



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**“PARAMETRIZACIÓN DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN EN LA  
FABRICACIÓN PETFOOD Y ACUÍCOLA A TRAVÉS DE  
DISEÑOS EXPERIMENTALES PARA EL MEJORAMIENTO DE  
LA PRODUCTIVIDAD EN LA EMPRESA EXIBAL PLANTA  
CHAMBO”**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Propuesta Tecnológica

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO INDUSTRIAL**

**AUTORES:**

**YELIBER ALFREDO AGUIRRE MANZABA**

**MARCO LEONARDO VEGA ARGUELLO**

Riobamba – Ecuador

2022



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**“PARAMETRIZACIÓN DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN EN LA  
FABRICACIÓN PETFOOD Y ACUÍCOLA A TRAVÉS DE  
DISEÑOS EXPERIMENTALES PARA EL MEJORAMIENTO DE  
LA PRODUCTIVIDAD EN LA EMPRESA EXIBAL PLANTA  
CHAMBO”**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Propuesta Tecnológica

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO INDUSTRIAL**

**AUTORES: YELIBER ALFREDO AGUIRRE MANZABA**

**MARCO LEONARDO VEGA ARGUELLO**

**DIRECTOR: ING. JAIME IVÁN ACOSTA VELARDE**

Riobamba – Ecuador

2022

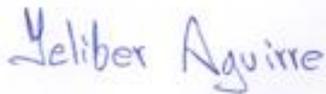
© 2022, Yeliber Alfredo Aguirre Manzaba, Marco Leonardo Vega Arguello

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, **Yeliber Alfredo Aguirre Manzaba** y **Marco Leonardo Vega Arguello** declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 20 de julio de 2022



**Yeliber Alfredo Aguirre Manzaba**  
**CI: 230039161-8**



**Marco Leonardo Vega Arguello**  
**CI: 094162280-5**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular: Tipo: Propuesta Tecnológica, **PARAMETRIZACIÓN DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN EN LA FABRICACIÓN PETFOOD Y ACUÍCOLA A TRAVÉS DE DISEÑOS EXPERIMENTALES PARA EL MEJORAMIENTO DE LA PRODUCTIVIDAD EN LA EMPRESA EXIBAL PLANTA CHAMBO**, realizado por los señores: **YELIBER ALFREDO AGUIRRE MANZABA Y MARCO LEONARDO VEGA ARGUELLO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Daniela Carina Vásconez Núñez <b>PRESIDENTA DEL TRIBUNAL</b>		2022-07-20
Ing. Jaime Iván Acosta Velarde <b>DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2022-07-20
Ing. Ángel Geovanny Guamán Lozano <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>		2022-07-20

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de titulación a mis más preciados familiares, Noris Katerine Aguirre te dedico este trabajo por darme todas las herramientas, recursos y bendiciones para culminar mi carrera y formarme como la persona que soy, me has encaminado en el bien y en el camino de Dios, a mi esposa Karla Diaz y a mi hijo Lucas Aguirre que son mi mayor fuerza para luchar cada día, los amo mucho y con todo mi corazón les dedico mi mayor esfuerzo.

### **YELIBER ALFREDO AGUIRRE MANZABA**

Dedico este trabajo de titulación especialmente a mi madre Mariana Arguello por darme la vida y a mi padre Franklin Vega por los consejos y fuerzas que me daba para culminar la carrera, además a mi hermano Fabian Moreira por el apoyo incondicional para conseguir este logro.

### **MARCO LEONARDO VEGA ARGUELLO**

## **AGRADECIMIENTO**

Con mucho orgullo quiero empezar agradeciendo primero a Dios por permitirme culminar esta etapa de mi vida, agradezco de todo corazón a mi padres por todo su apoyo, por todas las veces que me impulsaron hacia adelante agradezco a toda mi familia, agradezco a la empresa Exibal por la oportunidad para desarrollar mi trabajo de titulación, a mi compañero Marco Vega por su gran colaboración y para culminar, agradezco a la prestigiosa Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a mi tutor y asesor por su acompañamiento que son partes de los grandes profesionales que forman cada día.

**YELIBER ALFREDO AGUIRRE MANZABA**

Agradecido principalmente a Dios por darme las fuerzas para culminar otro logro más de vida, a mis padres y hermanos que son mis fuerzas y por darme su cariño y apoyo. Además, gracias a la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Facultad de mecánica y a la carrera de Ingeniería Industrial por formar a unos excelentes ingenieros que me ayudaron a desarrollar mis conocimientos y especialmente a mi director y asesor de tesis quienes nos brindaron los conocimientos necesarios para culminar.

**MARCO LEONARDO VEGA ARGUELLO**

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvi
RESUMEN.....	xvii
SUMMARY.....	1
INTRODUCCIÓN.....	2
<b>CAPITULO I.....</b>	<b>4</b>
<b>1.1 Antecedentes.....</b>	<b>4</b>
<b>1.2 Planteamiento del problema.....</b>	<b>5</b>
<b>1.3 Justificación del proyecto.....</b>	<b>5</b>
<b>1.3.1 <i>Justificación práctica</i>.....</b>	<b>6</b>
<b>1.3.2 <i>Justificación metodológica</i>.....</b>	<b>6</b>
<b>1.4 Objetivo general.....</b>	<b>6</b>
<b>1.4.1 <i>Objetivos específicos</i>.....</b>	<b>7</b>
<b>1.5 Alcance.....</b>	<b>7</b>
<b>CAPITULO II.....</b>	<b>8</b>
<b>2 Marco teórico.....</b>	<b>8</b>
<b>2.1 Estado del arte.....</b>	<b>8</b>
<b>2.2 Bases teóricas.....</b>	<b>9</b>
<b>2.2.1 <i>Proceso de extrusión</i>.....</b>	<b>9</b>
<b>2.2.2 <i>Experimentación</i>.....</b>	<b>10</b>
<b>2.2.2.1 <i>Diseños experimentales</i>.....</b>	<b>10</b>
<b>2.2.2.2 <i>Diseño factorial</i>.....</b>	<b>11</b>
<b>2.3 Marco legal.....</b>	<b>12</b>
<b>CAPITULO III.....</b>	<b>14</b>
<b>3 METODOLOGÍA.....</b>	<b>14</b>
<b>3.1 <i>Tipo de estudio</i>.....</b>	<b>14</b>
<b>3.2 <i>Tipo de investigación</i>.....</b>	<b>14</b>

3.2.1	<i>Investigación aplicada</i> .....	14
3.2.2	<i>Investigación descriptiva</i> .....	14
3.3	<b>Diseño de la investigación</b> .....	14
3.4	<b>Enfoque de la investigación</b> .....	15
3.5	<b>Recolección de datos</b> .....	15
3.5.1	<i>Procedimientos</i> .....	15
3.5.1.1	<i>Proceso de medición de humedad</i> .....	16
3.5.2	<i>Instrumento de recolección de datos</i> .....	17
3.5.2.1	<i>Termobalanza</i> .....	17
3.6	<b>DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN</b> .....	17
3.7	<b>Herramientas de calidad para validación de datos</b> .....	19
3.7.1	<i>Análisis R&amp;R</i> .....	19
3.7.1.1	<i>Aleatorización de muestras</i> .....	19
3.7.1.2	<i>Prueba de humedad</i> .....	21
3.7.1.3	<i>Prueba de normalidad</i> .....	21
3.7.1.4	<i>Prueba de independencia</i> .....	23
3.7.1.5	<i>Análisis ANOVA</i> .....	23
3.7.2	<i>Diagrama de Ishikawa</i> .....	26
3.7.3	<i>Diagrama de Pareto</i> .....	27
3.8	<b>Identificación de variables para el diseño factorial</b> .....	28
3.9	<b>Factores críticos para la parametrización del proceso de extrusión</b> .....	29
3.10	<b>Selección del modelo experimental para la parametrización</b> .....	30
3.10.1	<i>Selección del diseño factorial para balanceado denominado “chucho”</i> .....	30
3.10.2	<i>Selección del diseño experimental para balanceado denominado TL 32%</i> .....	31
3.11	<b>Ejecución del modelo experimental</b> .....	32
3.11.1	<i>Procedimiento experimental producto “chucho”</i> .....	32
3.11.2	<i>Procedimiento experimental TL 32%</i> .....	36
3.11.3	<i>Herramientas y software para el procesamiento de datos</i> .....	39
3.11.3.1	<i>Diseño factorial 2<sup>4</sup> del producto “chucho”</i> .....	39
3.11.3.2	<i>Diseño factorial 2<sup>3</sup> para el producto “chucho”</i> .....	55
3.11.3.3	<i>Diseño factorial 2<sup>4</sup> para el producto TL32%</i> .....	60
3.11.3.4	<i>Diseño factorial 2<sup>3</sup> para el producto TL32%</i> .....	76
3.12	<b>Comparación de resultados del modelo experimental</b> .....	82
3.12.1	<i>Parametrización para el producto “chucho” para el control de la humedad del extruido</i> .....	82
3.12.2	<i>Parametrización para el producto “chucho” para controlar la forma del extruido</i> .83	

3.12.3	<i>Parametrización para el producto “chucho” para controlar el consumo de amperaje de la extrusora</i> .....	84
3.12.4	<i>Parametrización para el producto “chucho” para controlar la humedad de la croqueta luego del secado</i> .....	84
3.12.5	<i>Parametrización para el producto TL32% para el controlar la humedad del extruido</i> .....	85
3.12.6	<i>Parametrización para el producto TL32% para controlar la flotabilidad del extruido</i> .....	86
3.12.7	<i>Parametrización para el producto TL32% para controlar el consumo de amperaje de la extrusora</i> .....	87
3.12.8	<i>Parametrización para el producto TL32% para controlar la humedad del balanceado luego del secado</i> .....	88
3.13	Resultados después de la aplicación de parámetros en el producto “chucho” .....	89
3.14	Resultados después de la aplicación de parámetros en el producto “TI 32%” .....	93
<b>CAPITULO IV</b> .....		<b>97</b>
4	<b>GESTIÓN DEL PROYECTO</b> .....	<b>97</b>
4.1	<b>Cronograma</b> .....	<b>97</b>
4.2	<b>Recursos y materiales</b> .....	<b>99</b>
4.2.1	<i>Presupuesto</i> .....	<b>99</b>
4.3	<b>Talento Humano</b> .....	<b>100</b>
4.4	<b>Recursos materiales</b> .....	<b>100</b>
<b>CONCLUSIONES</b> .....		<b>101</b>
<b>RECOMENDACIONES</b> .....		<b>102</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		
<b>ANEXOS</b>		

