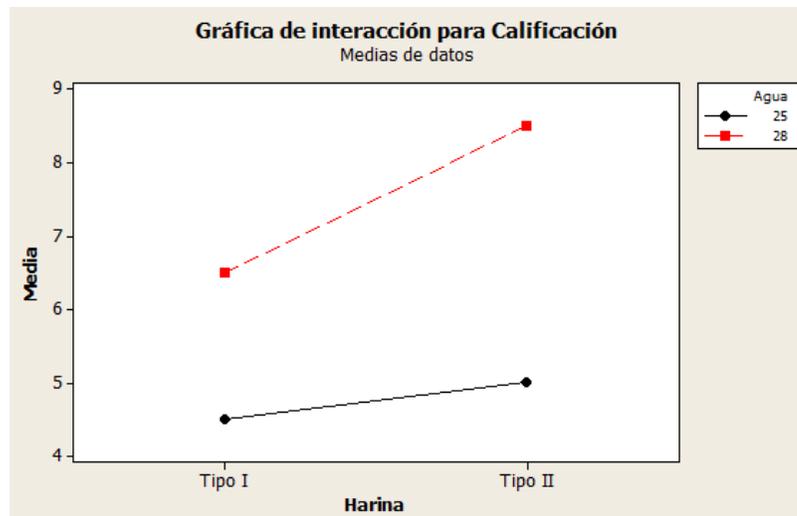


Figura 19. Diagrama de interacción de factores experimento 1 proceso de mezclado

Verificación de Supuestos

Es necesario verificar ciertos supuestos para tener la seguridad de que los resultados arrojados por el análisis de varianza son correctos. Los supuestos del modelo utilizados son:

- El error e_{ij} tiene una distribución normal $e_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$
- El error e_{ij} es independiente de cualquier otro tipo de error.
- La varianza es la misma para todos los tratamientos.

Debido a que la variable respuesta es discreta, es necesario aplicar una transformación a dicha variable para la verificación de los supuestos del análisis DOE. Para este caso la transformación aplicada es la raíz cuadrada de la variable respuesta, en la Tabla 6 se muestran los nuevos datos para la verificación de los supuestos.

Tabla 5. Experimento 1 proceso de mezclado con transformación de variable respuesta

Bloque	Orden Est	Orden Corrida	Factores		Y= Calif Total	Y'= Raíz(Y)
			A	B		
1	6	1	28	Tipo I	7	2,6
1	3	2	25	Tipo II	5	2,2
1	4	3	28	Tipo II	9	3,0
1	8	4	28	Tipo II	8	2,8
1	1	5	25	Tipo I	4	2,0
1	2	6	28	Tipo I	6	2,4
1	5	7	25	Tipo I	5	2,2
1	7	8	25	Tipo II	5	2,2

Prueba de Normalidad de los errores

De acuerdo a la figura 20, se puede observar que los datos distribuyen a lo largo de una línea recta, por lo que podemos decir que se sigue una distribución normal. Además apoyados por la prueba de Darling la cual arroja un valor P de 0,289, se acepta la hipótesis nula de que los errores se comportan siguiendo la distribución normal.

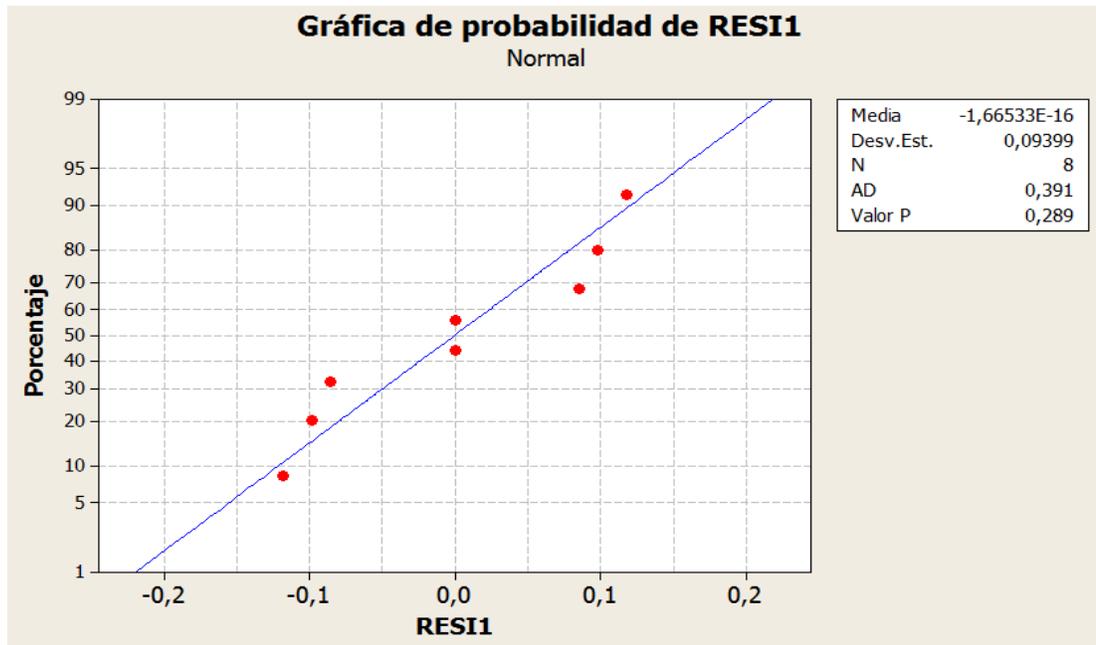


Figura 20. Gráfica de probabilidad normal experimento 1 proceso de mezclado

Prueba de Independencia de los errores

La independencia de los errores se muestra mediante una gráfica que compara los residuales con respecto al tiempo. Es importante que los datos se alimenten en el orden en que fueron tomados. En este diagrama se revisa que no se presente ningún patrón en la distribución de los datos, de lo contrario se concluiría que existen errores sistemáticos que se deben eliminar para realizar el análisis.

Para este experimento se puede observar en la figura 21 que los datos se encuentran distribuidos aleatoriamente y que no siguen ningún patrón definido, por lo que podemos afirmar que los errores son independientes entre sí.

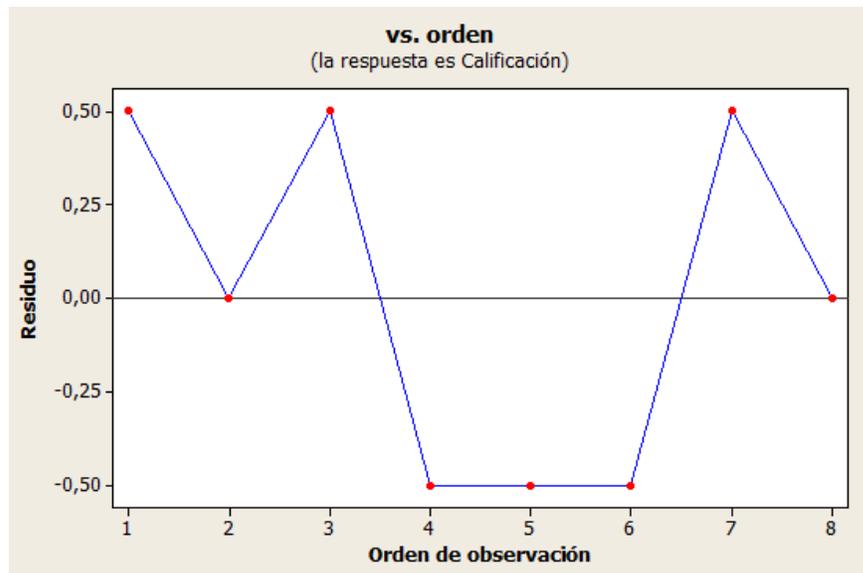


Figura 21. Prueba de independencia experimento 1 proceso de mezclado

Además se realizó la prueba Durbin-Watson, utilizando las herramientas que provee el software Minitab. El estadístico de Durbin obtenido para los errores de los residuos de los datos se muestra en la figura 22

Estadístico de Durbin-Watson = 2,19088

Figura 22. Estadístico Durbin experimento 1.1

Al observar los valores de la tabla de Durbin-Watson (Ver anexo A) se tiene que los límites dL y dU son 0,559 y 1,777 respectivamente, manejando una significación de 0,05. (Ver figura 23)



Figura 23 Intervalo para prueba Durbin- Watson experimento 1.1

El estadístico de Durbin para los residuos de los datos se encuentra en la zona de no correlación, con lo que se cumple el supuesto de independencia del análisis DOE.

Prueba de Igualdad de Varianzas

Al igual que la gráfica anterior, en la prueba de igualdad de Varianzas se pretende comprobar que no existe un patrón en los valores predichos. Los puntos deben estar dispersos alrededor del 0 en los residuales.

De acuerdo a la figura 24, se observa que no existe un patrón definido en los puntos y que estos se encuentran distribuidos alrededor del cero, por lo que se puede concluir que las varianzas son iguales para todos los tratamientos.

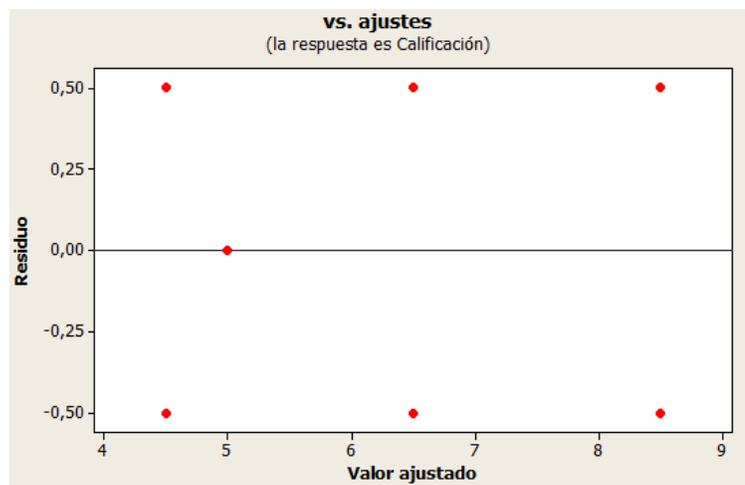


Figura 24. Prueba de igualdad de varianzas experimento 1.

Además al aplicar la prueba de Bartlett se obtiene un valor P de 0,965 (Ver figura 25), al ser mayor a la significancia (0,05), se acepta la hipótesis nula que manifiesta que las varianzas de los errores de los datos son iguales.

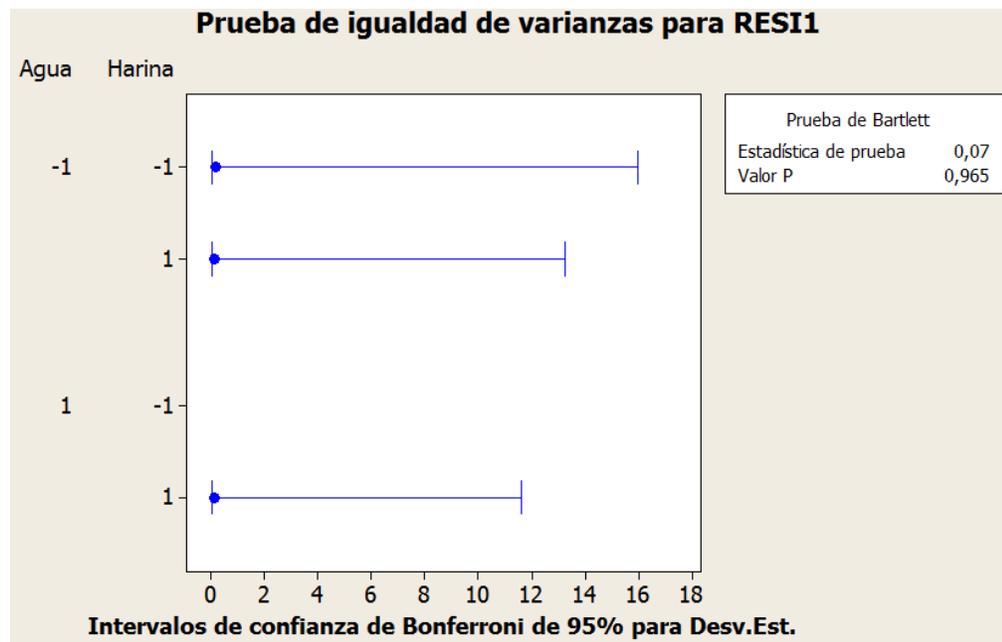


Figura 25. Prueba Bartlett experimento 1.1

En conclusión con respecto al experimento 1 se identificaron los mejores resultados cuando se trabajó con el nivel alto del agua (28 litros) y con la harina tipo II (Proveedor molinera de Caldas).

- *Experimento 2:*

Similar al experimento 1, para esta fase se determinó realizar un experimento 2^2 (2 factores con 2 niveles) con dos replicas cada combinación para un total de 8 resultados con el fin de determinar cuál o cuáles variables eran significativas e incluirlas en el tercer experimento que abordará las variables significativas en el primer experimento.

Los factores son:

Tiempo en Velocidad tipo 1: 5 – 8 min

Tiempo en Velocidad tipo 2: 8 – 14 min

Los factores Agua y Harina permanecieron de acuerdo a los mejores resultados del experimento anterior, es decir, agua en nivel alto y con la harina tipo.

En la figura 26 se expresan los datos correspondientes al orden de corrida para el segundo experimento realizado en el proceso de mezclado.

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
OrdenEst	OrdenCorrida	PtCentral	Bloques	T. Mezclado 2	T. Mezclado 1	Y (Calificación)
5	1	1	1	8	5	8
7	2	1	1	8	8	7
4	3	1	1	14	8	5
1	4	1	1	8	5	9
2	5	1	1	14	5	4
6	6	1	1	14	5	5
3	7	1	1	8	8	6
8	8	1	1	14	8	4

Figura 26. Orden de Corrida Experimento 2 proceso de mezclado

Tabla 6. Análisis de varianza para experimento 2 de proceso mezclado

Fuente	G	SC	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
	L	Sec.				
Efectos principales	2	20	20	10	20	0,008
T. Mezclado 2	1	18	18	18	36	0,004
T. Mezclado 1	1	2	2	2	4	0,116
2-Interacciones de (No.) Factores	1	2	2	2	4	0,116
T. Mezclado 1*T. Mezclado 2	1	2	2	2	4	0,116
Error residual	4	2	2	0,5		
Total	7	24				

Para este caso, el modelo obtuvo una prueba F de 20 (ver tabla 7), lo cual expresa que el modelo es significativo, apoyándose en los resultados del valor P.

El R cuadrado obtenido fue de 68.67 (Ver figura 27), lo cual indica que las variables analizadas explican en un 69 % el comportamiento del modelo. Los valores P menores a 0,05 permiten rechazar la hipótesis nula, de esta manera se puede aceptar que existe una diferencia significativa en los tratamientos indicando cuales son los términos más representativos del modelo, en este caso fue el factor T. Mezclado2 el más importante en el modelo.

S = 0,707107	PRESS = 8
R-cuad. = 68,67%	R-cuad. (pred.) = 46,67% R-cuad. (ajustado) = 65,42%

Figura 27. R cuad. Experimento 2 proceso de mezclado

Análisis gráfico

La grafica normal de los efectos estandarizados (figura 28) permite comprobar que, con los resultados obtenidos en el análisis de varianza, el factor significativo

fue el Tiempo de mezclado 2. La interacción entre los dos factores no resulto ser relevante.

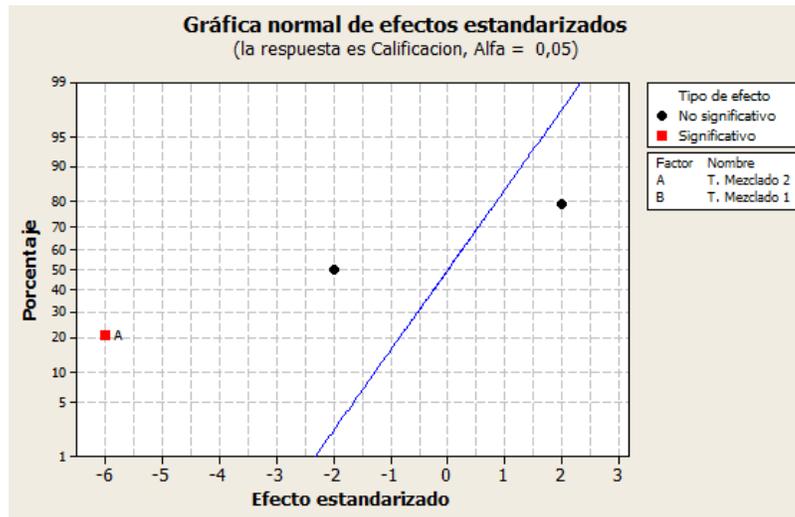


Figura 28. Grafico Normal de lo Efectos Experimento 2 de proceso de mezclado

Diagrama de Efectos Principales

Con este diagrama (figura 29) se puede concluir, para cada uno de los efectos principales, cual es el nivel óptimo de operación. Se identifica que la combinación óptima de factores se da trabajando con el Tiempo de Mezclado 2 en nivel bajo (8 minutos) y Tiempo de Mezclado 1 en nivel bajo (5 minutos).

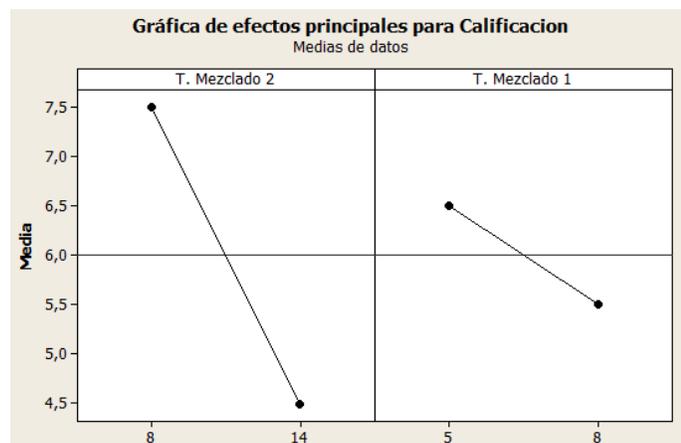


Figura 29. Gráfica de efectos principales Experimento 2 de proceso de mezclado

Diagrama de interacción de factores

La gráfica de interacción de factores (figura 30) muestra que las dos variables son independientes entre sí y que el mejor rendimiento se obtiene cuando las dos están en su nivel bajo.

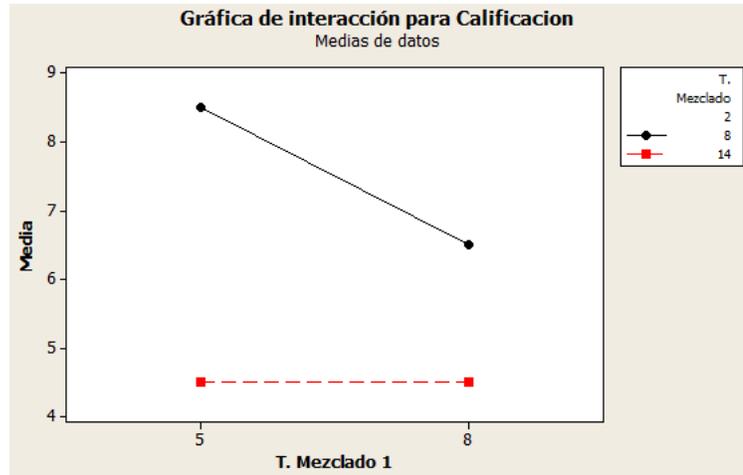


Figura 30. Diagrama de interacción de factores experimento 2 proceso de mezclado

Verificación de Supuestos.

Debido a que la variable respuesta es discreta, es necesario aplicar una transformación a dicha variable para la verificación de los supuestos del análisis DOE. Para este caso la transformación aplicada es la raíz cuadrada de la variable respuesta, en la tabla 8 se muestran los nuevos datos para la verificación de los supuestos.

Tabla 7. Experimento 2 proceso de mezclado con transformación de variable respuesta

Bloque	Orden Est	Orden Corrida	Factores		Y= Calif Total	Y'=Raíz(Y)
			T. Mezclado 1	T. Mezclado 2		
1	5	1	5	8	8	2,83
1	7	2	8	8	7	2,65
1	4	3	8	14	5	2,24
1	1	4	5	8	9	3,00
1	2	5	5	14	4	2,00
1	6	6	5	14	5	2,24
1	3	7	8	8	6	2,45
1	8	8	8	14	4	2,00

Prueba de Normalidad de los errores.

De acuerdo a la figura 31, se puede observar que los datos distribuyen a lo largo de una línea recta, por lo que podemos decir que se sigue una distribución normal. Además apoyados por la prueba de Darling la cual arroja un valor P 0,528, se acepta la hipótesis nula de que los errores se comportan siguiendo la distribución normal.

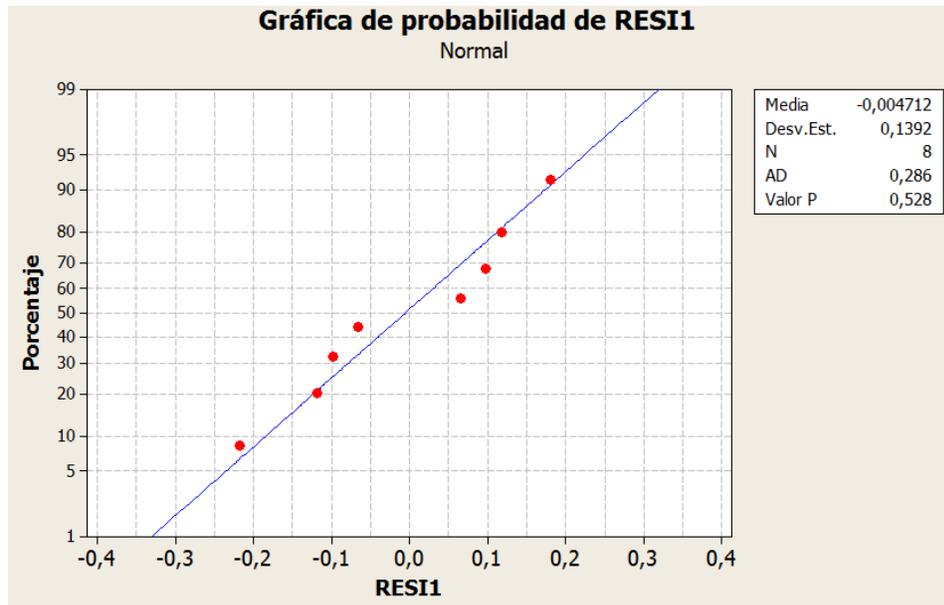


Figura 31. Gráfica de probabilidad normal experimento 2 proceso de mezclado

Prueba de Independencia de los errores

Para este experimento se puede observar en la figura 32 que los datos se encuentran distribuidos aleatoriamente y que no siguen ningún patrón definido, por lo que podemos afirmar que los errores son independientes entre sí.

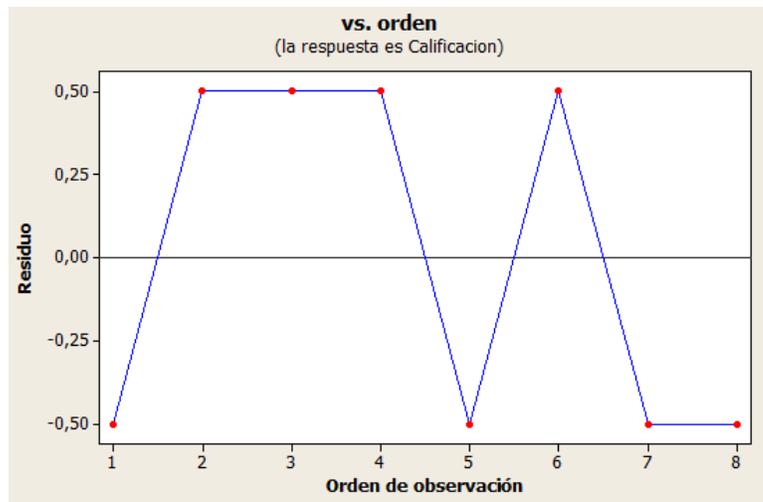


Figura 32. Prueba de independencia experimento 2 proceso de mezclado

Además se realizó la prueba Durbin-Watson, utilizando las herramientas que provee el software Minitab. El estadístico de Durbin obtenido para los errores de los residuos de los datos se muestra en la figura 33.

Estadístico de Durbin-Watson = 2,00272

Figura 33. Estadístico Durbin experimento 1.2

Al observar los valores de la tabla de Durbin-Watson se tiene que los límites dL y dU son 0,559 y 1,777 respectivamente, manejando una significación de 0,05. (Ver figura 34)



Figura 34. Intervalo para prueba Durbin- Watson experimento 1.2

El estadístico de Durbin para los residuos de los datos se encuentra en la zona de no correlación, con lo que se cumple el supuesto de independencia del análisis DOE.

Prueba de Igualdad de Varianzas

De acuerdo a la figura 35, se observa que no existe un patrón definido en los puntos y que los valores se encuentran distribuidos alrededor del cero, por lo que se puede concluir que las varianzas son iguales para todos los tratamientos.

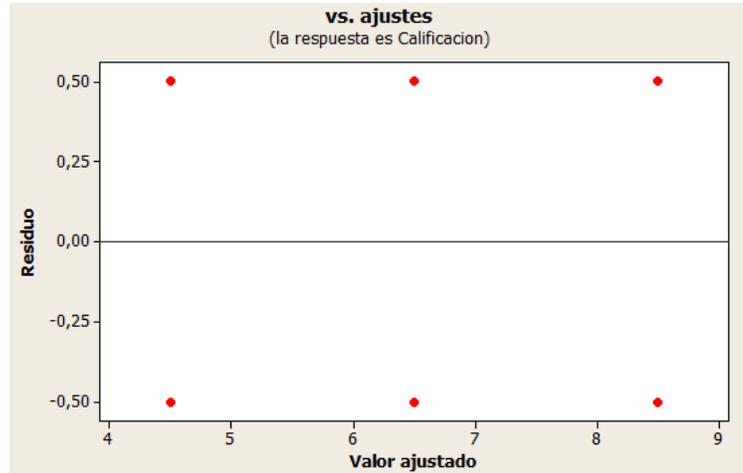


Figura 35. Prueba de igualdad de varianzas experimento 2 proceso de mezclado

Además al aplicar la prueba de Bartlett se obtiene un valor P de 0,992 (Ver figura 36), al ser mayor a la significancia (0,05), se acepta la hipótesis nula que manifiesta que las varianzas de los errores de los datos son iguales.

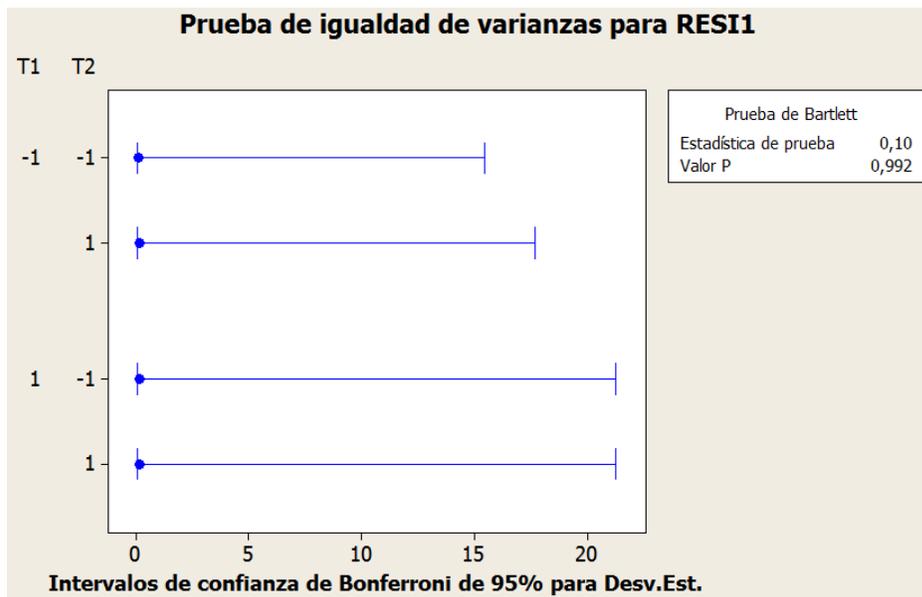


Figura 36. Prueba Bartlett experimento 1.2

Sobre el experimento 2 se concluye que la variable con mayor significancia fue la velocidad tipo 2, además se obtuvieron mejores resultados cuando los tiempos de

los dos tipos de velocidades se encontraban en nivel bajo, 5 minutos para la velocidad de mezclado I y 8 minutos para la velocidad de mezclado II.