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-3:</b>	Forma de toma de datos .....	15
<b>Tabla 2-3:</b>	Aleatorización de las corridas para datos de humedad .....	19
<b>Tabla 3-3:</b>	Resultados de las muestras de humedad.....	21
<b>Tabla 4-3:</b>	Tabla ANOVA de dos factores con interacción .....	24
<b>Tabla 5-3:</b>	Evaluación del sistema de medición .....	24
<b>Tabla 6-3:</b>	Evaluación del sistema de medición .....	24
<b>Tabla 7-3:</b>	Problemas determinados .....	27
<b>Tabla 8-3:</b>	Posición real de los problemas según su frecuencia .....	28
<b>Tabla 9-3:</b>	Problemas más representativos .....	29
<b>Tabla 10-3:</b>	Variables independientes .....	29
<b>Tabla 11-3:</b>	Variables dependientes .....	29
<b>Tabla 12-3:</b>	Factores críticos para considerar el diseño factorial .....	30
<b>Tabla 13-3:</b>	Niveles y factores del diseño factorial $2^4$ del balanceado “chucho” .....	30
<b>Tabla 14-3:</b>	Niveles y factores del diseño factorial $2^3$ del balanceado “chucho” .....	31
<b>Tabla 15-3:</b>	Niveles y factores del diseño factorial $2^4$ del balanceado TL 32% .....	31
<b>Tabla 16-3:</b>	Niveles y factores del diseño factorial $2^3$ del balanceado TL 32% .....	32
<b>Tabla 17-3:</b>	Ejecución del diseño factorial $2^4$ para el producto chucho .....	32
<b>Tabla 18-3:</b>	Aleatorización de las corridas del diseño factorial $2^4$ para el producto chucho. 33	
<b>Tabla 19-3:</b>	Datos de las variables respuesta del producto “chucho” del diseño factorial $2^4$ 34	
<b>Tabla 20-3:</b>	Ejecución del diseño factorial $2^3$ para el producto chucho .....	34
<b>Tabla 21-3:</b>	Aleatorización de las corridas del diseño factorial $2^3$ para el producto chucho. 35	
<b>Tabla 22-3:</b>	Datos de las variables respuesta del producto “chucho” del diseño factorial $2^3$ 35	
<b>Tabla 23-3:</b>	Ejecución del diseño factorial $2^4$ para el producto experimental TL 32% .....	36
<b>Tabla 24-3:</b>	Aleatorización de las corridas del diseño factorial $2^4$ para el producto “TL 32%”. .....	36
<b>Tabla 25-3:</b>	Datos de las variables respuesta del producto “TL32%” del diseño factorial $2^4$ 37	
<b>Tabla 26-3:</b>	Ejecución del diseño factorial $2^3$ para el producto experimental TL 32% .....	38
<b>Tabla 27-3:</b>	Aleatorización de las corridas del diseño factorial $2^3$ para el producto “TL 32%”. .....	38
<b>Tabla 28-3:</b>	Datos de las variables respuesta del producto “TL32%” del diseño factorial $2^3$ .....	38
<b>Tabla 29-3:</b>	Resumen del diseño factorial $2^4$ para “chucho” con la variable humedad del producto extruido .....	39

<b>Tabla 30-3:</b>	Análisis de la varianza del diseño factorial $2^4$ para “chucho” con la variable humedad del producto extruido.....	39
<b>Tabla 31-3:</b>	Ecuación de regresión en unidades codificadas para “chucho” con la variable humedad del producto extruido.....	44
<b>Tabla 32-3:</b>	Resumen del modelo del diseño factorial $2^4$ para “chucho” con la variable forma del producto .....	44
<b>Tabla 33-3:</b>	Análisis de varianza del diseño factorial $2^4$ para “chucho” con la variable forma del producto .....	45
<b>Tabla 34-3:</b>	Ecuación de regresión en unidades codificadas.....	49
<b>Tabla 35-3:</b>	Resumen del modelo del diseño factorial $2^4$ para “chucho” con la variable respuesta amperaje .....	50
<b>Tabla 36-3:</b>	Análisis de varianza del diseño factorial $2^4$ para “chucho” con la variable respuesta amperaje .....	50
<b>Tabla 37-3:</b>	Ecuación de regresión en unidades codificadas.....	55
<b>Tabla 38-3:</b>	Resumen del diseño factorial $2^3$ para “chucho” con la variable respuesta humedad del producto luego del secador.....	55
<b>Tabla 39-3:</b>	Análisis de varianza del diseño factorial $2^3$ para “chucho” con la variable respuesta humedad del producto luego del secador .....	56
<b>Tabla 40-3:</b>	Ecuación de regresión en unidades no codificadas.....	60
<b>Tabla 41-3:</b>	Resumen del modelo y diseño factorial $2^4$ para TL32% con la variable respuesta humedad del producto extruido.....	60
<b>Tabla 42-3:</b>	Análisis de varianza del diseño factorial $2^4$ para TL32% con la variable respuesta humedad del producto extruido.....	61
<b>Tabla 43-3:</b>	Ecuación de regresión en unidades no codificadas.....	65
<b>Tabla 44-3:</b>	Resumen del modelo del diseño factorial $2^4$ para TL32% con la variable respuesta flotabilidad .....	66
<b>Tabla 45-3:</b>	Análisis de varianza del diseño factorial $2^4$ para TL32% con la variable respuesta flotabilidad .....	66
<b>Tabla 46-3:</b>	Ecuación de regresión en unidades codificadas .....	70
<b>Tabla 47-3:</b>	Resumen del modelo del diseño factorial $2^4$ para TL32% con la variable respuesta amperaje.....	71
<b>Tabla 48-3:</b>	Análisis de varianza del diseño factorial $2^4$ para TL32% con la variable respuesta amperaje.....	71
<b>Tabla 49-3:</b>	Ecuación de regresión en unidades no codificadas.....	76
<b>Tabla 50-3:</b>	Resumen del modelo y del diseño factorial $2^3$ para TL32% con la variable respuesta humedad del producto luego del secador .....	76

<b>Tabla 51-3:</b>	Análisis de varianza del diseño factorial 2 <sup>3</sup> para TL32% con la variable respuesta humedad del producto luego del secador.....	77
<b>Tabla 52-3:</b>	Ecuación de regresión en unidades codificadas .....	82
<b>Tabla 53-3:</b>	Parametrización del producto “chucho” para el control de la humedad del extruido .....	82
<b>Tabla 54-3:</b>	Humedades de producto extruido “chucho” luego de la parametrización .....	82
<b>Tabla 55-3:</b>	Parametrización del producto “chucho” para controlar la forma del extruido ....	83
<b>Tabla 56-3:</b>	Forma de producto extruido “chucho” luego de la parametrización.....	83
<b>Tabla 57-3:</b>	Parametrización del producto “chucho” para controlar el consumo de amperaje de la extrusora.....	84
<b>Tabla 58-3:</b>	Amperajes de consumo de la producción de “chucho” luego de la parametrización .....	84
<b>Tabla 59-3:</b>	Parametrización el producto “chucho” para controlar la humedad de la croqueta luego del secado.....	84
<b>Tabla 60-3:</b>	Humedades de producto seco “chucho” luego de la parametrización. ....	85
<b>Tabla 61-3:</b>	Parametrización del producto TL32% para controlar la humedad del extruido .	85
<b>Tabla 62-3:</b>	Humedades del producto extruido “TL32%” luego de la parametrización.....	85
<b>Tabla 63-3:</b>	Parametrización del producto TL32% para controlar la flotabilidad del extruido .....	86
<b>Tabla 64-3:</b>	Flotabilidad del producto extruido “TL32%” luego de la parametrización. ....	86
<b>Tabla 65-3:</b>	Parametrización del producto TL32% para controlar el consumo de amperaje de la extrusora .....	87
<b>Tabla 66-3:</b>	Amperajes de consumo de la producción de “TL32%” luego de la parametrización. ....	87
<b>Tabla 67-3:</b>	Parametrización el producto TL32% para controlar la humedad del balanceado luego del secado.....	88
<b>Tabla 68-3:</b>	Humedades de producto seco “TL32%” luego de la parametrización. ....	88
<b>Tabla 69-3:</b>	Antes de la aplicación de parámetros en el producto “chucho”.....	89
<b>Tabla 70-3:</b>	Después de la aplicación de parámetros en el producto “chucho”.....	89
<b>Tabla 71-3:</b>	Productividad de chucho en los últimos 6 meses con y sin parametrización.....	90
<b>Tabla 72-3:</b>	Antes de la aplicación de parámetros en el producto “Tl 32%” .....	93
<b>Tabla 73-3:</b>	Después de la aplicación de parámetros en el producto “Tl 32%” .....	93
<b>Tabla 1-4:</b>	Cronograma .....	97
<b>Tabla 2-4:</b>	Costos directos.....	99
<b>Tabla 3-4:</b>	Costos indirectos.....	99
<b>Tabla 4-4:</b>	Costos totales.....	99
<b>Tabla 5-4:</b>	Talento humano .....	100

<b>Tabla 6-4:</b>	Recursos materiales .....	100
-------------------	---------------------------	-----

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1-3:</b>	Diagrama de flujo del proceso de medición de humedades .....	16
<b>Ilustración 2-3:</b>	Termobalanza Mettler Toledo HE53/03 .....	17
<b>Ilustración 3-3:</b>	Proceso de extrusión.....	18
<b>Ilustración 4-3:</b>	Prueba de normalidad Anderson-Darling .....	22
<b>Ilustración 5-3:</b>	Supuesto de independencia residuo vs orden.....	23
<b>Ilustración 6-3:</b>	Gráfico R por operador.....	25
<b>Ilustración 7-3:</b>	Medición de humedad por orden .....	25
<b>Ilustración 8-3:</b>	Mediciones de humedad por operador.....	26
<b>Ilustración 9-3:</b>	Diagrama de Ishikawa.....	27
<b>Ilustración 10-3:</b>	Diagrama de Pareto .....	28
<b>Ilustración 11-3:</b>	Diagrama de Pareto de efectos estandarizados del diseño factorial $2^4$ para “chucho” con la variable humedad del producto extruido .....	40
<b>Ilustración 12-3:</b>	Test de normalidad para variable humedad de extruido .....	41
<b>Ilustración 13-3:</b>	Supuesto de independencia residuo vs orden.....	41
<b>Ilustración 14-3:</b>	Homogeneidad de varianza residuo vs ajustes.....	42
<b>Ilustración 15-3:</b>	Efectos principales para % humedad de producto extruido .....	43
<b>Ilustración 16-3:</b>	Intervalos de humedad del producto extruido del diseño factorial $2^4$ para “chucho”, efecto interactivo ABC.....	43
<b>Ilustración 17-3:</b>	Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para “chucho” con la variable forma del producto.....	46
<b>Ilustración 18-3:</b>	Test de normalidad para variable humedad de extruido .....	46
<b>Ilustración 19-3:</b>	Supuesto de independencia residuo vs orden.....	47
<b>Ilustración 20-3:</b>	Homogeneidad de varianza residuo vs ajustes.....	47
<b>Ilustración 21-3:</b>	Gráfica de efectos principales para la forma de producto extruido .....	48
<b>Ilustración 22-3:</b>	Intervalos de forma del producto del diseño factorial $2^4$ para “chucho”, efecto interactivo ABC.....	48
<b>Ilustración 23-3:</b>	Intervalos de forma del producto del diseño factorial $2^4$ para “chucho”, efecto interactivo BCD.....	49
<b>Ilustración 24-3:</b>	Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para “chucho” con la variable respuesta amperaje .....	51
<b>Ilustración 25-3:</b>	Test de normalidad para variable Amperaje consumido .....	52
<b>Ilustración 26-3:</b>	Supuesto de independencia para variable amperaje .....	52
<b>Ilustración 27-3:</b>	Gráfica de homogeneidad de varianza residuo vs ajustes .....	53