- *Experimento 3*

Para esta fase se tuvo en cuenta los anteriores experimentos de mejoramiento del mezclado. En el experimento 1 se determinó que los factores significativos fueron el agua y la harina, mientras para el experimento 2 se identificó que el factor que tenía mayor incidencia en la respuesta era el tiempo de mezclado con velocidad 2 de la mojadora. Mediante estos resultados se planificó realizar el experimento 3 mediante un diseño 2^3 (3 factores con 2 niveles) con 2 replicas cada combinación dando un total de 16 respuestas, sin embargo debido a la restricción de tiempo, se designó realizar 2 bloques aleatorizados de corrida de 8 experimentos cada uno.

En la tabla 10 se muestran los datos correspondientes al orden de corrida y resultados para el tercer experimento realizado en el proceso de mezclado. Para este caso, el modelo obtuvo una prueba F de 28.33, lo cual expresa que el modelo es significativo, apoyándose en los resultados del valor P (Ver tabla 9).

Tabla 8. Análisis de varianza para experimento 3 de proceso mezclado

<i>Fuente</i>	<i>GL</i>	<i>SC Sec.</i>	<i>SC Ajust.</i>	<i>CM Ajust.</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Efectos principales	3	37,1875	37,1875	12,3958	28,33	0
Agua	1	14,0625	14,0625	14,0625	32,14	0
Harina	1	18,0625	18,0625	18,0625	41,29	0
T. Mezcla 2	1	5,0625	5,0625	5,0625	11,57	0,009
2-Interacciones de (No.) Factores	3	0,1875	0,1875	0,0625	0,14	0,931
Agua*Harina	1	0,0625	0,0625	0,0625	0,14	0,715
Agua*T. Mezcla 2	1	0,0625	0,0625	0,0625	0,14	0,715
Harina*T. Mezcla 2	1	0,0625	0,0625	0,0625	0,14	0,715
3-Interacciones de (No.) Factores	1	0,0625	0,0625	0,0625	0,14	0,715
Agua*Harina*T. Mezcla	1	0,0625	0,0625	0,0625	0,14	0,715
<i>Error residual</i>	8	3,5	3,5	0,4375		
Total	15	40,9375				

Tabla 9. Matriz de experimento 3 proceso de mezclado

Bloque	Orden Est	Orden Corrida	Factores			Muestra	Calif Temperatura	Calif Textura	Calif Total
			A	B	C	Diferencia Temperatura (°C)			
1	6	1	28	Tipo I	12	4	3	2	5
1	4	2	28	Tipo II	8	0	5	5	10
1	7	3	25	Tipo II	12	3	3	3	6
1	2	4	28	Tipo I	8	3	3	4	7
1	3	5	25	Tipo II	8	2	4	2	6
1	9	6	25	Tipo I	8	5	2	2	4
1	16	7	28	Tipo II	12	3	3	4	7
1	8	8	28	Tipo II	12	4	3	5	8
2	1	9	25	Tipo I	8	2	4	1	5
2	14	10	28	Tipo I	12	5	2	2	4
2	13	11	25	Tipo I	12	7	1	2	3
2	11	12	25	Tipo II	8	2	4	3	7
2	15	13	25	Tipo II	12	5	2	4	6
2	10	14	28	Tipo I	8	1	4	2	6
2	5	15	25	Tipo I	12	5	2	3	5
2	12	16	28	Tipo II	8	1	4	5	9

Los valores P menores a 0,05 permiten rechazar la hipótesis nula, de esta manera se puede aceptar que existe una diferencia significativa en los tratamientos indicando cuales son los términos más representativos del modelo, en este caso fueron los factores Agua, Harina y T. Mezclado 2 los más importantes en el modelo.

Otro parámetro que apoya el modelo es el R^2 , cuyo valor para este caso fue R-cuad. =90% (Ver figura 37), lo cual indica que los factores incluidos en el modelo explican en un 90% la variabilidad del mezclado del pan y por ello afectan la calificación.

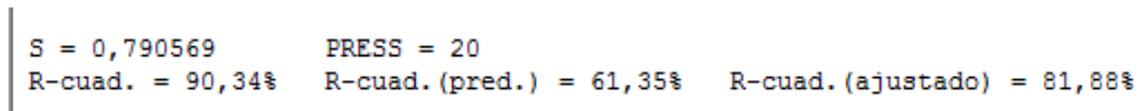


Figura 37. R cuad. Experimento 3 proceso de mezclado

Análisis gráfico

El uso de gráficas ayuda a visualizar de manera más clara los efectos de cada uno de los factores y las interacciones entre ellos.

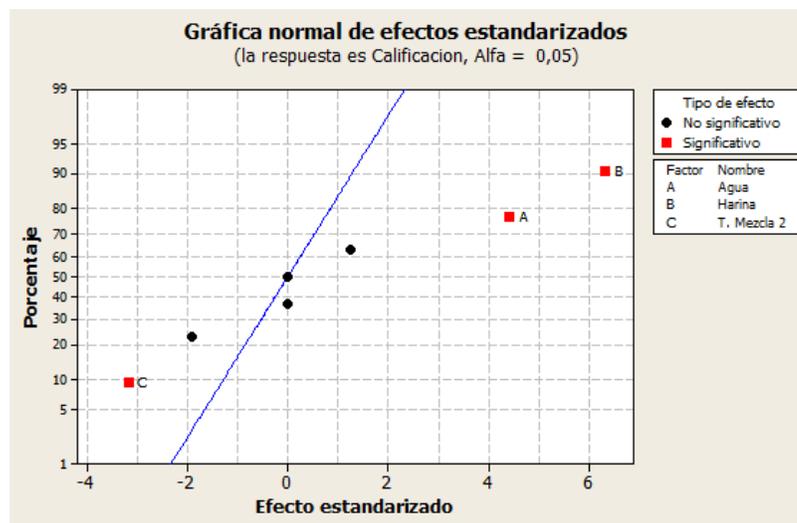


Figura 38. Grafico Normal de lo Efectos Experimento 3 de proceso de mezclado

La grafica normal de los efectos estandarizados (Figura 38) permite comprobar que, con los resultados obtenidos en el análisis de varianza, los 3 factores fueron significativos. La interacción entre los dos factores no resulto ser relevante.

Diagrama de Efectos Principales

En la figura 39 se identifica que la combinación óptima de factores se presenta trabajando con el agua en nivel alto (28 litros), con la harina tipo II y con el Tiempo de Mezclado en nivel bajo (8 minutos).

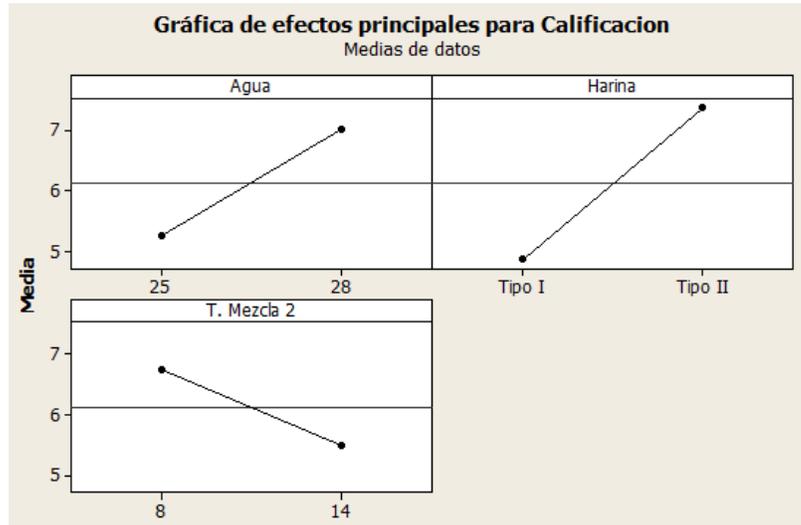


Figura 39. Gráfica de efectos principales Experimento 3 de proceso de mezclado

Diagrama de interacción de factores.

La gráfica de interacción de factores (figura 40) muestra que las tres variables son independientes entre sí y que el mejor rendimiento se obtiene cuando las están el Agua y la Harina en su nivel alto (28 litros para el agua y la harina tipo II) y el Tiempo de Mezclado 2 en nivel baja (8 minutos)

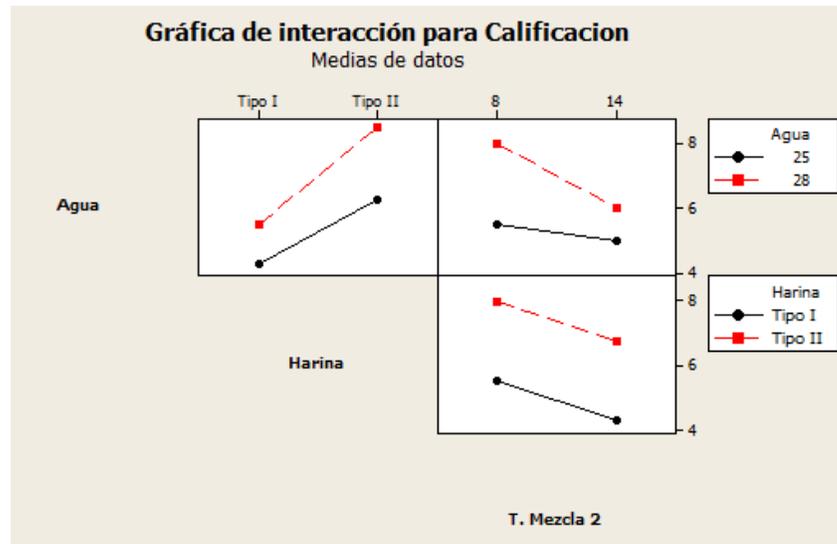


Figura 40. Diagrama de interacción de factores experimento 3 proceso de mezclado

Diagrama de cubo

El diagrama de cubo (figura 41) permite observar más fácilmente la combinación óptima de las variables que interactúan en el experimento, para este caso la mejor calificación es de 9,5 y ocurre cuando las variables Agua y Harina están en el nivel alto y la variable Tiempo de Mezclado 2 está en el nivel bajo, confirmando las afirmaciones de los anteriores gráficos de interacción y efectos principales.

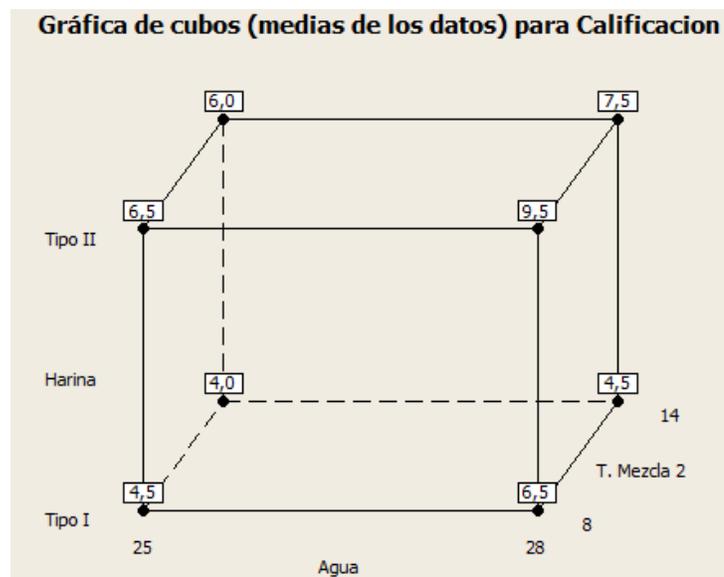


Figura 41. Diagrama de cubo proceso de mezclado

Verificación de Supuestos.

Debido a que la variable respuesta es discreta, es necesario aplicar una transformación a dicha variable para la verificación de los supuestos del análisis DOE. Para este caso la transformación aplicada es la raíz cuadrada de la variable respuesta, en la tabla 11 se muestran los nuevos datos para la verificación de los supuestos.

Tabla 10. Experimento 3 proceso de mezclado con transformación de variable respuesta

Bloque	Orden Est	Orden Corrida	Factores			Y= Calif Total	Y'=Raíz(Y)
			A	B	C		
1	6	1	28	Tipo I	14	5	2,24
1	4	2	28	Tipo II	8	10	3,16
1	7	3	25	Tipo II	14	6	2,45
1	2	4	28	Tipo I	8	7	2,65
1	3	5	25	Tipo II	8	6	2,45
1	9	6	25	Tipo I	8	4	2,00
1	16	7	28	Tipo II	14	7	2,65
1	8	8	28	Tipo II	14	8	2,83
2	1	9	25	Tipo I	8	5	2,24
2	14	10	28	Tipo I	14	4	2,00
2	13	11	25	Tipo I	14	3	1,73
2	11	12	25	Tipo II	8	7	2,65
2	15	13	25	Tipo II	14	6	2,45
2	10	14	28	Tipo I	8	6	2,45
2	5	15	25	Tipo I	14	5	2,24
2	12	16	28	Tipo II	8	9	3,00

Prueba de Normalidad de los errores.