<b>Ilustración 28-3:</b>	Efectos principales para el amperaje consumido por la máquina extrusora .....	53
<b>Ilustración 29-3:</b>	Intervalos de respuesta de amperaje del diseño factorial $2^4$ para “chucho”, efecto interactivo ABC.....	54
<b>Ilustración 30-3:</b>	Intervalos de respuesta de amperaje del diseño factorial $2^4$ para “chucho”, efecto interactivo ABD .....	54
<b>Ilustración 31-3:</b>	Diagrama de Pareto de efectos estandarizados del diseño factorial $2^3$ para “chucho” con la variable respuesta humedad del producto luego del secador .....	57
<b>Ilustración 32-3:</b>	Test de normalidad para variable humedad luego del secado .....	57
<b>Ilustración 33-3:</b>	Supuesto de independencia para humedad luego del secado .....	58
<b>Ilustración 34-3:</b>	Homogeneidad de varianza en % humedad luego del secado .....	58
<b>Ilustración 35-3:</b>	Efectos principales para el % de humedad luego del secado .....	59
<b>Ilustración 36-3:</b>	Intervalos de la humedad del producto luego del secador del diseño factorial $2^3$ para “chucho”, efecto interactivo ABC .....	59
<b>Ilustración 37-3:</b>	Diagrama de Pareto de efectos estandarizados del diseño factorial $2^4$ para TL32% con la variable respuesta humedad del producto extruido .....	62
<b>Ilustración 38-3:</b>	Test de normalidad para variable humedad de extruido.....	62
<b>Ilustración 39-3:</b>	Gráfica de supuesto de independencia residuo vs orden .....	63
<b>Ilustración 40-3:</b>	Homogeneidad de varianza residuo vs ajustes.....	63
<b>Ilustración 41-3:</b>	Gráfica de efectos principales para humedad de producto extruido.....	64
<b>Ilustración 42-3:</b>	Intervalos de la humedad del producto extruido del diseño factorial $2^4$ para TL32%, efecto interactivo AB .....	64
<b>Ilustración 43-3:</b>	Intervalos de la humedad del producto extruido del diseño factorial $2^4$ para TL32%, efecto interactivo CD .....	65
<b>Ilustración 44-3:</b>	Diagrama de Pareto de efectos estandarizados del diseño factorial $2^4$ para TL32% con la variable respuesta flotabilidad .....	67
<b>Ilustración 45-3:</b>	Test de normalidad para variable flotabilidad.....	67
<b>Ilustración 46-3:</b>	Supuesto de independencia en la variable flotabilidad .....	68
<b>Ilustración 47-3:</b>	Homogeneidad de varianza residuo vs ajustes.....	69
<b>Ilustración 48-3:</b>	Interacción para variable flotabilidad .....	69
<b>Ilustración 49-3:</b>	Intervalos de flotabilidad del diseño factorial $2^4$ para TL32%, efecto interactivo AB.....	70
<b>Ilustración 50-3:</b>	Diagrama de Pareto de efectos estandarizados del diseño factorial $2^4$ para TL32% con la variable respuesta amperaje de la máquina extrusora .....	72
<b>Ilustración 51-3:</b>	Test de normalidad para variable Amperaje consumido .....	72
<b>Ilustración 52-3:</b>	Supuesto de independencia para variable amperaje.....	73
<b>Ilustración 53-3:</b>	Homogeneidad de varianza residuo vs ajustes.....	73

<b>Ilustración 53-3:</b>	Efectos principales para el amperaje consumido por la máquina extrusora. .....	74
<b>Ilustración 53-3:</b>	Intervalos de amperaje del diseño factorial $2^4$ para TL32% con la variable respuesta amperaje del efecto C. ....	74
<b>Ilustración 53-3:</b>	Intervalos de amperaje del diseño factorial $2^4$ para TL32% con la variable respuesta amperaje del efecto B. ....	75
<b>Ilustración 53-3:</b>	Intervalos de amperaje del diseño factorial $2^4$ para TL32% con la variable respuesta amperaje del efecto D. ....	75
<b>Ilustración 58-3:</b>	Diagrama de Pareto de efectos estandarizados del diseño factorial $2^3$ para TL32% con la variable respuesta humedad del producto luego del secador.....	77
<b>Ilustración 59-3:</b>	Test de normalidad para variable humedad luego del secado .....	78
<b>Ilustración 59-3:</b>	Supuesto de independencia variable humedad luego del secado. ....	78
<b>Ilustración 61-3:</b>	Homogeneidad de varianza residuo vs ajustes.....	79
<b>Ilustración 62-3:</b>	Efectos principales para humedad luego del secado .....	80
<b>Ilustración 63-3:</b>	Intervalos de humedad del producto luego del secador del diseño factorial $2^3$ para TL32% del efecto A. ....	80
<b>Ilustración 64-3:</b>	Intervalos de humedad del producto luego del secador del diseño factorial $2^3$ para TL32%, del efecto B.....	81
<b>Ilustración 65-3:</b>	Intervalos de humedad del producto luego del secador del diseño factorial $2^3$ para TL32%, del efecto C.....	81
<b>Ilustración 65-3:</b>	Muestra de flotabilidad del producto TL32% .....	87
<b>Ilustración 65-3:</b>	Medición del producto TL32%.....	89
<b>Ilustración 68-3:</b>	Productividad antes y después de la parametrización .....	90
<b>Ilustración 69-3:</b>	Productividad de chucho en los últimos 6 meses con y sin parametrización .....	91
<b>Ilustración 70-3:</b>	Costos de reprocesos de los 6 meses de producción .....	92
<b>Ilustración 71-3:</b>	Productividad de un semestre .....	93
<b>Ilustración 72-3:</b>	Productividad antes y después de la parametrización de TL 32%.....	94
<b>Ilustración 73-3:</b>	Representación de reprocesos últimos 6 meses del producto Tl 32% ....	95
<b>Ilustración 74-3:</b>	Costos de reprocesos de la producción de TL 32% en el último semestre .....	96
<b>Ilustración 75-3:</b>	Productividad de TL 32% antes y después de la parametrización en el último semestre.....	96

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** Material para reproceso debido a obstrucción en la maquina extrusora

**ANEXO B:** Trituración de balanceado seco para medición

**ANEXO C:** Personal a cargo de los procesos productivos

## RESUMEN

El objetivo de este proyecto fue parametrizar el proceso de extracción en la fabricación petfood y acuícola a través de diseños experimentales para el mejoramiento de la productividad en la empresa EIXIBAL panta Chambo. Para lo cual, se determinó de manera inicial los factores críticos que afectan la producción en el proceso de extrusión para la obtención de petfood. Con los datos obtenidos se procedió a diseñar el modelo experimental a partir del análisis y estandarización de parámetros de control en la máquina extrusora. Posteriormente se realizó la ejecución del modelo factorial con varias etapas de experimentación. Se compararon los resultados mediante el software Minitab para definir las condiciones de parametrización óptimas de operación tanto del equipo como del proceso. Los resultados obtenidos determinan una reducción de producto de 270 kg Chucho y de 350 kg TL 32% por cada lote extruido generando una reducción del 87% y 84,21% en gastos. Para la mejora de la producción se requirieron dos diseños factoriales  $2^4$  y  $2^3$  para ambos productos con 2 interacciones alto y bajo en factores como el agua y temperatura del acondicionador, la velocidad de carga de la mezcla y el porcentaje de velocidad de cuchilla, además del porcentaje humedad del producto extruido, velocidad de banda del secador y la temperatura del secador. Se concluyó que los factores críticos que afectaban la producción en el proceso de producción son petfood y acuícola denominado “TL 32%”, además, se analizaron los factores que afectan al secado del producto como: el porcentaje humedad del producto extruido, velocidad de banda del secador y la temperatura del secador. Se recomienda estudiar los factores no controlados del diseño experimental que pueden afectar significativamente a la obtención del balanceado para mejorar la productividad en los extruidos.

**Palabras clave:** <DISEÑOS FACTORIALES> <MÁQUINA EXTRUSORA> <CONTROL DE PRODUCCIÓN> <FACTORES CRÍTICOS> <CHAMBO (CANTÓN)>.

1992-DBRA-UTP-2022



## SUMMARY

The aim of this project was to parameterize the extraction process in the manufacture of petfood and aquaculture through experimental designs to improve productivity in the company EXIBAL Chambo. For this purpose, the critical factors that affect production in the extrusion process to obtain petfood were initially determined. With the data obtained, the experimental model was designed based on the analysis and standardization of control parameters in the extruder machine. Then, the execution of the factorial model was carried out with several experimental stages. On the one hand, the results were compared using Minitab software to define the optimal parameterization conditions for both equipment and process operation. On the other hand, the results obtained determine a product reduction of 270 kg Chucho and 350 kg TL 32% for each extruded lot generating a reduction of 87% and 84.21% in expenses. Finally, two factor designs  $2^4$  and  $2^3$  were required for both products with 2 high and low interactions in factors such as water and conditioner temperature, mixture loading speed and percentage of blade speed, to improve production, as well as the moisture percentage of the extruded product, dryer belt speed and dryer temperature. It was concluded that the critical factors affecting production in the production process are petfood and aquaculture called "TL 32%", and the factors that affect the drying of the product were analyzed, such as: moisture content of the extruded product, dryer belt speed and dryer temperature. It is recommended to study the uncontrolled factors of the experimental design that can significantly affect the obtaining of the balanced to improve the productivity in the extruded.

**Keywords:** <FACTORIAL DESIGNS> <EXTRUDER MACHINE> <PRODUCTION CONTROL> <CRITICAL FACTORS> <CHAMBO(CANTON)>.



Lic. Angela Cecibel Moreno Novillo  
0602603938

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años en el Ecuador se ha registrado un desarrollo considerable dentro del sector alimenticio, pues posee una relación directa con la demanda de crecimiento poblacional anual del 1,539% (Grupo Banco Mundial, 2021), datos que además generan un aporte económico al país y por ende fomentan el desarrollo de las industrias de producción de alimentos.

Dentro del sector productivo relacionado a la alimentación se deriva el segmento de las industrias alimenticias de balanceado para animales domésticos como perros, gatos y peces de consumo como truchas y tilapias, empresas que por su alto compromiso por velar por las necesidades de salubridad deben cumplir con una inocuidad alimenticia de calidad.

Para el logro de la calidad en la inocuidad alimentaria, existe la norma ISO 22000 referente al sistema de gestión de seguridad alimentaria, que evidencia la necesidad de establecer un adecuado control en el proceso de producción y la calidad de los balanceados, siendo unos de las tareas principales la extrusión del producto, la misma que se realiza por medio de una máquina denominada extrusora, la cual, es controlada por uno o varios operarios según la dimensión y la tecnología que contenga (Organización Internacional de la Estandarización, 2018).

En la provincia de Chimborazo, específicamente en la ciudad de Chambo se constituye la empresa Exibal, que dentro de sus actividades productivas realiza procesamientos de diferentes harinas y materias primas para la elaboración de balanceado para la línea petfood (perros y gatos) y la línea acuícola (truchas y tilapias). Dentro de sus instalaciones cuenta con diferentes maquinarias y equipos de vanguardia que permite el desarrollo productivo para el cumplimiento de las expectativas de los clientes.

Dentro de la maquinaria más importantes y semiautomatizada se encuentra la conocida como Extrusora, donde, el operario ingresa parámetros para su correcto funcionamiento modificando factores entre los que destacan el porcentaje de agua, la velocidad de corte, de carga de masa. Dentro de la misma, los diseños experimentales y factoriales constituyen herramientas fundamentales para trabajar con los parámetros correctos garantizando la productividad y calidad del balanceado extruido, certificando la inocuidad de alimentos brindando seguridad y confianza al consumidor.

La inocuidad alimenticia en el caso de los balanceados comúnmente ocurre por el exceso de humedad, pues esta condición produce patógenos o microorganismos productores de toxinas que causan enfermedades de origen alimentario (US Department of Health and Human Services, 2017).

Esta particularidad puede verse generada por el deficiente control de la máquina extrusora y la emisión de instrucciones erróneas sobre su funcionamiento, pues su mal funcionamiento proporciona una producción del balanceado con escasos estándares de calidad, minimizando así la productividad, provocando pérdidas de materia prima, además del incumplimiento de garantías técnicas como la humedad y consistencia.

Particulares que generan reprocesos y aumento de gastos de producción, por lo que resulta necesario establecer diseños experimentales que determinen parámetros de funcionamiento correctos para asegurar la productividad y que el balanceado cumpla con la inocuidad alimenticia.

Las áreas de trabajo en la planta de Chambo son: área de almacenamiento de aceites, área de mantenimiento, área de calderos, área de departamento de calidad, área de bodegas de materia primas, área de aditivos, área de almacenamiento de producto terminado, área de empaque, área de máquinas (mezcladora, micro pulverizadora, secadora), área de dosificación de tolvas, área de producción, área de cuarentena, área de rociador de aceites, área de enfriamiento, área de molinos, área de trituración, área de secado de productos para reprocesos, área de zarandas, áreas de tolvas.

En la Empresa Exibal su producción diaria está dirigida en función de la demanda de sus productos a nivel provincial, si de un producto como ejemplo de la línea petfood el balanceado croketon que es un balanceado premium para cachorros no tiene una buena demanda, se mantiene un stock de este en almacenamiento para cuando se requiera del producto y se enfocan a la producción de los balanceados con mayor demanda o más representativos para la empresa.

A través de un estudio preliminar se ha determinado que existe problemas en la producción los cuales son la variabilidad en la humedad del balanceado, aumento de producto balanceado en las bodegas de reproceso y cuarentena, se propone implementar diseños experimentales para dar soluciones y aumentar la productividad en la línea de producción y la calidad en el producto acabado.

## **CAPITULO I**

### **1.1 Antecedentes**

Los diseños experimentales consisten en la modificación de una variable independiente y verificar su incidencia sobre una variable dependiente, actividad que se realiza para determinar qué factores o variables son de mayor afectación en un proceso, como en el caso de fabricación de un producto comestible, donde se podrá cambiar su color, olor, tamaño y demás características que propendan la aceptación de los consumidores.

Debido a los limitados antecedentes referentes a la parametrización, se establecerán como guías aquellos trabajos de titulación referidos al diseño experimental, como se mencionan a continuación:

En la investigación realizada por Sánchez y Rea en el año 2018, que tuvo como objetivo aplicar diseños experimentales factoriales para la optimización de las condiciones de operación de las máquinas inyectoras (WT02, WT05) en la planta de plástico de la empresa Plasticaucho Industrial S.A. Se aplicó el diseño factorial  $3^2$  para determinar las mejores condiciones de operación, demostrando a través de la tabla Anova y el diagrama de Pareto que los factores con más incidencia era la velocidad y la presión, y con otras herramientas de diseño se determinan los niveles óptimos para el proceso teniendo como resultado una producción con menos porcentaje de defectos con 1,93% menos para la máquina WT-05 y un 3,52% menos para la WT-02 (Rea, y Sánchez, 2018).

Por su parte, Henry Remuzgo en el 2018, establece un diseño experimental realizado en una planta eGlass con la finalidad de aplicarlo al proceso de curvado de vidrio para aumentar la productividad en la fabricación de parabrisas, estableciendo continuamente un seguimiento y control estadístico obteniendo como resultado que el factor del voltaje incidía sobre los niveles de defectos que tenían en el curvado del parabrisas, se establecieron por tanto rangos específicos respecto a los valores promedios establecidos por la empresa y al verificar los nuevos parámetros se evidenció una disminución radical de los defectos mensuales en un 9%. Demostrando la efectividad de la aplicación de la solución propuesta por el diseño factorial con una mejora de la productividad de 1,559 a 2,107 piezas / Hombre-H promedio (Remuzgo, 2018).

En la actualidad los diseños experimentales pueden ser aplicados en diferentes ramas de ingeniería, como en la industrial, como lo determinan Sánchez y Rea, puesto que aporta en la

mejora productiva mediante la propuesta de factores que influyen en la calidad y eficacia de los procesos.

## **1.2 Planteamiento del problema**

En la producción de balanceados EXIBAL existen varias deficiencias en la producción de croquetas para perro adulto de diferentes razas, donde el producto final presenta humedad excesiva superior a los rangos establecidos por el departamento de calidad de la empresa, sean 8,9% -9,3%, a través de pruebas para evaluar dicho factor, realizado en la termobalanza se registraron valores que superan los límites, en 10% a 11%. Particular que se presenta por los parámetros de operación inadecuados que delimitan el correcto funcionamiento de la máquina extrusora (Ver Anexo A).

Por su parte, el balanceado para tilapia para el ciclo de crecimiento denominado “TL 32%”, presenta una situación similar en el que hay que controlar la humedad alta para garantizar la flotabilidad del producto, los rangos establecidos para este producto son de 9,2% -10%, de igual forma por medio de la termobalanza los valores obtenidos fueron inferiores y superiores hasta del 2%. Además, el balanceado para peces necesita un diámetro de 4 mm y una flotabilidad de 5 minutos para que pueda ser consumido, estableciendo en su medición y pruebas de flotabilidad un diámetro no uniforme y una flotabilidad menor a la establecida.

Su incumplimiento acarrea una producción ineficiente, lo que genera reprocesos y con ello también desperdicio de materias primas, pérdida de tiempo, aumento de material en cuarentena, y retrasos de hasta 24 horas en la producción de lotes de otros productos ocasionando mayores gastos económicos.

Por lo expuesto, se requiere un estudio que permita mitigar los problemas de producción descritos sobre todo en aquellos que presentan mayor afectación a la productividad, con la utilización de los diseños experimentales capaces de determinar parámetros de funcionamiento adecuados en las instrucciones de la maquinaria, procesos y condiciones.

## **1.3 Justificación del proyecto**

El presente proyecto establece su necesidad en la demostración de las aplicaciones de los métodos y diseños experimentales a los procesos productivos, para la generación de posibles soluciones a los factores que inciden en la calidad de los productos y en particular a los balanceados para la

alimentación de animales domésticos y crianza de peces de consumo humano, siendo imprescindible contar con un alto grado de inocuidad.

Balanceados EXIBAL cumple en la actualidad con la norma ISO 22000-2018, sistema de gestión de seguridad alimentaria. Por tanto, la empresa asegura la inocuidad de los alimentos. Estableciendo la necesidad de contrarrestar los problemas presentados en el proceso de extrusión, los cuales deberán ser debidamente analizados para así establecer parámetros de funcionamiento correctos para la máquina extrusora y garantizar de esta manera la calidad de los productos.

La empresa EXIBAL por ser un referente en la línea de productos de balanceados a nivel provincial, requiere que sus actividades productivas sean eficientes y efectivas. Sin embargo, en la actualidad se evidencian varias falencias, principalmente por la inexistencia de parámetros específicos para cada producto en el proceso de extrusión y secado, debido a esta particularidad se evidencia el aumento de desperdicio de materia prima, reprocesos, acumulación del producto final que posteriormente se descompone, acarreando pérdida de tiempo y recursos.

### **1.3.1 *Justificación práctica***

La “Parametrización del proceso de extrusión en la fabricación petfood y acuícola a través de diseños experimentales para el mejoramiento de la productividad en la empresa EXIBAL planta Chambo” pretende mejorar la calidad del producto desde sus procesos de entrada hasta la línea final de envasado garantizando la inocuidad de los alimentos, evitando los reprocesos y pérdida de recursos, estableciendo la disminución de gastos de producción consolidándose como un aporte para el crecimiento empresarial.

### **1.3.2 *Justificación metodológica***

La investigación establece el trabajar con parámetros ajustados en la máquina extrusora, para de esta manera delimitar rangos que mantengan la inocuidad de los alimentos evitando factores inconsistentes que minimizan la calidad del producto y así optimizar los recursos empresariales a través de diseños experimentales.

## **1.4 *Objetivo general***

Parametrizar el proceso de extrusión en la fabricación petfood y acuícola a través de diseños experimentales para el mejoramiento de la productividad en la empresa EXIBAL planta Chambo.

#### **1.4.1    Objetivos específicos**

- Determinar los factores críticos que afectan la producción en el proceso de extrusión para la obtención de *petfood* denominado *chucho* y el acuícola denominado TL 32%.
- Diseñar el modelo experimental a partir del análisis y estandarización de parámetros de control en la máquina extrusora para el producto *petfood* denominado *chucho* y producto acuícola denominado TL 32%.
- Ejecutar el modelo experimental con base en la aplicación de los principios que rigen las etapas de la experimentación para obtener resultados eficientes en el menor tiempo posible
- Comparar los resultados de la experimentación haciendo uso de herramientas estadísticas para definir las condiciones de parametrización óptima de operación del equipo y el proceso

#### **1.5       Alcance**

- Se determinarán los parámetros óptimos para la extrusión del balanceado *petfood* “CHUCHO” y “ACUARIO TL 32%”.
- Presentar una solución a la variabilidad del porcentaje de humedad y forma del extruido del balanceado.
- Se mejorará la calidad de los balanceados extruidos en el proceso de producción de *petfood* y acuícola.
- Se reducirá el nivel de desperdicios y reprocesos en el proceso de extruidos, conjuntos con esto disminuirá el material en cuarentena y aumentará la productividad.

## **CAPITULO II**

### **2 Marco teórico**

#### **2.1 Estado del arte**

El estado del arte se determina por medio de la indagación de varios datos establecidos por investigaciones de años anteriores, donde especifican como principal objetivo el realizar diseños experimentales con la finalidad de mejorar el proceso productivo de las empresas en estudio, estableciendo de esta manera las siguientes:

En el trabajo realizado por Clavijo y Rodríguez en el año 2016, diseñan un nuevo modelo robusto de producción sobre el proceso para la obtención de harina de sangre de Alconpo. Para lo cual, realizan un diagnóstico inicial de los sistemas de medición, que denota ser no aceptable y requiere de mejoras. Además, se detecta que el proceso de secado flash no cuenta con una estandarización por el operador que utiliza rangos que varían excesivamente generando un producto con tan solo el 26% de calidad provocado principalmente por la humedad. Se establece un plan donde se seleccionan los factores y niveles de rotación del tornillo dosificador y el rango de temperatura en la cámara de secado, utilizando un diseño factorial  $2^2$ . Con la validación del experimento se puede apreciar que la temperatura oscila los 160 °C, un 29% de rotación y una humedad del 97%. Con esta parametrización en los primeros cuatro días operativos se logra un aumento de 0,4% sobre el rendimiento de la materia prima (Clavijo, y Rodríguez, 2016).

Por su parte, Macías en el año 2015 establece como base de su trabajo la aplicación de un diseño experimental para la producción de alcohol etílico basado en la melaza de la caña de azúcar en procesos artesanales en la ciudad de Manta. Donde se obtuvo un alcohol etílico en la melaza de caña de azúcar de tres fuentes de nitrógeno, siendo la de mayor relevancia el Sulfato de Amonio, a posterior Urea y el Nitrato de Amonio en menor cantidad. En la investigación se utilizó un diseño factorial del cuadrado latino de 3 x 3, comparando la concentración de solidos solubles (°Brix) con la temperatura de fermentación (ambos factores perturbadores controlables) y los nutrientes. Con todas las variables se determina que el rendimiento del alcohol etílico depende directamente del tipo de nutrientes y las condiciones de °Brix y sin mayor inferencia con respecto a la temperatura (Macías, 2015).

Dentro de la investigación propuesta por Juan Malo en el año 2017, establece una propuesta con la finalidad de disminuir la merma que se produce en el proceso de pasteurización de la cerveza por medio de diseños experimentales. Para ello se seleccionaron tres factores de temperatura y se plantaron tres variables de respuesta como el porcentaje de merma por corrida, los costos y la tasa de inactivación de los microorganismos. Con el uso del diseño central compuesto (CCD), el

diseño factorial de  $2^3$  y usando Minitab se realizó el análisis estadístico. Con todos los valores obtenidos y la función de deseabilidad se dio robustez a los modelos presentados estableciendo coeficientes de determinación mayores al 85%. Resultados que denotan la reducción de la merma en un 4,35% como los costos por corrida de 44,84% además de cuantificar la situación actual real de la empresa mediante la aplicación de dicho método experimental (Malo, 2017).

Por su parte, Marlon Zurita en el año 2018, establece la aplicación del control estadístico por procesos y el diseño de experimentos para precisar condiciones óptimas sobre la producción de tableros con chapados de la empresa ARBORIENTE S.A. de la ciudad del Puyo. Para ello se estableció un diagnóstico del productivo actual con herramientas como el Diagrama Brainstorming, Ishikawa, Pareto. Con la selección de los factores se establece la necesidad de diseñar un proceso factorial de  $2^3$  (Materia prima, Operario y Profundidad de corte), Así también se utilizó la variante con  $2^4$  que además de los tres factores mencionados se analizó el turno. Con el desarrollo de las condiciones necesarias para una operación eficiente en el desenrollado de latas, se requirió la generación de láminas de intermedio con todos los requerimientos y especificaciones de producción, lo que produjo un mejoramiento en cuanto a la calidad del producto como la reducción del grado industrial del tablero a 9,5% incrementando de esta manera las ventas en el período de estudio en un 2,37% (Zurita, 2018).