De acuerdo a la figura 42, se puede observar que los datos distribuyen a lo largo de una línea recta, por lo que podemos decir que se sigue una distribución normal. Además apoyados por la prueba de Darling la cual arroja un valor P de 0,462, se acepta la hipótesis nula de que los errores se comportan siguiendo la distribución normal.

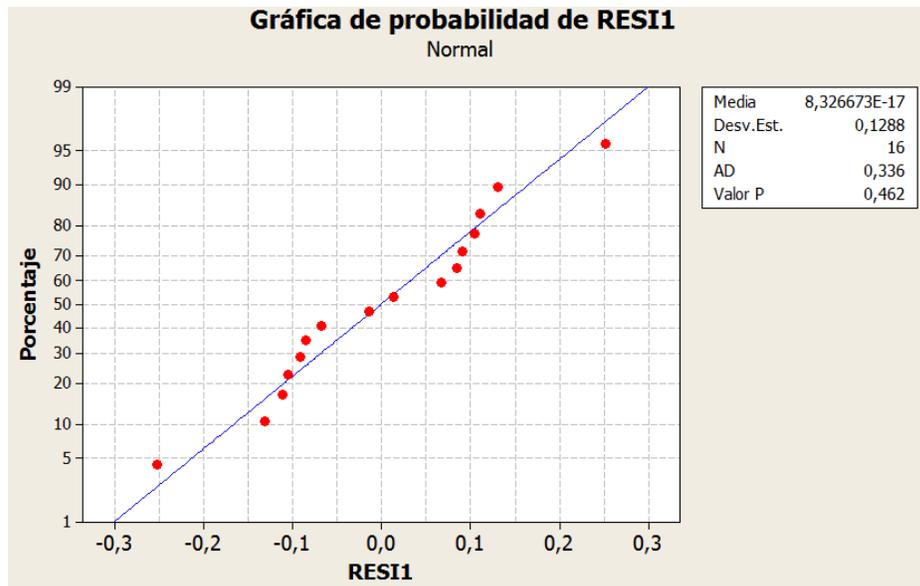


Figura 42. Gráfica de probabilidad normal experimento 1.3 proceso de mezclado

Prueba de Independencia de los errores

Para este experimento se puede observar que los datos se encuentran distribuidos aleatoriamente (Figura 43) y que no siguen ningún patrón definido, por lo que podemos afirmar que los errores son independientes entre sí.

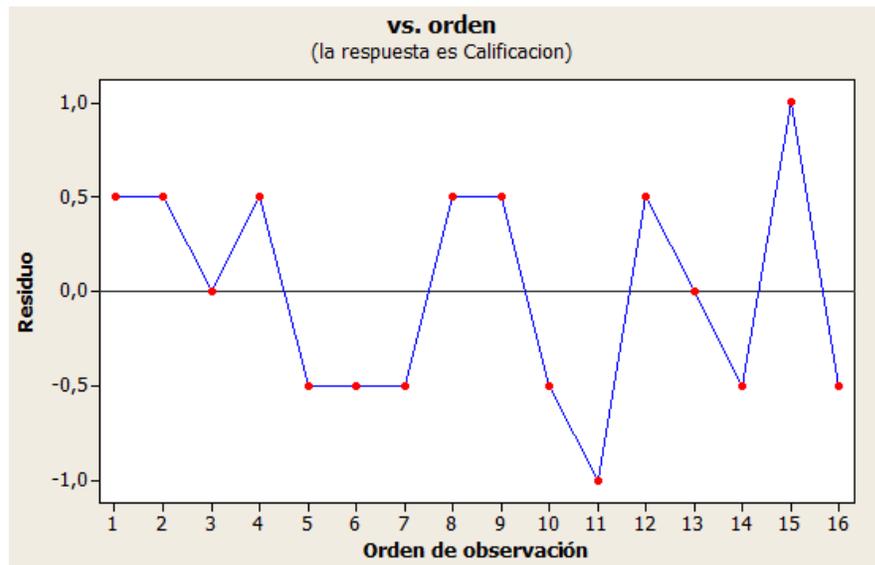


Figura 43. Prueba de independencia experimento 3 proceso de mezclado

Además se realizó la prueba Durbin-Watson, utilizando las herramientas que provee el software Minitab. El estadístico de Durbin obtenido para los errores de los residuos de los datos se muestra en la figura 44

Estadístico de Durbin-Watson = 2,15955

Figura 44. Estadístico Durbin experimento 1.3

Al observar los valores de la tabla de Durbin-Watson se tiene que los límites dL y dU son 0,857 y 1,728 respectivamente, manejando una significación de 0,05. (Ver figura 45)

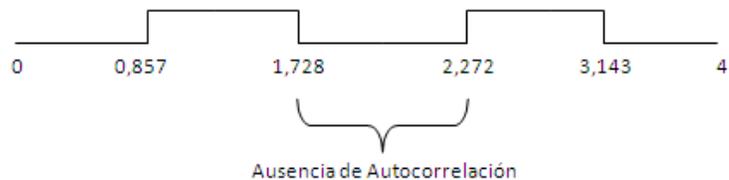


Figura 45. Intervalo para prueba Durbin- Watson experimento 1.1

El estadístico de Durbin para los residuos de los datos se encuentra en la zona de no correlación, con lo que se cumple el supuesto de independencia del análisis DOE.

Prueba de Igualdad de Varianzas

De acuerdo a la figura 46, se observa que no existe un patrón definido en los puntos y se encuentran distribuidos alrededor del cero, por lo que se puede concluir que las varianzas son iguales para todos los tratamientos.

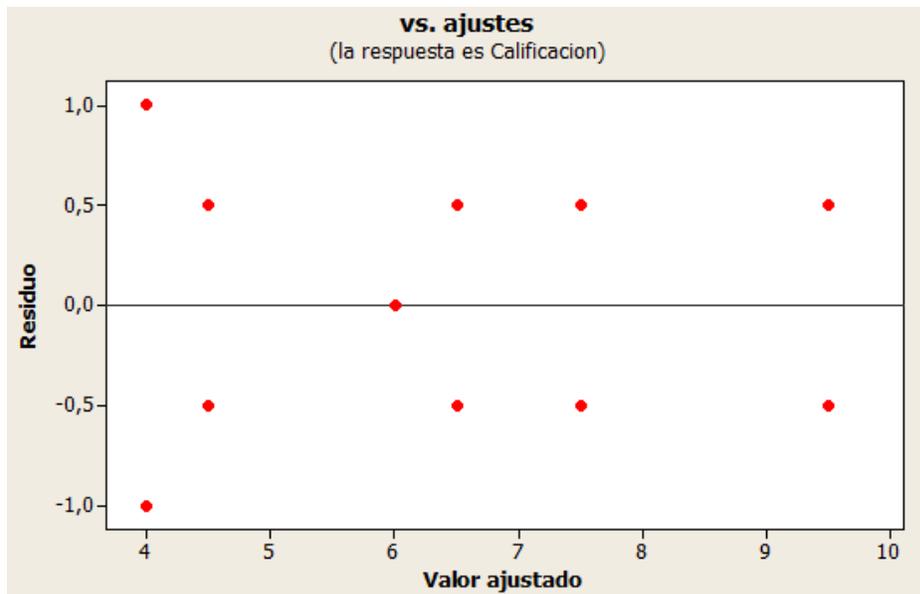


Figura 46. Prueba de igualdad de varianzas experimento 3 proceso de mezclado

Además al aplicar la prueba de Bartlett se obtiene un valor P de 0,726 (Ver figura 47), al ser mayor a la significancia (0,05), se acepta la hipótesis nula que manifiesta que las varianzas de los errores de los datos son iguales.

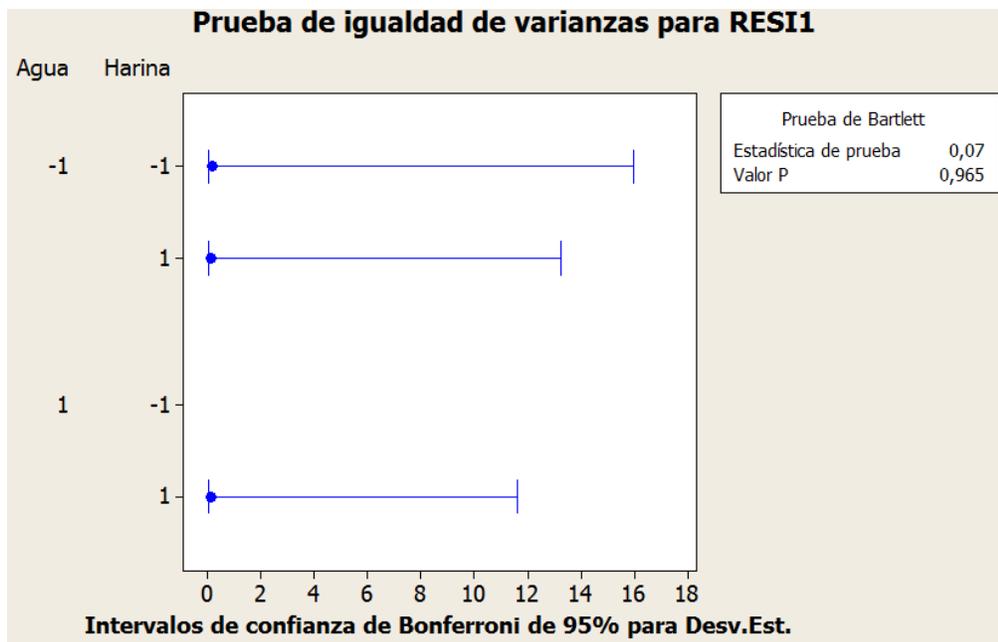


Figura 47. Prueba Bartlett experimento 1.3

Después de realizar los tres experimentos para determinar los factores que tenían mayor incidencia en la variable respuesta se identificó que los mejores niveles de

trabajo para el proceso de mezclado es utilizar la harina tipo II (proveedor molinera de Caldas), mezclar la masa por 5 minutos con la velocidad tipo I, agregar 28 litros de agua (nivel alto), y finalizar homogeneizando la mezcla mediante 8 minutos en la velocidad tipo II (nivel bajo). De esta manera se obtuvieron los mejores resultados en cuanto a la textura de la masa y a la temperatura de ésta (debe ser aproximada a los 23 grados para que no se afecte proceso de crecimiento). A partir de esta combinación se seguirán efectuando los siguientes experimentos.

6.2. MEJORAMIENTO EN EL PROCESO DE MULTIFORMADO.

La panificadora Éxito cuenta con un operario que realiza los cortes de la masa una vez salen de la mojadora, estos cortes consisten en líneas delgadas que son ingresadas por el mismo operario a la máquina multiformadora la cual realiza los cortes y enrollamiento de la masa para obtener la forma del pan con el gramaje respectivo, para el caso del pan mantequilla son panes de 10 cm de largo por 8 de perímetro aproximadamente con un peso de 50gr.

Una vez es enrollado el pan, la banda transportadora de la máquina se encarga de conducir el producto al extremo de la mesa, donde se encuentran 2 operarios que se encargan de ubicar los panes en las bandejas que van a ser transportadas al cuarto de crecimiento.

Uno de los inconvenientes detectados por parte del equipo investigativo consiste en el bajo control que se le realiza a este proceso de formado del pan, debido a que los operarios prácticamente ubican todos los panes en las bandejas sin ningún criterio de inspección de peso y medidas del pan, aun observando que la máquina arroja algunos panes envueltos incorrectamente alterando las dimensiones que se desean hasta este momento, factor que posteriormente se convertirá en problema en otros procesos y que finalmente puede conllevar a productos defectuosos.

Dos de los operarios encargados de este proceso afirmaban que las variaciones en el corte y enrollado del pan no se debían a la máquina misma sino a la calidad y consistencia de la masa que ingresaba, debido a que si la masa era demasiado blanda o viscosa “chiclosa”, el momento de corte por parte de la máquina era desuniforme por lo cual su involucramiento también lo era, para probar este supuesto se realizó un muestreo de 30 panes provenientes de una masa blanda y otra muestra

de 30 panes con una masa de buena consistencia según los panaderos, en la tabla 9 se expresan los resultados.

En la tabla 12 se identifica que el segundo experimento (masa con consistencia aceptable), presenta un promedio de las muestras más cercano a las dimensiones de largo y perímetro óptimas hasta este proceso (10 y 8cm respectivamente). De igual manera las desviaciones estándar son menores al experimento uno, lo cual indica que se presenta una menor variabilidad para el segundo experimento; Al analizar el gramaje final de los panes una vez pasada la fase de multiformado, se identifica que el proceso maneja un peso controlado, ya que ambos experimentos presentan una magnitud muy aproximada a los 50 gramos y con una desviación inferior a 1 gramo.

De acuerdo a los datos obtenidos, efectivamente se logran mejores resultados al trabajar con una masa que presente buena consistencia. Además en el experimento de mezclado se determinó la combinación de factores que permitían una masa de buena calidad y con temperatura baja (indispensable para el momento de crecimiento). Por consiguiente se continuará trabajando con esos niveles para reducir los defectos en el momento de corte de la máquina.

Además de trabajar con una masa que cumpla las especificaciones deseadas, se recomienda para este proceso de formado, ubicar a un operario inmediatamente en la salida de los panes enrollados, esta persona deberá estar a cargo de inspeccionar visualmente si la masa ha sido bien enrollada o no, retirando la masa que no lo esté para que vuelva a pasar por la máquina, de esta manera se reducirá aún más los panes defectuosos.

Tabla 11. Experimento de masa en proceso de multiformado.

Masa Blanda o Viscosa				Masa consistencia aceptable			
Muestra	Largo	Perímetro	Peso	Muestra	Largo	Perímetro	Peso
1	10,8	7,8	51	1	10,5	8,4	49
2	10,2	7,9	51	2	9,5	8,3	51
3	10,6	7,6	50	3	10,1	7,8	49
4	11,4	6,2	50	4	10,2	8,7	50
5	12	7,8	50	5	9,7	7,8	51
6	10,2	7,5	50	6	9,8	7,6	49
7	10,7	9	52	7	9,6	8	50
8	9,1	8,4	49	8	10,6	8,5	50
9	11,8	5,9	49	9	10,3	7,6	49
10	9,1	8,6	49	10	10	7,9	50
11	9,9	8,3	50	11	9,5	7,7	50
12	10,5	7,7	50	12	10,5	8,7	51
13	12,3	5,4	51	13	10,3	8,4	51
14	10,9	7	49	14	10,1	8,6	51
15	10,2	7,8	50	15	10	8	50
16	11,9	6,3	51	16	9,9	8,3	49
17	11,3	7,8	50	17	9,6	8	51
18	9,2	8,7	51	18	10	8,2	50
19	9,1	9,1	51	19	9,7	8,1	49
20	11,6	6,5	49	20	10,5	8,7	49
21	10,3	7,6	51	21	9,5	7,9	51
22	10,9	7,4	49	22	9,7	7,6	50
23	8,6	9,5	48	23	9,6	7,6	51
24	10,2	7,3	49	24	10,4	8,7	50
25	11,2	6,7	50	25	9,9	8,1	50
26	11,9	6,9	49	26	9,6	7,9	51
27	11,2	6,5	51	27	10,5	8,3	51
28	10,2	7,9	51	28	10	8,7	50
29	8,8	9,2	50	29	9,9	8,5	51
30	11,2	6,4	50	30	10	7,9	50
<i>Promedio</i>	<i>10,58</i>	<i>7,56</i>	<i>50,03</i>	<i>Promedio</i>	<i>9,98</i>	<i>8,15</i>	<i>50,13</i>
<i>Desvest</i>	<i>1,02</i>	<i>1,03</i>	<i>0,93</i>	<i>Desvest</i>	<i>0,35</i>	<i>0,38</i>	<i>0,78</i>

6.3 MEJORAMIENTO EN EL PROCESO DE CRECIMIENTO

6.3.1 Identificación del problema

El proceso de crecimiento del pan es un elemento crítico para obtener un producto que cumpla con las especificaciones. Para ello se utiliza un cuarto denominado cuarto de fermentación, empleado para lograr el control de las condiciones ambientales que inciden en el crecimiento del pan: la temperatura y la humedad.

El exceso de humedad produce condensación sobre la masa, lo que genera una corteza gruesa y gomosa; en caso contrario, si la humedad es muy poca la superficie de la masa se reseca y se torna dura y gruesa, lo cual da como resultado un producto de poco volumen. Con respecto a la temperatura, si es muy alta se produce una actividad violenta de la levadura, lo cual origina algunos trastornos en la producción y en las características del producto; si la temperatura es muy baja se retrasa el crecimiento y se descontrola el programa de producción.

Actualmente la panificadora Éxito no cuenta con las herramientas para medir exactamente el efecto de estas variables, el proceso de fermentación en este caso, consiste en generar la humedad mediante la evaporación de agua ocasionada por el calentamiento de dos hornillas a gas con contenido de agua.

El objetivo con este experimento consiste en determinar cuál es la combinación que ocasiona un pan con mejores especificaciones con el fin de disminuir la variabilidad generada actualmente por este proceso de crecimiento utilizando las herramientas actuales que dispone la panificadora.

Se debe tener en cuenta que los experimentos fueron realizados a panes que incluían las variaciones realizadas por el equipo en los dos experimentos preliminares (Mezclado y Multiformado), de esta manera se lleva el seguimiento del proceso de crecimiento teniendo en cuenta las mejoras anteriores.

6.3.2 Elección de factores y niveles

Los factores determinados como controlables para este experimento son:

- Cantidad de agua a evaporar
- Tiempo de fermentación
- Nivel de temperatura de las hornillas

Cada uno de los factores se determinó manejar con 2 niveles, estos son tabulados en la tabla 13.

Tabla 12. Niveles experimentación para proceso en cuarto de crecimiento

FACTOR	NOMBRE	NIVEL BAJO (-1)	NIVEL ALTO (1)
A	AGUA	6 litros	10 litros
B	TIEMPO	40 minutos	60 minutos
C	TEMPERATURA	Hornillas en nivel medio	Hornillas en nivel alto

6.3.3 Selección de variable respuesta.

Para cada combinación de factores se determinaron tomar 3 muestras de panes a los cuales se realiza el promedio de las dimensiones de largo y ancho. De acuerdo a las medidas promedio se les otorga 2 calificaciones de 1 a 5 tanto de largo como de ancho, el criterio de calificación es el nivel de desviación que tienen estas medidas promedio con respecto a las dimensiones consideradas como óptimas en este proceso (11 cm largo x 13 cm de ancho), de esta manera, los panes que más se aproximen a estas dimensiones obtendrán como calificación máxima: 5 para ancho y 5 para largo.

Finalmente se utilizará como variable respuesta para el análisis de datos la suma de estas dos calificaciones, obteniendo una valoración de escala 2 a 10. Los rangos de calificación determinados se expresan en la tabla 14.

Al realizar esta transformación de las medidas del pan a una calificación se está teniendo en cuenta la importancia por el dueño de la empresa y los investigadores de obtener un control en las dimensiones de largo y ancho de los panes finalizado el proceso de fermentación, analizando de esta manera una única variable respuesta a maximizar.

Tabla 13. Criterios de calificación experimento en cuarto de crecimiento

NIVEL CERO DE DESVIACIÓN	
LARGO	11 cm
ANCHO	13 cm
DESVIACIÓN	CALIFICACIÓN
0 cm	5
{-0,5cm;0,5cm}	4
{-1cm;1cm}	3
{-1,5cm ; 1,5cm}	2
{2,0 cm ; 2,0 cm}	1

6.3.4 Desarrollo del experimento

Fue desarrollado un experimento 2^3 (3 factores con 2 niveles cada uno), se decidieron emplearse 2 réplicas para cada combinación obteniendo un total de 16 resultados, debido a la restricción de tiempo, en un día de trabajo se deciden ejecutar 8 experimentos, por ello se utilizan 2 bloques aleatorizados de corrida. La tabulación de orden de corrida, combinación de factores codificados y variable respuesta se expresan en la tabla 16.

Análisis de Varianza

El nivel de confianza que se manejó para la prueba de hipótesis es del 95%. Se utiliza el valor de P obtenido en el análisis de varianza y un $\alpha = 0.05$ para concluir si se rechaza o acepta la hipótesis. En la tabla 15 se muestra la información respectiva al Análisis de varianza.

Tabla 14. Análisis de varianza para experimento en cuarto de crecimiento

<i>Fuente</i>	<i>G</i>	<i>SC</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
	<i>L</i>	<i>Sec.</i>	<i>Ajust.</i>	<i>Ajust.</i>		
<i>MODELO</i>	15	47,00	15,00	15,00	60,00	0,000
Bloques	1	0,25	0,25	0,25	1,00	0,351
<i>Efectos principales</i>	3	31,25	31,25	10,42	41,67	0,000
Agua	1	6,25	6,25	6,25	25,00	0,002
Tiempo	1	9,00	9,00	9,00	36,00	0,001
Temperatura	1	16,00	16,00	16,00	64,00	0,000
<i>2-Interacciones de factores</i>						
		(No.)				
	3	7,50	7,50	2,50	10,00	0,006
Agua*Tiempo	1	0,25	0,25	0,25	1,00	0,351
Agua*Temperatura	1	6,25	6,25	6,25	25,00	0,002
Tiempo*Temperatura	1	1,00	1,00	1,00	4,00	0,086
<i>3-Interacciones de factores</i>						
		(No.)				
	1	6,25	6,25	6,25	25,00	0,002
Agua*Tiempo*Temperatura	1	6,25	6,25	6,25	25,00	0,002
<i>Error residual</i>	7	1,75	1,75	0,25		

Para este caso, el modelo obtuvo una prueba F de 60, la cual expresa que el modelo es significativo, siendo corroborado con el valor de P.

Tabla 15. Matriz de diseño experimento de crecimiento

Bloque	Orden Est	Orden	Factores			Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3		Promedio		Desv Largo	Desv Ancho	Calif Largo	Calif Ancho	Calif Total
			A	B	C	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho					
1	3	1	-1	1	-1	11,1	13,7	11,5	13,9	11,2	13,4	11,3	13,7	0,3	0,7	5	4	9
1	16	2	1	1	1	12,4	14,7	12,6	14,4	12,2	14,1	12,4	14,4	1,4	1,4	3	3	6
1	2	3	1	-1	-1	9,7	11	9,6	10,9	9,9	11,3	9,7	11,1	(1,3)	(1,9)	3	2	5
1	13	4	-1	-1	1	9,2	11,5	9,7	11,2	9,5	11,1	9,5	11,3	(1,5)	(1,7)	2	2	4
1	9	5	-1	-1	-1	10,6	12,7	10,5	13,0	10,2	13,1	10,4	12,9	(0,6)	(0,1)	4	5	9
1	4	6	1	1	-1	12,4	13,4	12,1	13,9	12,3	13,7	12,3	13,7	1,3	0,7	3	4	7
1	7	7	-1	1	1	11,9	14,1	12,2	13,6	11,6	13,5	11,9	13,7	0,9	0,7	4	4	8
1	14	8	1	-1	1	9,7	11,7	9,9	11,2	9,5	11,2	9,7	11,4	(1,3)	(1,6)	3	2	5
2	1	9	-1	-1	-1	10,0	12,9	10,2	13,1	10,5	12,7	10,2	12,9	(0,8)	(0,1)	4	5	9
2	6	10	1	-1	1	9,7	11,9	10,0	12,3	9,9	12,2	9,9	12,1	(1,1)	(0,9)	3	3	6
2	12	11	1	1	-1	11,4	13,8	11,6	13,5	11,7	23,7	11,6	17,0	0,6	4,0	4	4	8
2	15	12	-1	1	1	12,3	13,4	12,2	13,5	11,9	13,8	12,1	13,6	1,1	0,6	3	4	7
2	10	13	1	-1	-1	10,3	10,8	9,9	11,0	10,4	11,2	10,2	11,0	(0,8)	(2,0)	4	2	6
2	5	14	-1	-1	1	9,3	11	9,0	11,4	9,2	11,1	9,2	11,2	(1,8)	(1,8)	2	2	4
2	8	15	1	1	1	12,2	14,1	12,5	14,0	12,2	14,3	12,3	14,1	1,3	1,1	3	3	6
2	11	16	-1	1	-1	10,9	12,9	11,2	13,2	11,9	13,3	11,3	13,1	0,3	0,1	5	5	10

Los valores P menores a 0,05 nos permiten rechazar la hipótesis nula, de esta manera se puede aceptar que existe una diferencia significativa en los tratamientos indicando cuales son los términos más representativos del modelo, en este caso fueron los 3 factores considerados inicialmente (Agua, Temperatura y Tiempo), además de la interacción doble de Agua *Temperatura y la triple de Agua*tiempo*temperatura. Igualmente cabe destacar que el valor P de los bloques es de 0,351 siendo mayor a 0,05 indica que la formación de bloques no fue un elemento significativo en la variabilidad del modelo, lo cual es algo positivo para continuar con el análisis de datos.

Se obtuvo un coeficiente R-cuad. = 89,21%, lo cual enseña que los factores incluidos en el modelo explican el 89,21% de la variabilidad del crecimiento del pan y por ello afectan la calificación (Ver figura 48). Para conocer a fondo como se comportó cada variable durante el estudio y para comprobar los resultados obtenidos con la ANOVA, se realizó un análisis gráfico.

S = 0,100282 PRESS = 0,367777
R-cuad. = 89,21% R-cuad. (pred.) = 71,40% R-cuad. (ajustado) = 82,37%

Figura 48. R cuad. Experimento de cuarto de crecimiento.

Análisis gráfico

La grafica normal de los efectos estandarizados (Figura 49) nos permite comprobar, los resultados obtenidos con el análisis de varianza, en este caso los factores significativos fueron el agua, el tiempo y la temperatura, además de la interacción entre agua y temperatura y la interacción entre los 3 factores principales.

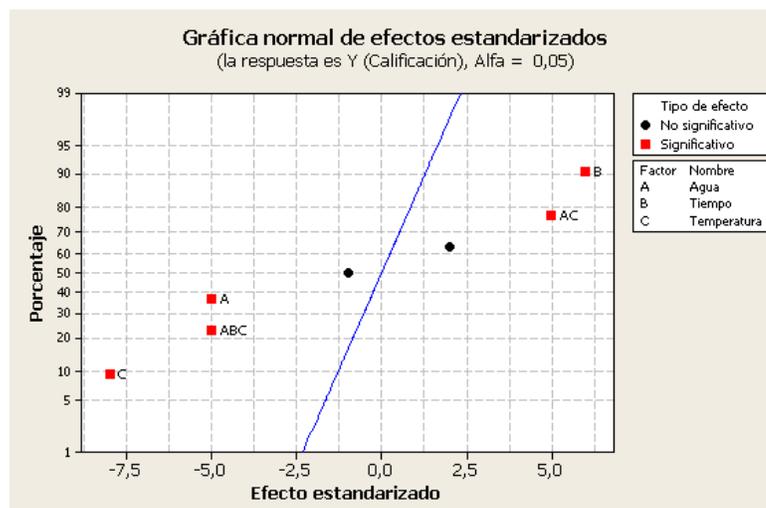


Figura 49. Grafico Normal de lo Efectos Experimento cuarto de crecimiento

Diagrama de Efectos Principales

Este diagrama nos permite concluir para cada uno de los efectos principales. Se identifica que la combinación óptima de factores es trabajar el agua en nivel bajo (6 litros), baja temperatura (hornillas en nivel medio) y por un tiempo alto (60 minutos). (Ver figura 50).