En la investigación de Rafael Bello en el año 2019 propone realizar un estudio que permita la optimización de los procesos de trabajo en las industrias manufactureras. Para ello, considera un caso de estudio enfocado en la reducción de inventarios. Para lo cual se aplicaron 3 metodologías específicas sea la filosofía *Lean Manufacturing*, el diseño factorial con niveles mixtos y escenarios de simulación. Además, para el análisis estadístico y de la varianza se utilizó el software MINITAB. Con la aplicación de todos los elementos descritos se estableció un modelo para el logro de la optimización de los trabajos y que mediante la simulación realizada se consigue una reducción del inventario y por ende del costo del trabajo en proceso y el de la producción total, determinado una reducción del tiempo de prensa de 48 minutos y 7 minutos para la inspección (Bello, 2019).

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 *Proceso de extrusión***

La extrusión es una técnica tecnológica que tiene como finalidad dar forma por medio de la cocción y mezcla a altas temperaturas restringiendo o forzando el paso o fuerza de una sustancia plástica o cualquier material por un orificio que se regulará de acuerdo con la necesidad específica

en ciertas geometrías. Proceso que permitirá la versatilidad en las combinaciones de productos permitiendo así la obtención de varias líneas productivas (Murillo, 2020).

- **Extrusión de alimentos**

Su proceso consiste en transportar la mezcla de ingredientes por un tornillo para ser sometidos a temperaturas variantes (frío o calor) según la forma del producto que se requiera se filtrará por una abertura que derivará en el producto final. Para obtener una simetría en su forma dependerá de factores adicionales como la velocidad de transporte, la temperatura suministrada, y la humedad, determinado no solo la forma sino también las propiedades nutricionales o digestiva del alimento (Delgado, y otros, 2020).

### **2.2.2 Experimentación**

Dentro de la investigación científica existe un elemento clave que permite la búsqueda del conocimiento para establecer soluciones a problemas diferenciados procurando la explicación a ciertas causas que se presentan frente a un fenómeno, conocido como la experimentación (Puente, y otros, 2015).

La experimentación representa un procedimiento que promueve la comprobación de hipótesis, en la ocurrencia de un determinado fenómeno en el cual intervienen distintas variables y desde esta perspectiva el diseño de un experimento se basará en la indagación de aquellos factores que influyen directamente con el desenvolvimiento de las variables de estudio (Puente, y otros, 2015).

#### **2.2.2.1 Diseños experimentales**

Los diseños experimentales representan técnicas estadísticas que permiten la identificación y la cuantificación de aquellas causas y efectos dentro de un estudio experimental pudiendo manipularse de manera deliberada una o más variables de estudio de acuerdo con sus causas (Gabriel, y otros, 2017).

La finalidad es evaluar el efecto o relación a entre variables de interés. Esto delimita el diseño experimental como un proceso ordenado donde describan las variables que se podrán manipular y de qué forma, además de definir cuantas veces el experimento puede repetirse y en qué orden promoviendo establecer confianza en la relación causa-efecto. Motivos por los cuales, estos

diseños encuentran su aplicación en varias áreas como la industria, la mercadotecnia, la agricultura, medicina, etc. (Gabriel, y otros, 2017).

Los diseños de experimentos pueden analizarse por medio de la complejidad que presenta el problema, esta particularidad permite el desarrollo de una clasificación de los mismos, pudiendo determinarlos de la siguiente manera: diseño factorial, diseño fraccionario y el diseño establecido por mezclas (Puente, y otros, 2015).

#### 2.2.2.2 *Diseño factorial*

El diseño experimental con características factoriales se establece de acuerdo a las combinaciones comparativas de los diferentes niveles existentes en los tratamientos que hacen referencia a la selección, combinación y niveles de aquellos factores que se requiere para el desarrollo del diseño experimental. Por ello, se deben seleccionar los tratamientos inclusive con mayor relevancia que el mismo diseño. A pesar de que ambos deben constituirse como un complemento armónico para una planeación asertiva que establezca un experimento controlado (Melo, y otros, 2020).

- Selección de factores y niveles

La investigación experimental tiene como finalidad analizar y observar el comportamiento de ciertas condiciones impuestas (factores) que pueden inferir sobre la forma de comportarse en variables significativas. Por tanto, los factores corresponden a cada una de las variables independientes y que de las mismas se pretende evaluar sus efectos, de ahí que se ha de denominar un experimento simple si existe un solo factor y con dos o más diseño factorial (López, y otros, 2016).

Los niveles por su parte se establecen como aquellas alternativas dispuestas al factor, por ejemplo, si se pretende estudiar una frecuencia relacionado al tiempo, los niveles estarían representados por 8, 10, 12 o 14 días (López, y otros, 2016).

- Análisis R&R

Conocido como estudio Gauge R&R, el cual tiene como finalidad la de comprender las fuentes de variabilidad que pueden presentarse en un proceso de medición, el cual constituye la base de la operatividad de los procesos su valoración de desempeño, la compensación de la variabilidad presente, control de la calidad y el retiro de productos que presentan defectos, en particular se relaciona en procesos de la industria manufacturera (Castañeda, y otros, 2021).

- Diagrama de Ishikawa

Constituye una herramienta de análisis sencilla que por su connotación de interrelación de causa y efecto permite la generación de acciones que propendan la mitigación de un problema, mejora de procesos o el manejo de los recursos dentro de una organización. Su estructura además permite examinar aquellos elementos relacionados de manera directa con la calidad de los productos o servicios pudiendo así delimitar aquellas causas de dispersión (Burgasí, y otros, 2021).

- Diagrama de Pareto

Conocido también como la regla del 80-20, esta técnica se enfoca a identificar el cambio o proceso de mejora que resulte efectivo a un problema determinado. Se basa en un principio que establece que el 20% de los defectos pueden afectar al 80% del o los procesos. El mismo establece por consiguiente la conclusión de que establecer soluciones en un 20% de los problemas presentados en los procesos, estos verán una mejora del 80% (Ovalles, y otros, 2017).

- Minitab

Minitab es un software estadístico que incluye varias herramientas para el tratamiento de datos con la finalidad de establecer tendencias, patrones, relación entre variables e interacciones entre los datos para así identificar factores que permitan solventar cualquier duda. Factores que delimitaron pronóstico empresarial que permita una toma de decisiones con un alto nivel de asertividad, además de minimizar costos innecesarios y la prevención de errores futuros (Minitab, LLC, 2021).

### **2.3 Marco legal**

Dentro del marco legal se establece el análisis de aquellas normas y leyes que intervienen en el adecuado manejo de las industrias manufactureras en el Ecuador y a nivel internacional.

- ISO 22000

La Norma internacional ISO 22000 se sustenta en el enfoque de precautelar la inocuidad de los alimentos como una estrategia administrativa y organizativa para la empresa pudiendo otorgarle los siguientes beneficios:

- Contar con una capacidad constante de alimentos y productos inocuos para establecer un servicio que satisfaga las expectativas como las necesidades del cliente sin omitir los requerimientos y reglamentos legales.
  - Tratar los riesgos presentados por medio de objetivos
  - Establecer un sistema de administración de alimentos inocuos SAIA con requerimientos especificados y que sean de conformidad con el contexto de la organización (ISO 22000: 2018, 2018).
- ISO 9001

Esta norma hace referencia a la determinación de aquellos requisitos para establecer un sistema que estipule la gestión de la calidad, el mismo permite a la organización generar decisiones estratégicas que fortalezcan el desempeño proporcionando la sostenibilidad en sus procesos, aportando de esta manera los siguientes beneficios:

- Establecer de manera regular productos y servicios que satisfagan las necesidades del cliente cumpliendo con la normativa legal y reglamentos establecidos.
- Brindar alternativas que presentan oportunidades para aumentar el nivel de satisfacción del cliente
- Intervenir en riesgos y oportunidades presentadas en el contexto y en lo objetivos empresariales
- Determinar el grado de conformidad presentes en los requisitos especificados por el sistema de gestión de la calidad (ISO 9001, 2015).

## **CAPITULO III**

### **3 METODOLOGÍA**

#### **3.1 Tipo de estudio**

La presente investigación representa un estudio de tipo técnico puesto que se desarrolló en la empresa Exibal para determinar los parámetros del proceso de extrusión en la fabricación Petfood y acuícola con la finalidad de establecer una propuesta tecnológica que incluye la aplicación de diseños experimentales que permitieron el mejoramiento de la productividad.

#### **3.2 Tipo de investigación**

##### **3.2.1 *Investigación aplicada***

La investigación es de tipo aplicada desde un nivel técnico puesto que por medio de la recopilación de datos y los resultados obtenidos desde un nivel práctico se establecerán parámetros para el proceso de extrusión en la fabricación Petfood y acuícola por medio de diseños experimentales para dar solución a los desperdicios que se presentan y así mejorar la productividad de la empresa Exibal.

##### **3.2.2 *Investigación descriptiva***

Dentro de los resultados obtenidos se requiere de su descripción para el entendimiento de los datos recopilados para ser analizados y debidamente procesados para establecer las variables respuesta que se requieren estudiar. Con esta particularidad se establecieron los parámetros necesarios para el desarrollo de los diseños experimentales.

#### **3.3 Diseño de la investigación**

El diseño es experimental puesto que se manipularán varias variables por medio de los diseños experimentales propuestos con la finalidad de establecer parámetros que se ajusten al entorno del proceso de extrusión de los productos Petfood y acuícola de la empresa Exibal. Permitiendo de esta manera determinar la relación que existe entre la parametrización de la máquina extrusora con aplicación de diseños factoriales y la mejora de la productividad.

### 3.4 Enfoque de la investigación

El enfoque de la investigación es meramente cuantitativo puesto que se trabajaron con datos numéricos desde la recopilación de la información hasta el diseño, desarrollo y aplicación de los diseños experimentales que fueron aplicados a la máquina extrusora para la mejora de la productividad de los productos Petfood y acuícola de la empresa Exibal

### 3.5 Recolección de datos

Para la recolección de datos se utilizó la observación directa y registros de control del departamento de calidad y de producción, además de fichas de liberación, control de humedad y densidad.

Cada uno de los datos levantados poseen varias magnitudes, las cuales permiten que la información que se recopila tenga un adecuado sustento, como se especifica en la siguiente tabla.

**Tabla 1-3:** Forma de toma de datos

% AGUA DEL ACONDICIONADOR	% de litro/minuto de 6 litros de agua
TEMPERATURA DEL ACONDICIONADOR	Grados Celsius
% CARGA DE LA MEZCLA	% en función de las revoluciones del eje de la extrusora (1 785 rpm)
% VELOCIDAD DE LAS CUCHILLAS	% en función de la revolución del motor (2 800 rpm)
HUMEDAD DEL PRODUCTO EXTRUIDO	% humedad del ambiente/ $m^3$
VELOCIDAD DE LA BANDA DEL SECADOR (UP)	% en función de la revolución del motor (3 360 rpm)
TEMPERATURA DEL SECADOR	Grados Celsius

Fuente: Empresa EXIBAL

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2021.

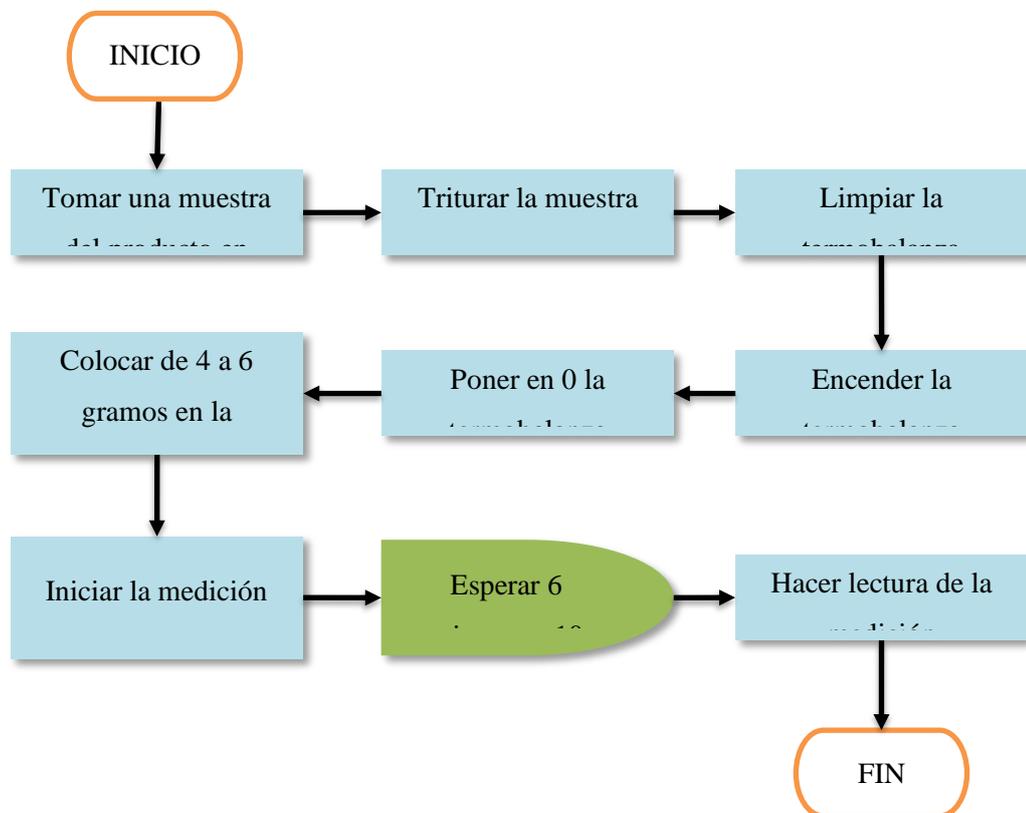
#### 3.5.1 Procedimientos

Dentro de las mediciones se requieren de actividades ordenadas para que los datos tengan la mayor veracidad posible que favorezcan al resultado final. Para ello se establecen los siguientes procedimientos

### 3.5.1.1 Proceso de medición de humedad

1. Se procede tomar una muestra del producto en estudio
2. Se tritura la muestra (Ver Anexo B)
3. Se limpia la termobalanza,
4. Se enciende la termobalanza
5. Se coloca en 0 la termobalanza
6. Con una muestra de 4 a 6 gramos de producto triturado se coloca en la termobalanza
7. Se inicia la medición
8. Luego de 6 minutos y 10 segundos se refleja el resultado en la pantalla digital de la termobalanza
9. Se hace la lectura de la medición

- Diagrama de flujo del proceso de medición de humedades



**Ilustración 1-3:** Diagrama de flujo del proceso de medición de humedades

Fuente: Empresa EXIBAL

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2021.

### 3.5.2 *Instrumento de recolección de datos*

Existen varios instrumentos que permiten la obtención de los datos, entre ellos se destacan los siguientes:

#### 3.5.2.1 *Termobalanza*

La termobalanza Mettler Toledo HE53/03 permitirá determinar la humedad de cada muestra en un tiempo promedio de entre 6 minutos y 10 segundos.



**Ilustración 2-3:** Termobalanza Mettler Toledo HE53/03

Fuente: Empresa EXIBAL

## 3.6 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN

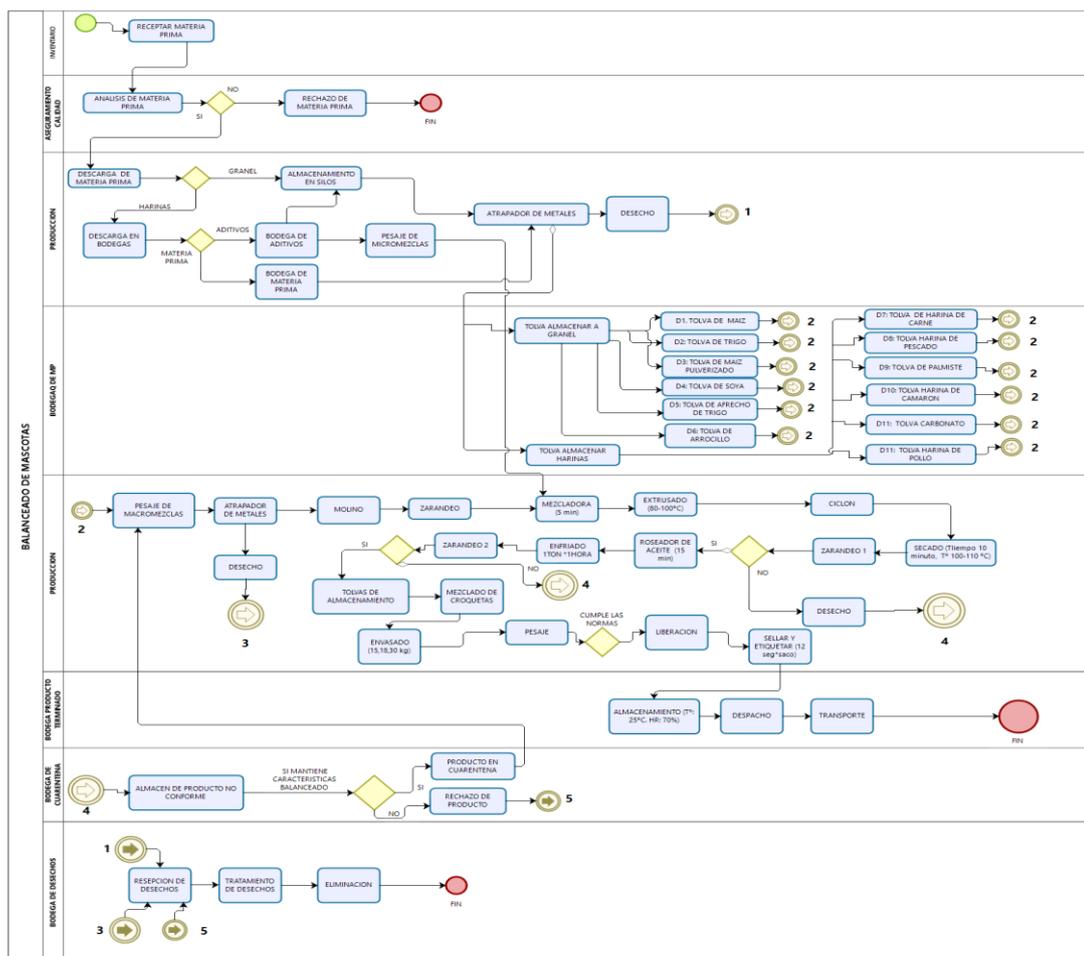
El proceso de producción de la planta Chambo comienza en la recepción de la materia prima, donde se procede a realizar un análisis de calidad, en caso de aprobarse sigue al descargue de la materia prima, para granel (maíz, trigo, soya, afrecho de trigo, arrocillo) se almacenará en silos, y para harinas se descargan en las bodegas de almacenamiento, clasificándose en aditivos y harinas (carne, pescado, palmiste, camarón, pollo). Toda materia prima pasa por el atrapador de metales.

De la bodega de materia prima pasa por el atrapador de metales y continua al pesaje de macromezclas que a posterior pasa por un segundo detector de metales antes de llegar a la mezcla en el molino, donde se realiza el zarandeo y en la mezcladora se unirán los aditivos que han pasado posterior al pesaje de la micromezcla.

El proceso siguiente se refiere al de extrusión y a continuación el producto pasa por el ciclón que lleva el producto extruido a la secadora por 10 minutos para ser enviado a través de elevadores a la zaranda 1 donde a posterior pasa por la rociadora de aceite durante 15 minutos, para a continuación enfriar el producto con aire seco en una máquina con capacidad de 1 ton/hora y así ser enviando a la zaranda 2 donde se procede a dejar el producto listo para ser ingresado a la tolva de almacenamiento.

A continuación, si se refiere de la obtención de un balanceado para mascotas se realiza el proceso de mezclado de croquetas caso contrario se pasa al envasado y pesaje, se hace una última revisión de calidad antes del etiquetaje y sellado del empaque.

El producto final empacado se almacena a una temperatura de 25 grados Celsius y una humedad relativa del 70% donde aguarda para su despacho y transporte según la demanda del producto.



**Ilustración 3-3:** Proceso de extrusión

Fuente: Empresa EXIBAL

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2021

### 3.7 Herramientas de calidad para validación de datos

La propuesta tecnológica se desarrolla mediante varios fundamentos teóricos establecidos en el capítulo anterior. Dentro de los cuales, se han llevado a la práctica varias técnicas organizadas de la siguiente: análisis R&R, diagrama de Ishikawa, diagrama de Pareto para así determinar las variables que determinarían los factores necesarios para establecer el diseño factorial más idóneo.

#### 3.7.1 Análisis R&R

El estudio del análisis R&R establece una perspectiva de repetibilidad y reproducibilidad de datos obtenidos en la termobalanza, para ello se ha seleccionado uno de los empaques de 30 kg de los productos terminados de la empresa EXIBAL.

El empaque de 30kg seleccionado fue de balanceado del producto “chucho” que fue distribuido en 10 muestras diferentes y empacadas en fundas Ziploc donde se establecieron 2 mediciones para 2 operarios.

Posteriormente en la termobalanza se colocaron 3,5 gramos de cada muestra debidamente pulverizada para así establecer pruebas de humedad que en total resultarían en la obtención de 40 datos.

##### 3.7.1.1 Aleatorización de muestras

El primer paso para el análisis R&R es la aleatorización del orden de las muestras de cada operario para la obtención de las humedades, el cual se efectúa en minitab, proceso que se observa en la siguiente tabla:

**Tabla 2-3:** Aleatorización de las corridas para datos de humedad

Operador	Orden	Replica
1	3	1
1	1	1
1	5	1
1	9	1
1	4	1
1	10	1

1	7	1
1	6	1
1	2	1
1	8	1
2	3	1
2	7	1
2	1	1
2	2	1
2	8	1
2	4	1
2	5	1
2	6	1
2	9	1
2	10	1
1	5	2
1	6	2
1	2	2
1	3	2
1	9	2
1	8	2
1	4	2
1	7	2
1	1	2
1	10	2
2	6	2
2	10	2
2	5	2
2	9	2
2	4	2
2	7	2
2	2	2
2	1	2
2	8	2
2	3	2

**Fuente:** Programa minitab

**Realizado por:** Aguirre Y, Vega M. 2021

### 3.7.1.2 Prueba de humedad

Con el orden establecido para cada operario se realizan las pruebas de humedad en la termobalanza obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 3-3:** Resultados de las muestras de humedad

"CHUCHO" lote 32634										
	Muestr a 1	Muestr a 2	Muestr a 3	Muestr a 4	Muestr a 5	Muestr a 6	Muestr a 7	Muestr a 8	Muestr a 9	Muestr a 10
OPERADO R 1	9,50	9,20	9,27	9,11	9,40	9,34	9,25	9,64	9,80	9,50
	9,53	9,16	9,30	9,13	9,41	9,35	9,21	9,63	9,75	9,51
OPERADO R 2	9,49	9,21	9,33	9,10	9,38	9,37	9,24	9,65	9,79	9,49
	9,51	9,19	9,29	9,11	9,42	9,34	9,26	9,61	9,82	9,54