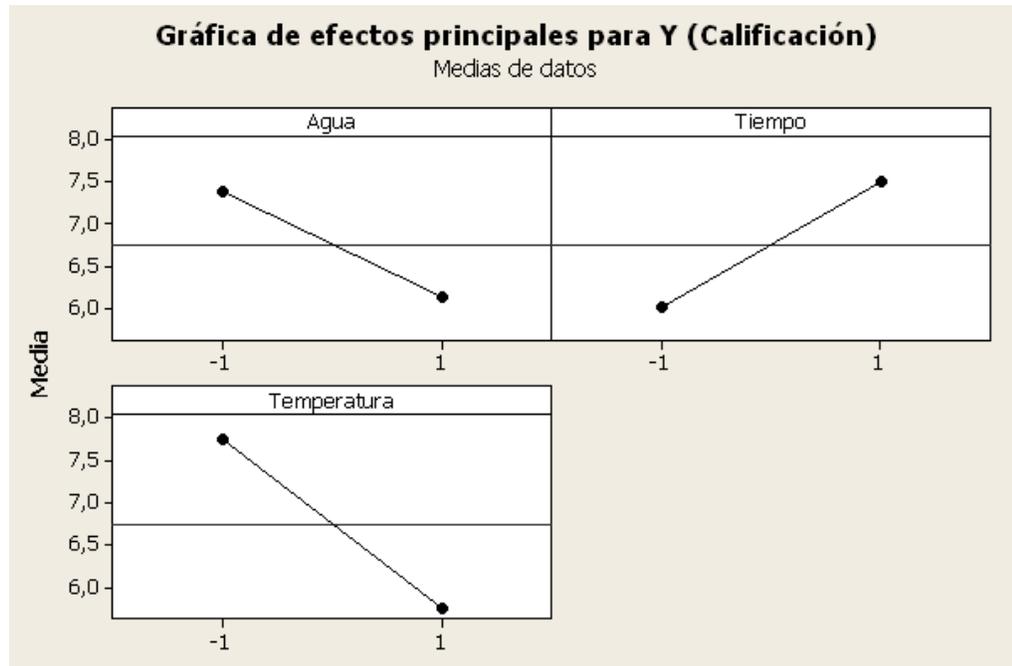


Figura 50. Gráfica de efectos principales Experimento cuarto de crecimiento

Gráfica de interacción

La gráfica de interacción de factores (Figura 51) nos muestra que cuando el agua está en un nivel alto, es independiente si la temperatura es baja o alta, se va a obtener una baja calificación, por ello es recomendable trabajar con un nivel bajo del agua (6 litros).

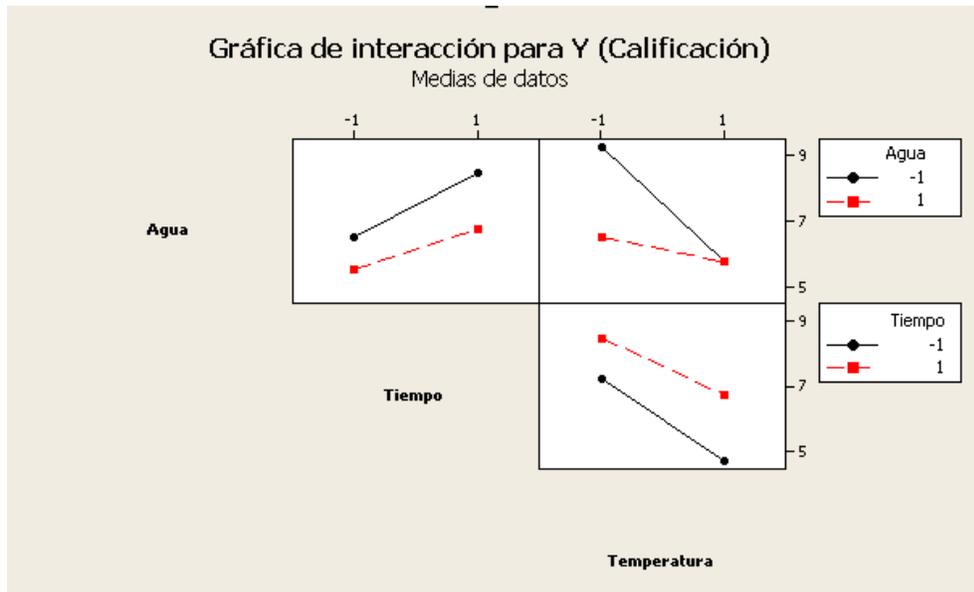


Figura 51. Diagrama de interacción de factores experimento cuarto de crecimiento

Diagrama de cubo

El diagrama de cubo nos permite observar el resultado de todas las interacciones que están presentes en el experimento, para este caso la mejor calificación es de 9,5 y ocurre con el tiempo en nivel alto mientras el agua y temperatura debe estar en nivel bajo. (Ver figura 52)

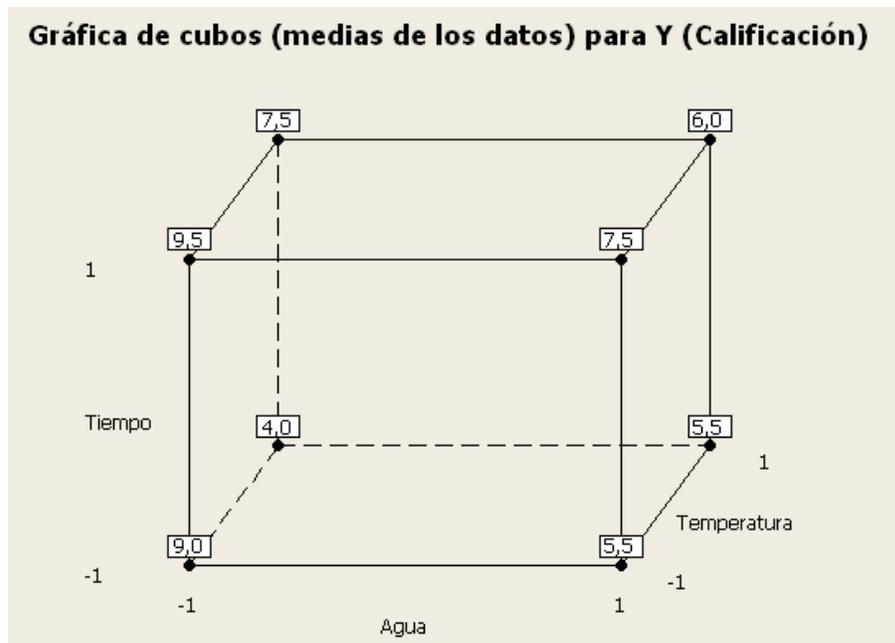


Figura 52. Diagrama de cubo experimento en cuarto de crecimiento

Verificación de Supuestos

Debido a que la variable respuesta es discreta, es necesario aplicar una transformación a dicha variable para la verificación de los supuestos del análisis DOE. Para este caso la transformación aplicada es la raíz cuadrada de la variable respuesta, en la tabla 17 se muestran los nuevos datos para la verificación de los supuestos.

Tabla 16. Experimento 3 proceso de crecimiento con transformación de variable respuesta

Bloque	Orden Est	Orden Corrida	Factores			Y= Calif Total	Y'= Raíz (Y)
			AGUA	TIEMPO	TEMPERATURA		
1	3	1	-1	1	-1	9	3,00
1	16	2	1	1	1	6	2,45
1	2	3	1	-1	-1	5	2,24
1	13	4	-1	-1	1	4	2,00
1	9	5	-1	-1	-1	9	3,00
1	4	6	1	1	-1	7	2,65
1	7	7	-1	1	1	8	2,83
1	14	8	1	-1	1	5	2,24
2	1	9	-1	-1	-1	9	3,00
2	6	10	1	-1	1	6	2,45
2	12	11	1	1	-1	8	2,83
2	15	12	-1	1	1	7	2,65
2	10	13	1	-1	-1	6	2,45
2	5	14	-1	-1	1	4	2,00
2	8	15	1	1	1	6	2,45
2	11	16	-1	1	-1	10	3,16

Prueba de Normalidad de los errores

De acuerdo a la figura 53, podemos observar que los datos distribuyen a lo largo de una línea recta, afirmando que se sigue una distribución normal. Además apoyados por la prueba de Darling la cual arroja un valor P de 0,52, se acepta la hipótesis nula de que los errores se comportan siguiendo la distribución normal.

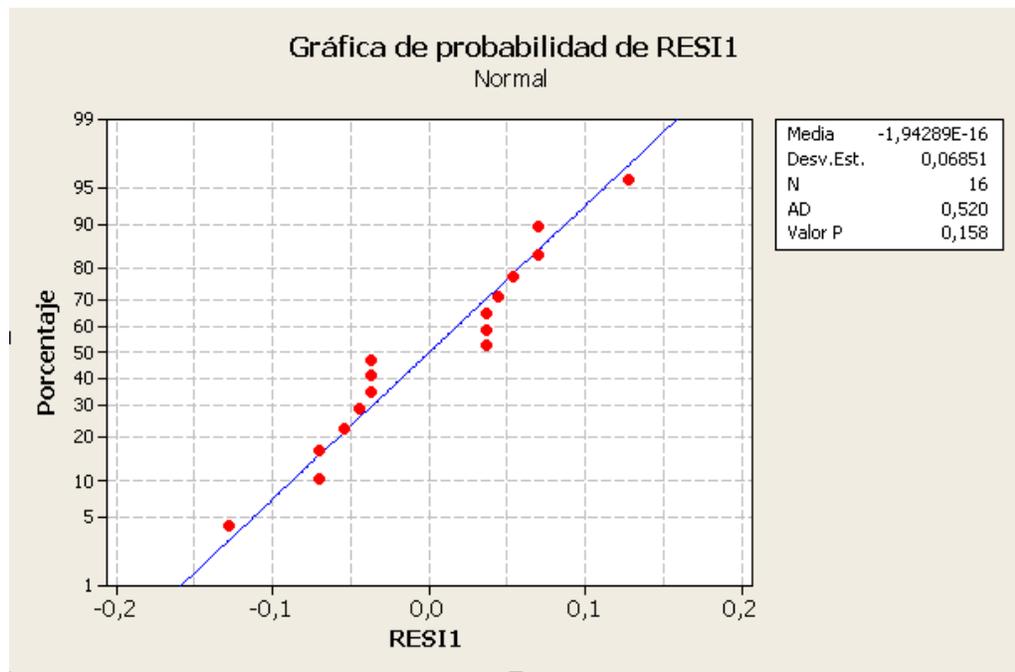


Figura 53. Gráfica de probabilidad normal experimento cuarto de crecimiento

Prueba de Independencia de los errores

Para este experimento se puede observar que los datos se encuentran distribuidos aleatoriamente y que no siguen ningún patrón definido, por lo que podemos afirmar que los errores son independientes entre sí (Ver figura 54).

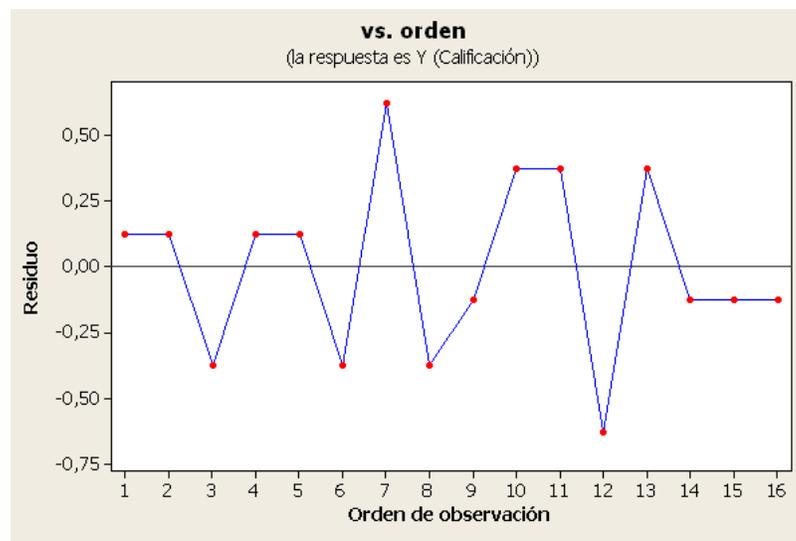


Figura 54. Prueba de independencia experimento cuarto de crecimiento

Además se realizó la prueba Durbin-Watson, utilizando las herramientas que provee el software Minitab. El estadístico de Durbin obtenido para los errores de los residuos de los datos se muestra en la figura 55

Estadístico de Durbin-Watson = 2,17283

Figura 55. estadístico Durbin - Watson experimento cuarto de crecimiento

Al observar los valores de la tabla de Durbin-Watson se tiene que los límites dL y dU son 0,857 y 1,728 respectivamente, manejando una significación de 0,05. (Ver figura 56)

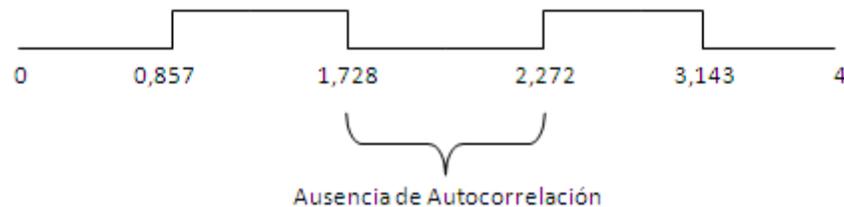


Figura 56. Intervalo para prueba Durbin- Watson experimento cuarto de crecimiento.

El estadístico de Durbin para los residuos de los datos se encuentra en la zona de no correlación, con lo que se cumple el supuesto de independencia del análisis DOE.

Prueba de Igualdad de Varianzas

De acuerdo a la figura 57, podemos observar que no existe un patrón definido en los puntos y se encuentran distribuidos alrededor del cero, por lo que se puede concluir que las varianzas son iguales para todos los tratamientos. Además al aplicar la prueba de Bartlett se obtiene un valor P de 0,93 (Ver figura 58), al ser mayor a la significancia (0,05), se acepta la hipótesis nula que manifiesta que las varianzas de los errores de los datos son iguales.