Fuente: Empresa EXIBAL

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2021

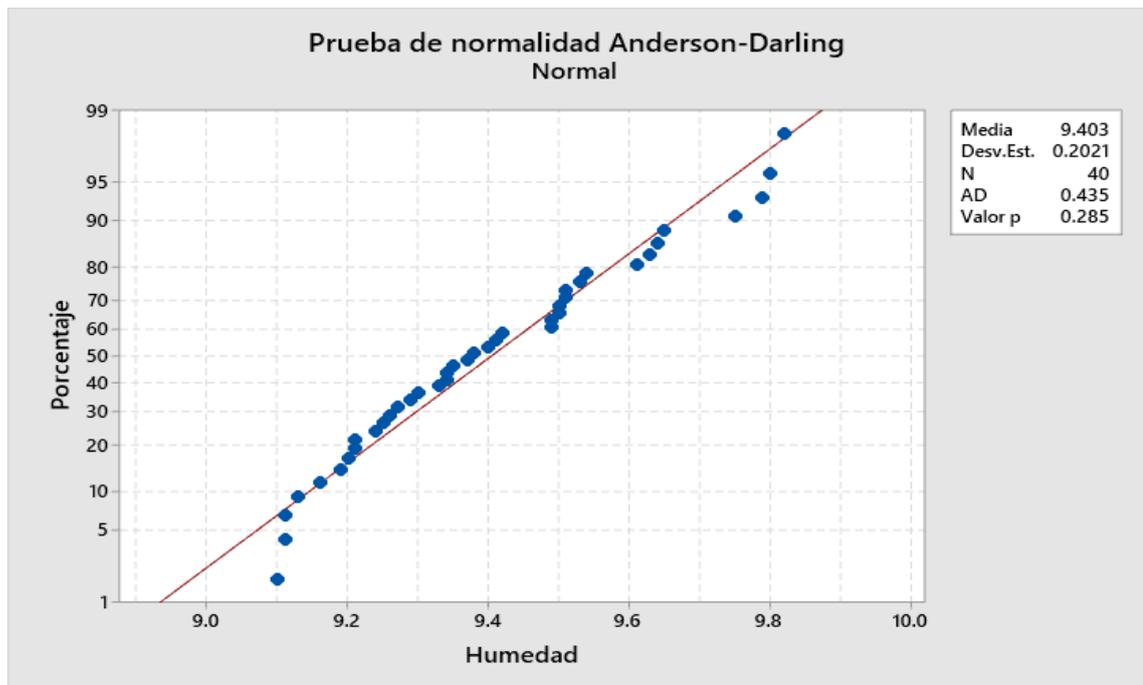
### 3.7.1.3 Prueba de normalidad

Con la verificación de los datos obtenidos se determinan que son fiables para un análisis ANOVA mediante la prueba de normalidad.

$H_0$ : Los datos siguen una distribución normal.

$H_1$ : Los datos no siguen una distribución normal.

$\alpha$ : 0,05



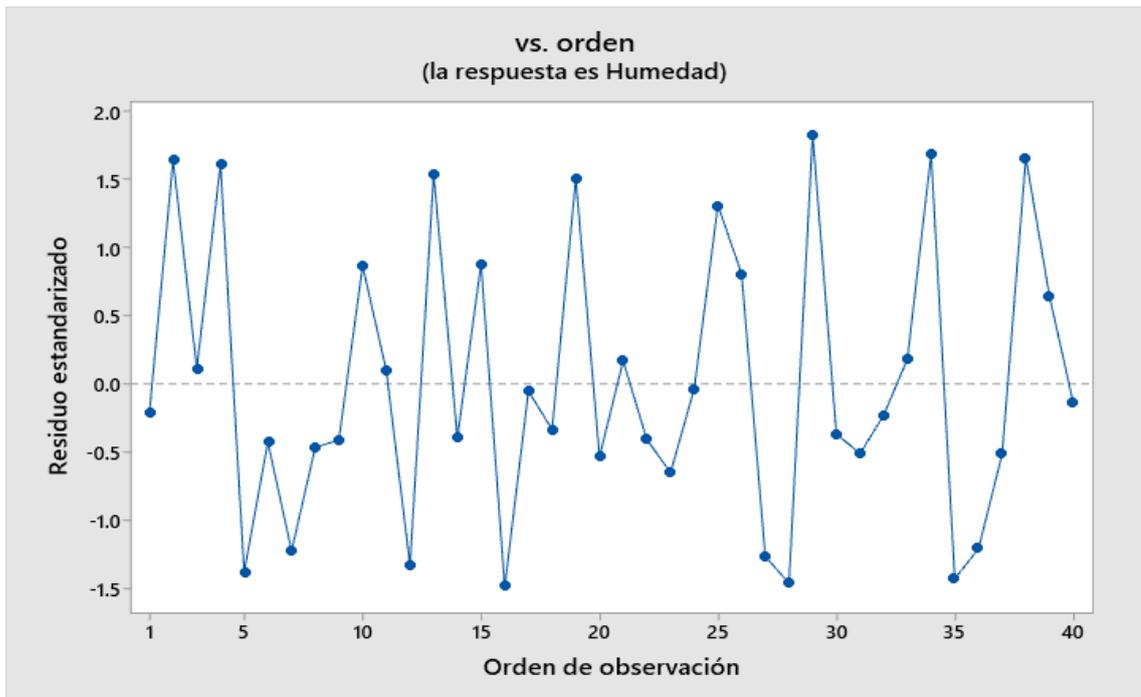
**Ilustración 4-3:** Prueba de normalidad Anderson-Darling

**Fuente:** Programa minitab

**Realizado por:** Aguirre Y, Vega M. 2021

Se evidencia que el valor P 0,285 es mayor que el intervalo de confianza (0,05) por lo que se acepta la hipótesis de trabajo que los datos siguen una distribución normal.

### 3.7.1.4 Prueba de independencia



**Ilustración 5-3:** Supuesto de independencia residuo vs orden

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2021

- **Estadístico de Durbin-Watson**

Estadístico de Durbin-Watson = 1,74210

El valor del estadístico de Durbin-Watson es del 1,74210 y está entre los rangos de 1,6 y 2,4 por lo que se concluye que no existe autocorrelación entre los residuos para los datos del % de humedad por lo cual son independientes entre sí.

Con los datos de humedad obtenidos se procedió a registrarlos en el software de minitab, donde se crea una nueva hoja de trabajo para el análisis R&R. Mediante la información suministrada el programa entrega el orden de las partes (muestras) que cada operador debe realizar para la prueba de humedad.

### 3.7.1.5 Análisis ANOVA

A continuación, se realiza el análisis ANOVA para el estudio R&R con sus respectivas interacciones:

**Tabla 4-3:** Tabla ANOVA de dos factores con interacción

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Orden	9	1,58030	0,175589	641,747	0,000
Operador	1	0,00056	0,000563	2,056	0,185
Orden * Operador	9	0,00246	0,000274	0,585	0,794
Repetibilidad	20	0,00935	0,000468		
Total	39	1,59268			

Fuente: Programa minitab

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2021

En el análisis ANOVA se evidencia una significancia mayor a 0,05 en el operador concluyendo que se evidencia fallas en el procedimiento con respecto a la toma de la humedad.

**Tabla 5-3:** Evaluación del sistema de medición**Componentes de la varianza**

Fuente	CompVar	%Contribución (de CompVar)
Gage R&R total	0,0004151	0,94
Repetibilidad	0,0004073	0,92
Reproducibilidad	0,0000078	0,02
Operador	0,0000078	0,02
Parte a parte	0,0437955	99,06
Variación total	0,0442105	100,00

Fuente: Programa minitab

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2021

Componentes de la varianza indica que el parte a parte es del 99,06 % el cual indica que el proceso de medición tiene la capacidad de diferencias entre cada una las partes (orden).

**Tabla 6-3:** Evaluación del sistema de medición

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. estudio (6 × DE)	%Var. (%VE)
Gage R&R total	0,020374	0,12224	9,69
Repetibilidad	0,020182	0,12109	9,60
Reproducibilidad	0,002785	0,01671	1,32
Operador	0,002785	0,01671	1,32

Parte a parte	0,209274	1,25564	99,53
Variación total	0,210263	1,26158	100,00

Fuente: Programa minitab

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2021

En el análisis R&R se obtiene un resultado de 9,69% en %VE en Gage R&R total, al ser menor al 10% se establece un sistema de medición correcto, sin presencia de fallos en el equipo o errores de operarios determinando la confiabilidad de los datos. Si se encontrase por otra parte en el rango del 10% al 30% se acepta condicionalmente, pero si es mayor al 30% se deberán realizar correcciones, analizar el calibrado, evidenciar fallas del equipo y si el operario cuenta con una adecuada capacitación sobre el uso del mismo.

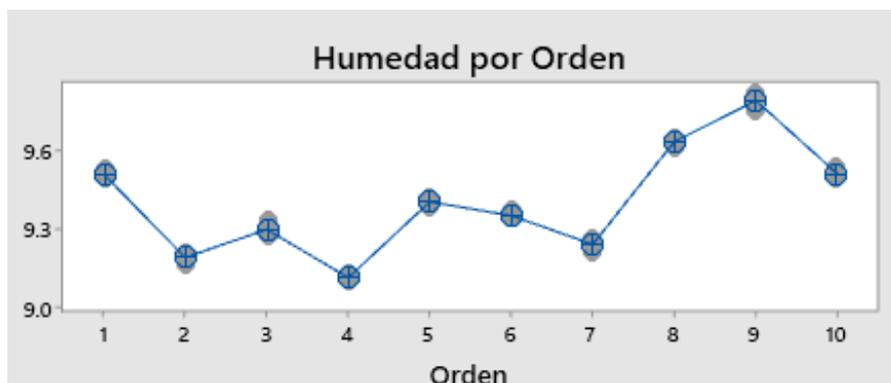


**Ilustración 6-3:** Gráfico R por operador

Fuente: Programa minitab

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2021

La grafica muestra que las muestras y los operarios se encuentran dentro de los rangos de control permitidos, es decir, no se evidencian inconsistencias en la utilización del sistema de medición, por lo que tienen una mínima variación al repetir sus mediciones.

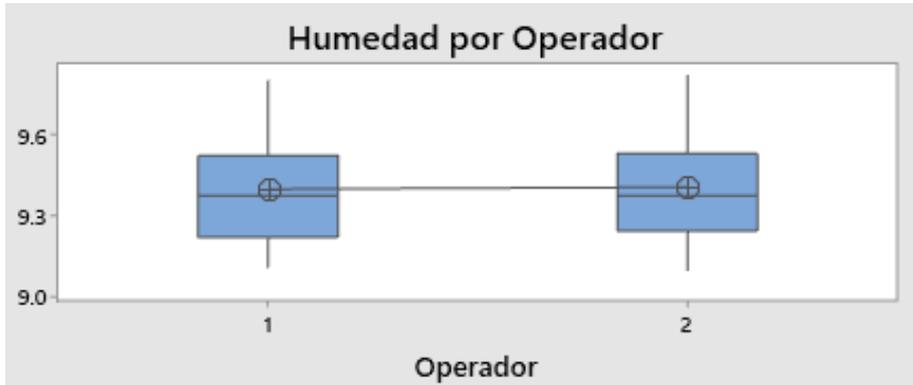


**Ilustración 7-3:** Medición de humedad por orden

Fuente: Programa minitab

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2021

Dentro de la variable respuesta humedad de acuerdo al orden de las mediciones no existe una diferencia significativa pues cada punto se encuentra cercano entre sí, lo que representa que los operarios realizaron sus mediciones de manera adecuada.