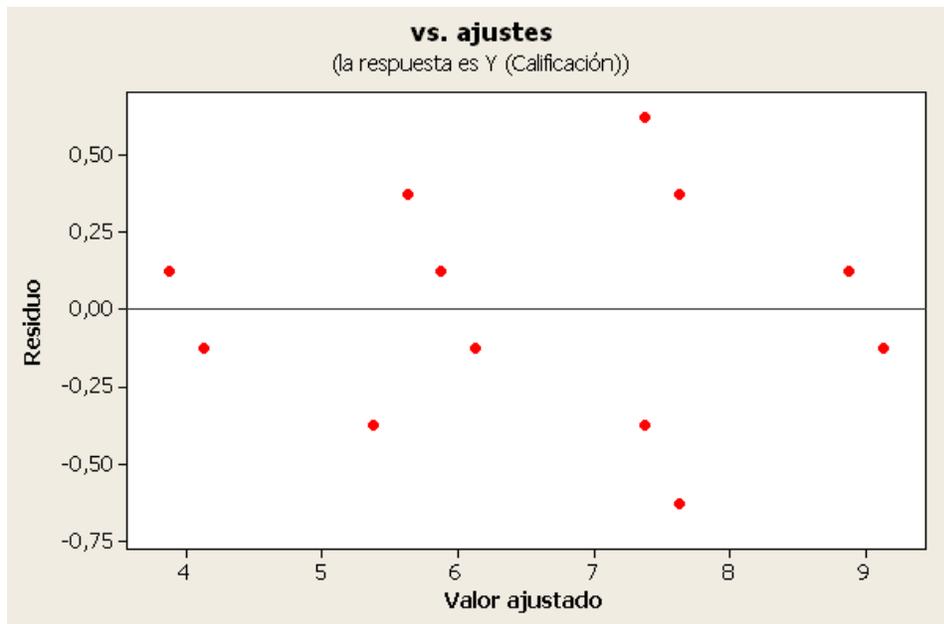


Figura 57. Prueba de igualdad de varianzas experimento cuarto de crecimiento

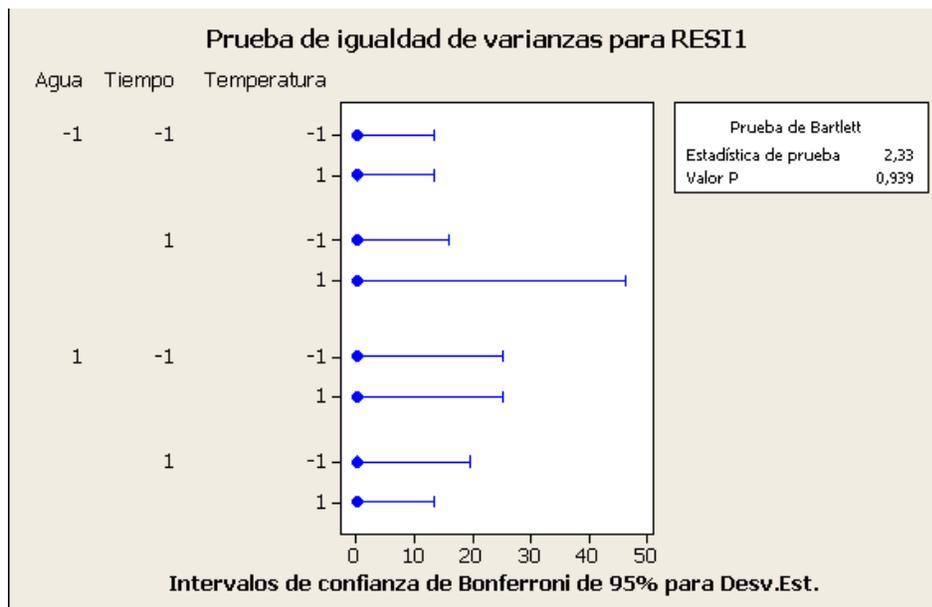


Figura 58. Prueba Bartlett cuarto de crecimiento.

Se ha demostrado que se cumple con los tres supuestos mencionados, por tanto los resultados obtenidos tienen validez estadística.

En conclusión a este experimento en el cuarto de crecimiento se tiene que los mejores resultados obtenidos que reducían la variabilidad en las dimensiones de

ancho y largo esperadas para este proceso, son calentar 6 litros de agua (nivel bajo), con las hornillas en nivel medio y realizar este proceso por 60 minutos (nivel alto).

6.4 MEJORAMIENTO PROCESO DE HORNEADO

Actualmente la panificadora Éxito presenta una satisfactoria estandarización de los tiempos y temperaturas para los dos hornos presentes en este proceso debido a que el crecimiento promedio tanto para el ancho como el largo del pan en esta etapa es de 1 cm para ambas dimensiones, independientemente de los hornos. Para confirmar esto, no se realizó un diseño experimental debido a que se pretendía ahorrar recursos, sin embargo se elaboró un muestreo de 30 panes donde se partía de las condiciones óptimas del proceso hasta este momento, es decir, con panes de especificaciones de medida de 11 cm de largo x 13 de perímetro posterior al proceso de crecimiento.

Los datos fueron tomados de 6 diferentes lotes de producción, se consideraron tomar 5 muestras por lote (para obtener una variable respuesta más exacta), siendo esto un total de 30 datos para cada uno de los hornos, en la tabla 18 se muestran las condiciones de los factores y en la tabla 19 se encuentran expresados los datos obtenidos.

Tabla 17. Condiciones proceso de horneado

<i>CONDICIONES</i>	<i>HORNO 1</i>	<i>HORNO 2</i>
Temperatura	200 grados	150 grados
Tiempo	25 minutos	40 minutos

Según se expresa en la tabla 19 se obtuvo un promedio para el largo de los panes después del proceso de horneado de 12,15cm y de 12,23cm para el horno 1 y horno 2 respectivamente, con unas desviaciones inferiores a 0,42 cm; de igual manera se identificó un promedio de 14,05cm y de 14,27 cm para el perímetro de los panes en los dos hornos con desviación inferior a 40 cm.

Al analizar los datos se identifica que el proceso se encuentra muy cerca de lo esperado siendo como óptimos las medidas de 12 cm de largo por 14 de ancho y no se considera necesario hacer variaciones sobre los factores actuales. De esta manera se determina continuar empleando el horno 1 con una temperatura de 200 grados centígrados con un tiempo de exposición de 25 minutos, mientras el horno 2 manejarlo con 150 grados de temperatura por 40 minutos.

Tabla 18. Muestreo proceso de horneado

<i>HORNO 1</i>			<i>HORNO 2</i>		
Muestra	Largo	Per	Muestra	Largo	Per
1	12,1	14,2	1	11,9	13,9
2	11,7	14,1	2	12	13,7
3	11,6	13,5	3	12,5	13,8
4	12,3	14,4	4	12	14,5
5	12	14,1	5	12	13,9
6	12,5	14,4	6	12,7	14,4
7	12,1	14,4	7	11,9	14,2
8	12,2	14,2	8	12,2	14,4
9	12,2	13,9	9	12,3	14,6
10	11,9	13,8	10	12,9	14,7
11	12,2	14,1	11	12,4	14,5
12	12	13,9	12	12,3	14,6
13	12	14,2	13	12,9	13,8
14	11,8	14	14	12	13,7
15	12,1	13,7	15	11,7	13,9
16	12,8	13,5	16	12,5	13,7
17	11,7	14,4	17	12,8	14,1
18	12,4	14,3	18	11,7	13,9
19	12	14,5	19	12,9	14,7
20	11,8	13,9	20	11,8	14,7
21	11,8	13,7	21	12,5	15
22	12,2	14	22	12,1	14,1
23	13	14,5	23	11,5	14,3
24	11,6	14,3	24	13,1	14,3
25	12,5	14	25	11,7	13,9
26	11,7	13,6	26	11,9	14,1
27	12,8	14,1	27	12	15,2
28	12,3	14,4	28	12,3	14,5
29	13	13,6	29	12,1	14,6
30	12,2	13,9	30	12,2	14,4

<i>Promedio</i>	12,15	14,05	<i>Promedio</i>	12,23	14,27
<i>Desv Estandar</i>	0,39	0,30	<i>Desv Estandar</i>	0,42	0,40

6.5 MEJORAMIENTO PROCESO DE EMPAQUE

Esta es la etapa final del proceso productivo, la cual fue analizada desde el inicio de la investigación con finalidad de reducir al máximo la cantidad de productos

defectuosos posterior a este proceso. El indicador de panes defectuosos antes de realizarse las modificaciones se encontraba en aproximadamente el 6% de la totalidad de la producción, este se puede identificar en la tabla 20.

Tabla 19. Porcentaje de defectuosos pan mantequilla.

Días de producción de pan mantequilla 50gr	Noviembre		Diciembre		Enero	
	Unidades producidas	Unidades defectuosas	Unidades producidas	Unidades defectuosas	Unidades producidas	Unidades defectuosas
1	21.350	922	20.350	1.245	20.783	1.123
2	25.282	1.120	21.459	1.213	20.880	1.115
3	18.532	801	20.612	1.250	20.977	1.120
4	23.560	1.013	21.289	1.305	21.073	1.125
5	19.469	952	21.420	1.324	21.128	1.128
6	20.218	845	21.617	1.384	20.222	1.080
7	24.619	1.245	21.814	1.296	19.317	1.032
8	26.375	1.518	22.011	1.402	18.411	983
9	27.923	1.104	22.208	1.350	20.350	1.087
10	26.784	1.089	28.134	1.712	21.459	1.146
11	24.589	984	29.241	1.689	20.612	1.101
12	22.450	720	30.123	1.734	21.289	1.137
TOTAL	281.151	12.313	280.278	16.904	246.501	13.176
		4,38%		6,03%		5,35%

Mediante observación se ha determinado que los defectos en este proceso no son debidos a la máquina, ya que un correcto ajuste digital ocasiona unos excelentes cortes y empaquetado del producto, el inconveniente se presenta con las variaciones en las medidas del pan, debido a que productos con tamaños superiores al límite del empaque finalmente son mal empaquetados generando productos finales defectuosos.

Lo que se busca en esta fase del trabajo, es demostrar si los diferentes procesos que han sido estudiados y modificados, finalmente se traducen en un mejor control en las dimensiones del pan y de esta manera concurrir con un producto correctamente empaquetado con excelentes condiciones, de esta manera se espera reducir el índice de defectuosos y los sobrecostos contraídos por esto.

Para ello se emplearon 12 días de tomas de datos en los cuales fueron consignadas la producción total del día y la cantidad de panes defectuosos en el proceso de empaque, los datos son expresados en la tabla 21.

De acuerdo a los datos obtenidos en la experimentación, se obtuvo un 2,90% de panes considerados como defectuosos, ocasionados debido al incumplimiento en las medidas de largo y ancho. De esta manera se obtuvo un indicador de rechazo por la mitad del porcentaje que se manejaba en la panificadora antes de realizar este trabajo (Ver Tabla 20), es así como se confirma que la combinación de factores en los diferentes procesos lograron una mejora considerable en el producto final.

Tabla 20. Unidades producidas vs unidades defectuosas

Días de producción de pan mantequilla 50gr	Agosto	
	Unidades producidas	Unidades defectuosas
1	19130	577
2	19547	534
3	19562	598
4	19841	602
5	19711	609
6	19416	585
7	19607	579
8	19218	529
9	19490	540
10	19537	556
11	19472	537
12	19479	531
TOTAL	234010	6776
		2,90%

A medida que se redujo el porcentaje de productos defectuosos a la mitad, igual se disminuye el sobre costo ocasionado por el reproceso y desperdicio de material, de esta manera se pasa de 37 millones de pesos a aproximadamente 18 millones de pesos anuales, un ahorro considerable que podrá ser destinado para la inversión en maquinaria, herramientas de control o bien para las utilidades de la empresa.

7. ESTRATEGIAS DE CONTROL

Para incrementar el control en los diferentes procesos en la fabricación del pan mantequilla se establecieron los siguientes elementos:

- Cronómetros con alarma: Estos permitirán el cumplimiento de los tiempos óptimos establecidos para cada uno de los procesos, especialmente en la formación de la masa, el cuarto de crecimiento y el horno.
- Termómetro: Será utilizado en el proceso de mezclado para determinar que la temperatura no haya sobrepasado el punto de activación de la levadura (mayor a 23 grados).
- Regulador de humedad y temperatura: Se recomienda invertir en un dispositivo que permita controlar la humedad como temperatura de los panes cuando se encuentran en el cuarto de crecimiento, esto permitirá manejar un mejor control a como se desarrolla actualmente.
- Personal capacitado: Es necesario que cada uno de los trabajadores tengan presentes la importancia del correcto uso de las herramientas y cumplimiento de los diferentes estándares en cada fase del sistema.
- Distribución de personal: En especial para el proceso de multiformado del pan se hace necesario la ubicación de un operario en el momento en que el pan ha sido cortado por la máquina, esta persona se debe encargar de realizar la inspección visual que permita identificar los panes que hayan presentados problemas en el corte y/o envolvimiento de la masa.
- Formatos de control: Se han diseñado los formatos expresados en la Tabla 22 y Tabla 23 que permitirán llevar una buena trazabilidad del producto además de un histórico que permita analizar resultados.

Tabla 21. Formato de control para recepción de materia prima



FORMATO RECEPCIÓN DE MATERIA PRIMA

<i>Fecha de recepción</i>	<i>Proveedor</i>	<i>Materia prima</i>	<i>Cantidad (Kg)</i>	<i>Lote de fabricación</i>	<i>Fecha fab</i>	<i>Fecha venc</i>	<i>Recibido por:</i>

Tabla 22. Formato de control para producto terminado



FORMATO PRODUCTO TERMINADO

<i>Fecha de Fabricación</i>	<i>Producto</i>	<i>Lote de fabricación</i>	<i>Hora de empaque</i>	<i>Unidades producidas</i>	<i>Unidades defectuosas</i>	<i>Unidades netas</i>	<i>Diligencia do por:</i>

8. CONCLUSIONES

- Las harinas que eran utilizadas en un principio para el proceso (harina de la molinera de Caldas y harina de la molinera del Valle) otorgaban características diferentes a la masa, lo que ocasionaba fluctuaciones en la calidad final de los panes. La experimentación mostró que el proveedor que suministraba la mejor harina para el proceso era la molinera de Caldas, ya que debido a sus características fisicoquímicas permitía que la mezcla absorbiera la cantidad óptima de agua encontrada por en la experimentación; además esta harina es la menos costosa.
- Entre las variables que fueron estudiadas en el proceso del mezclado, se determino que, junto con la harina, el agua y el tiempo de mezclado 2 jugaban un papel muy importante en el proceso; ya que de estas dependía la calidad de la masa para la fabricación de los panes. El establecimiento de estas variables en los niveles óptimos arrojados por la experimentación en la fase de mezclado, demostró un mejor desempeño de la masa a lo largo de: Harina en nivel bajo (Molinera de Caldas), Tiempo de Mezclado 2 en nivel bajo (8 minutos) y Agua en nivel alto (28 litros).
- La variable respuesta temperatura, que es uno de los componentes de la variable respuesta final, es de suma importancia para el modelo optimo del proceso, ya que de su control depende la activación de las facultades químicas de la levadura; si esta temperatura es mayor al punto optimo establecido, la levadura se activara antes de tiempo, lo que traerá problemas en el proceso de mezclado. Por otro lado el control de la variable respuesta textura garantiza que la esta variable depende netamente de la experiencia y los conocimientos que el operario tenga de esta parte del proceso.
- El buen desempeño del proceso de formado del pan depende de la calidad de la masa que se haya fabricado en el proceso de mezclado. Gracias a las observaciones realizadas por el grupo investigador en esta parte del proceso y luego de realizar un estudio de medidas en una muestra de panes provenientes de la máquina multiformadora, se estableció que esta parte del

proceso estaba funcionando correctamente y, si la masa era de calidad, no debería existir ningún problema, por esta razón los investigadores no consideraron relevante hacer un experimento como tal, sino mas bien, agregar algunas herramientas del control a proceso.

- El proceso de crecimiento, según las observaciones realizadas por el grupo de experimentadores, resulta ser el más difícil de controlar, debido a que en él interactúan variables, que por las condiciones en las que se desarrolla el proceso, son difíciles de medir y por ende estabilizar. En este proceso es necesario implementar herramientas que posibiliten el control de las variables para con esto minimizar el numero de no conformidades.
- Al realizar la experimentación en el proceso de crecimiento se identifico que las variables cantidad de agua a evaporar, Tiempo de fermentación y Temperatura eran importantes para obtener panes con las dimensiones y características correctas; la combinación optima de estas variables debe ser: Tiempo de fermentación en nivel alto (60 minutos), cantidad de agua a evaporar en nivel bajo (6 litros) y temperatura en nivel bajo (Hornillas en nivel medio). La experimentación también revelo que cuando el factor Agua está en un nivel alto, es independiente de si la temperatura esta en un nivel alto o bajo, ya que lo más probable es que se obtenga (6 litros).
- El proceso de horneado es el más controlado en la fabricación de pan, ya que luego de que el equipo de investigación tomara muestras para verificar las dimensiones con las que el pan sale de los dos hornos implicados es el proceso, no se encontraron grandes variaciones entre los estándares óptimos manejados por la empresa y los resultados obtenidos del muestreo; por esta razón no se realizaron experimentos en esta parte del proceso.
- Con respecto a la parte final del proceso de producción de pan, el empaque, se descubrió que la máquina encargada de realizar la acción de empaquetado no presentaba mayores problemas si era programada con los parámetros correctos en cuanto a dimisiones y velocidad de empaque; de esta manera el grupo investigador determino que los problemas que se presentaban en esta parte del proceso era ocasionados, casi siempre, por los fallos y no conformidades a lo largo de todo el proceso productivo, los cuales solo eran detectados solo hasta este punto del proceso.

- Gracias a las mejoras que se desarrollaron a lo largo de todo el proceso productivo, implementando nuevas herramientas de control, seguimiento e inspección del proceso, se logro reducir el porcentaje de panes no conformes de un 6% a un 3%; lo que representa un ahorro para la empresa de aproximadamente 18 millones de pesos al año.

9. RECOMENDACIONES

- Para garantizar el control y la trazabilidad a lo largo de todo el proceso de producción del pan es necesario implementar los formatos de control diseñados por el equipo investigador.
- Con el ahorro generado por el mejoramiento del proceso en cada una de sus partes (18 millones); se recomienda a la empresa invertir en los siguientes elementos: Cronómetros con Alarma y Termómetro para mantener el control visual en todos los procesos, igualmente es necesario acondicionar el cuarto de crecimiento con la instalación de un regulador de humedad – temperatura para una mejor estandarización de los tiempos de fermentación.
- En el trabajo realizado por el equipo investigador se determino que los dos hornos presentaban una combinación de factores con la que se obtenía buenos resultados en el producto; debido a esto no se experimento en esta fase del proceso. Se recomienda en futuros trabajos diseñar experimentos que estudien detalladamente este proceso.

BIBLIOGRAFIA

Argentina. Universidad del CEMA. (2004). El diseño experimental y los métodos de Taguchi: Conceptos y aplicaciones en la industria farmacéutica. Buenos aires: Yacuzzi, E.

Chile, SPI (1999). Empaques de cartón. Control Estadístico del Proceso. Santiago: Varela. F

Colombia. Centro de calidad de Cali. (2009). Diseño de experimentos conceptos básicos. Cali: Cuesta. A

Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Ciencia, tecnología, desarrollo e innovación. (2004). Estudio Tecnológico de utilización de harina de yuca en panificación. Sede Palmira: Henao, S.

EE.UU, Massachusetts Institute of Technology, Center for Advanced Educational services. (1982). Out of crisis. Cambridge: Deming, W.E

España, Universidad Jaume I (2006). Manual de Control Estadístico de la Calidad: Teoría y Aplicaciones. Castellón: Verdoy, P., Mahiques, J., Sagasta, S., Sirvent, R.

España. Departamento de Química Analítica y Química Orgánica Universidad Rovira i Virgili. (2005). Introducción al Diseño Estadístico de Experimentos. Cataluña: Ferré, J., Ruíz, F.

España. Universidad Jaume I (2003). Introducción al análisis de datos experimentales: tratamientos de datos en Bioensayos. Cataluña: Serrano. R

España. Universidad de Navarra. (2008). Aplicación del Diseño de Experimentos para la mejora de procesos. San Sebastián: Izarbe, L., Viles. E., Alvarez, M.

Feigenbaum, A.V. (1990). Control Total de la Calidad. México D.F: Editorial CECSA.

Gutiérrez, M. (2004). Administrar para la Calidad: Conceptos Administrativos del Control Total de la Calidad. México D.F: Editorial LIMUSA, S.A.

Montgomey, D. (1991). Diseño y Análisis de Experimentos. México D.F: Editorial Iberoamericana.

Prokopenko, J. (1997). La Gestión de la Productividad: Manual Práctico. México D.F: Editorial Limusa.

Venezuela. Universidad de los Andes. (2004). Autocorrelación: Ramírez. D

ANEXOS

Anexo 1.Tabla Durbin Watson

Table A-2

Models with an intercept (from Savin and White)

Durbin-Watson Statistic: 5 Per Cent Significance Points of dL and dU

n	k'=1		k'=2		k'=3		k'=4		k'=5		k'=6		k'=7		k'=8		k'=9		k'=10		
	dL	dU																			
6	0.610	1.400	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
7	0.700	1.356	0.467	1.896	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
8	0.763	1.332	0.559	1.777	0.367	2.287	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
9	0.824	1.320	0.629	1.699	0.455	2.128	0.296	2.588	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
10	0.879	1.320	0.697	1.641	0.525	2.016	0.376	2.414	0.243	2.822	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
11	0.927	1.324	0.758	1.604	0.595	1.928	0.444	2.283	0.315	2.645	0.203	3.004	---	---	---	---	---	---	---	---	---
12	0.971	1.331	0.812	1.579	0.658	1.864	0.512	2.177	0.380	2.506	0.268	2.832	0.171	3.149	---	---	---	---	---	---	---
13	1.010	1.340	0.861	1.562	0.715	1.816	0.574	2.094	0.444	2.390	0.328	2.692	0.230	2.985	0.147	3.266	---	---	---	---	---
14	1.045	1.350	0.905	1.551	0.767	1.779	0.632	2.030	0.505	2.296	0.389	2.572	0.286	2.848	0.200	3.111	0.127	3.360	---	---	---
15	1.077	1.361	0.946	1.543	0.814	1.750	0.685	1.977	0.562	2.220	0.447	2.471	0.343	2.727	0.251	2.979	0.175	3.216	0.111	3.438	---
16	1.106	1.371	0.982	1.539	0.857	1.728	0.734	1.935	0.615	2.157	0.502	2.388	0.398	2.624	0.304	2.860	0.222	3.090	0.155	3.304	---
17	1.133	1.381	1.015	1.536	0.897	1.710	0.779	1.900	0.664	2.104	0.554	2.318	0.451	2.537	0.356	2.757	0.272	2.975	0.198	3.184	---
18	1.158	1.391	1.046	1.535	0.933	1.696	0.820	1.872	0.710	2.060	0.603	2.258	0.502	2.461	0.407	2.668	0.321	2.873	0.244	3.073	---
19	1.180	1.401	1.074	1.536	0.967	1.685	0.859	1.848	0.752	2.023	0.649	2.206	0.549	2.396	0.456	2.589	0.369	2.783	0.290	2.974	---
20	1.201	1.411	1.100	1.537	0.998	1.676	0.894	1.828	0.792	1.991	0.691	2.162	0.595	2.339	0.502	2.521	0.416	2.704	0.336	2.885	---
21	1.221	1.420	1.125	1.538	1.026	1.669	0.927	1.812	0.829	1.964	0.731	2.124	0.637	2.290	0.546	2.461	0.461	2.633	0.380	2.806	---
22	1.239	1.429	1.147	1.541	1.053	1.664	0.958	1.797	0.863	1.940	0.769	2.090	0.677	2.246	0.588	2.407	0.504	2.571	0.424	2.735	---
23	1.257	1.437	1.168	1.543	1.078	1.660	0.986	1.785	0.895	1.920	0.804	2.061	0.715	2.208	0.628	2.360	0.545	2.514	0.465	2.670	---
24	1.273	1.446	1.188	1.546	1.101	1.656	1.013	1.775	0.925	1.902	0.837	2.035	0.750	2.174	0.666	2.318	0.584	2.464	0.506	2.613	---
25	1.288	1.454	1.206	1.550	1.123	1.654	1.038	1.767	0.953	1.886	0.868	2.013	0.784	2.144	0.702	2.280	0.621	2.419	0.544	2.560	---
26	1.302	1.461	1.224	1.553	1.143	1.652	1.062	1.759	0.979	1.873	0.897	1.992	0.816	2.117	0.735	2.246	0.657	2.379	0.581	2.513	---
27	1.316	1.469	1.240	1.556	1.162	1.651	1.084	1.753	1.004	1.861	0.925	1.974	0.845	2.093	0.767	2.216	0.691	2.342	0.616	2.470	---
28	1.328	1.476	1.255	1.560	1.181	1.650	1.104	1.747	1.028	1.850	0.951	1.959	0.874	2.071	0.798	2.188	0.723	2.309	0.649	2.431	---
29	1.341	1.483	1.270	1.563	1.198	1.650	1.124	1.743	1.050	1.841	0.975	1.944	0.900	2.052	0.826	2.164	0.753	2.278	0.681	2.396	---
30	1.352	1.489	1.284	1.567	1.214	1.650	1.143	1.739	1.071	1.833	0.998	1.931	0.926	2.034	0.854	2.141	0.782	2.251	0.712	2.363	---
31	1.363	1.496	1.297	1.570	1.229	1.650	1.160	1.735	1.090	1.825	1.020	1.920	0.950	2.018	0.879	2.120	0.810	2.226	0.741	2.333	---
32	1.373	1.502	1.309	1.574	1.244	1.650	1.177	1.732	1.109	1.819	1.041	1.909	0.972	2.004	0.904	2.102	0.836	2.203	0.769	2.306	---
33	1.383	1.508	1.321	1.577	1.258	1.651	1.193	1.730	1.127	1.813	1.061	1.900	0.994	1.991	0.927	2.085	0.861	2.181	0.796	2.281	---
34	1.393	1.514	1.333	1.580	1.271	1.652	1.208	1.728	1.144	1.808	1.079	1.891	1.015	1.978	0.950	2.069	0.885	2.162	0.821	2.257	---
35	1.402	1.519	1.343	1.584	1.283	1.653	1.222	1.726	1.160	1.803	1.097	1.884	1.034	1.967	0.971	2.054	0.908	2.144	0.845	2.236	---
36	1.411	1.525	1.354	1.587	1.295	1.654	1.236	1.724	1.175	1.799	1.114	1.876	1.053	1.957	0.991	2.041	0.930	2.127	0.868	2.216	---
37	1.419	1.530	1.364	1.590	1.307	1.655	1.249	1.723	1.190	1.795	1.131	1.870	1.071	1.948	1.011	2.029	0.951	2.112	0.891	2.197	---
38	1.427	1.535	1.373	1.594	1.318	1.656	1.261	1.722	1.204	1.792	1.146	1.864	1.088	1.939	1.029	2.017	0.970	2.098	0.912	2.180	---
39	1.435	1.540	1.382	1.597	1.328	1.658	1.273	1.722	1.218	1.789	1.161	1.859	1.104	1.932	1.047	2.007	0.990	2.085	0.932	2.164	---
40	1.442	1.544	1.391	1.600	1.338	1.659	1.285	1.721	1.230	1.786	1.175	1.854	1.120	1.924	1.064	1.997	1.008	2.072	0.952	2.149	---
45	1.475	1.566	1.430	1.615	1.383	1.666	1.336	1.720	1.287	1.776	1.238	1.835	1.189	1.895	1.139	1.958	1.089	2.022	1.038	2.088	---