**Ilustración 8-3:** Mediciones de humedad por operador

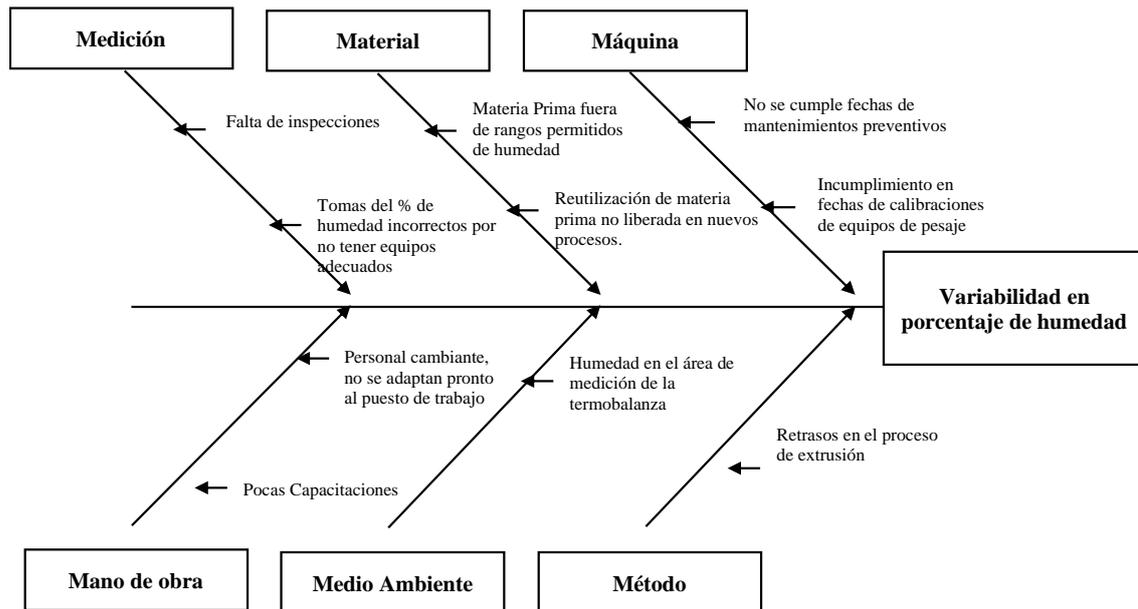
**Fuente:** Programa minitab

**Realizado por:** Aguirre Y, Vega M. 2021

En las mediciones de humedad por operador se observa que el promedio y las medianas de los operarios son semejantes, por lo que lo que pueden trabajar en el sistema de medición sin inconvenientes.

### 3.7.2 *Diagrama de Ishikawa*

En el diagrama de Ishikawa se expresan de forma general los problemas existentes, siendo el principal aquel relacionado con la variabilidad en el porcentaje de humedad pues se encuentra en todo el proceso de extrusión, es decir, desde la materia prima hasta el proceso de secado del balanceado.



**Ilustración 9-3:** Diagrama de Ishikawa

**Fuente:** Empresa EXIBAL

**Realizado por:** Aguirre Y, Vega M. 2021

### 3.7.3 Diagrama de Pareto

Para la realización del diagrama de Pareto se recolectó información de los problemas registrados en las hojas de control de producción y de calidad que maneja el personal encargado de los procesos productivos, estableciendo las siguientes falencias:

**Tabla 7-3:** Problemas determinados

Causa / Problema / Fenómeno	Datos recolectados
MALA PREPARACIÓN DE LA MEZCLA	4
SE ELEVA TEMPERATURA DE ACONDICIONADOR	11
INSTRUCCIÓN ERRÓNEA DE PARÁMETROS	17
NO UNIFORMIDAD DEL BALANCEADO	17
OBSTRUCCIÓN EN LA EXTRUSORA	12
OBSTRUCCIÓN EN LA BANDA DEL SECADOR	3
FALLAS EN LAS MÁQUINAS DE LA LINEA DE PRODUCCIÓN	3
EXCESO DE HUMEDAD	19
SOBRESFUERZO DE MAQUINA EXTRUSORA	5
FORMULA MAESTRA CON DEFICIENCIA	3

**Fuente:** Empresa EXIBAL

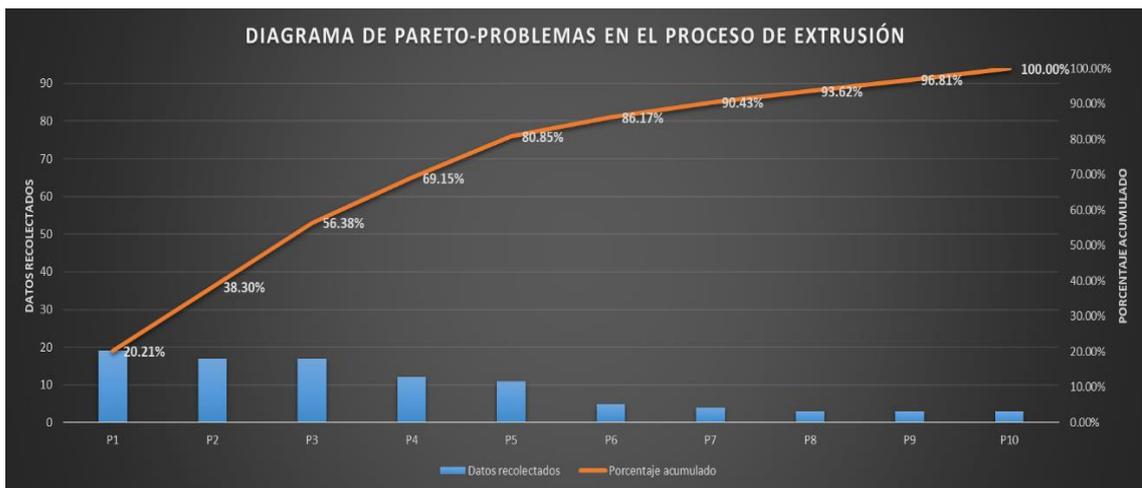
**Realizado por:** Aguirre Y, Vega M. 2021

**Tabla 8-3:** Posición real de los problemas según su frecuencia

ID en gráfico		Posición real (Causas y datos ordenados)	Frecuencia acumulada	Porcentaje	Porcentaje acumulado
P1	1	EXCESO DE HUMEDAD	19	20%	20.21%
P2	2	INSTRUCCIÓN ERRONEA DE PARÁMETROS	17	18%	38.30%
P3	3	NO UNIFORMIDAD DEL BALANCEADO	17	18%	56.38%
P4	4	OBSTRUCCIÓN EN LA EXTRUSORA	12	13%	69.15%
P5	5	SE ELEVA TEMPERATURA DE ACONDICIONADOR	11	12%	80.85%
P6	6	SOBRESFUERZO DE MAQUINA EXTRUSORA	5	5%	86.17%
P7	7	MALA PREPARACIÓN DE LA MEZCLA	4	4%	90.43%
P8	8	OBSTRUCCIÓN EN LA BANDA DEL SECADOR	3	3%	93.62%
P9	9	FALLAS EN LAS MÁQUINAS DE LA LINEA DE PRODUCCIÓN	3	3%	96.81%
P10	10	FORMULA MAESTRA CON DEFICIENCIA	3	3%	100.00%

**Fuente:** Empresa EXIBAL

**Realizado por:** Aguirre Y, Vega M. 2021



**Ilustración 10-3:** Diagrama de Pareto

**Fuente:** Empresa EXIBAL

**Realizado por:** Aguirre Y, Vega M. 2021

El diagrama establece que el 56,38% de todos los problemas del proceso de extrusión provienen de las tres primeras categorías: exceso de humedad, instrucción errónea de parámetros y la no uniformidad del balanceado. Además, más del 80% las dificultades en el proceso de extrusión se evidencian en las 5 primeras categorías (Obstrucción en la extrusora y se eleva temperatura de acondicionador).

### 3.8 Identificación de variables para el diseño factorial

La identificación de variables se estableció por medio de los resultados obtenidos en el diagrama de Pareto, en función a los problemas más representativos para el proceso de extrusión del balanceado, de cada uno de ellos se identificaron varias variables independientes y a su vez se desarrollaron las variables dependientes.

**Tabla 9-3:** Problemas más representativos

P1	1	EXCESO DE HUMEDAD
P2	2	INSTRUCCIÓN ERRONEA DE PARÁMETROS
P3	3	NO UNIFORMIDAD DEL BALANCEADO
P4	4	OBSTRUCCIÓN EN LA EXTRUSORA
P5	5	SE ELEVA TEMPERATURA DE ACONDICIONADOR

Fuente: Diagrama de Pareto

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2021

**Tabla 10-3:** Variables independientes

<b>VARIABLES INDEPENDIENTES</b>
% AGUA DEL ACONDICIONADOR
TEMPERATURA DEL ACONDICIONADOR
% CARGA DE MEZCLA
% VELOCIDAD DE CORTE DE CUCHILLAS
VELOCIDAD DE LA BANDA DEL SECADOR (UP)
TEMPERATURA DEL SECADOR

Fuente: Diagrama de Pareto

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2021

**Tabla 11-3:** Variables dependientes

<b>VARIABLES DEPENDIENTES</b>
HUMEDAD DEL PRODUCTO EXTRUIDO
FORMA DEL PRODUCTO (“CHUCHO”)
AMPERAJE DE EXTRUSORA
HUMEDAD DEL PRODUCTO LUEGO DEL SECADOR
FLOTABILIDAD (TL 32%)

Fuente: Diagrama de Pareto

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2021

### 3.9 Factores críticos para la parametrización del proceso de extrusión

Por medio del diagrama de Pareto y la determinación de variables dependientes se establecen los factores críticos para el proceso de extrusión y su variable respuesta y estas a su vez se determinarán como independientes.

Razones por las cuales, los factores a considerar para los diseños experimentales en los productos Chuco y TL 32% serán los siguientes:

**Tabla 12-3:** Factores críticos para considerar el diseño factorial

<b>FACTORES PARA EL PROCESO DE EXTRUSIÓN</b>
% AGUA DEL ACONDICIONADOR
°C TEMPERATURA DEL ACONDICIONADOR
%CARGA DE LA MEZCLA
% VELOCIDAD DE LAS CUCHILLAS
<b>FACTORES PARA EL PROCESO DE SECADO</b>
HUMEDAD DEL PRODUCTO EXTRUIDO
VELOCIDAD DE LA BANDA DEL SECADOR (UP)
TEMPERATURA DEL SECADOR

Fuente: Diagrama de Pareto y variables

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2021

### 3.10 Selección del modelo experimental para la parametrización

#### 3.10.1 Selección del diseño factorial para balanceado denominado “chucho”

“Chucho” es la croqueta para perros adultos, la cual para su parametrización se estudiará por medio de dos diseños factoriales  $2^4$  y  $2^3$ .

Para el diseño factorial  $2^4$  se establecieron 2 niveles y 4 factores, con el objetivo de obtener 2 réplicas de cada variable respuesta, expresados a continuación:

**Tabla 13-3:** Niveles y factores del diseño factorial  $2^4$  del balanceado “chucho”

		NIVELES	
		BAJO	ALTO
A	% AGUA DEL ACONDICIONADOR	16	21
B	°C TEMPERATURA DEL ACONDICIONADOR	92	95
C	% CARGA DE LA MEZCLA	36	42
D	% VELOCIDAD DE LAS CUCHILLAS	50	63

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2021

En el diseño factorial  $2^4$  su variable respuesta principal es la humedad del producto extruido, además, utilizando los mismo factores y niveles se analizarán dos variables respuesta adicionales como la forma del producto y el consumo de amperaje de la máquina extrusora.

Para el diseño factorial  $2^3$  se determinaron 2 niveles y 3 factores que se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 14-3:** Niveles y factores del diseño factorial  $2^3$  del balanceado “chucho”

		NIVELES	
		BAJO	ALTO
A	% HUMEDAD DEL PRODUCTO EXTRUIDO	17	21
B	% VELOCIDAD DE LA BANDA DEL SECADOR (UP)	38	45
C	°C TEMPERATURA DEL SECADOR	105	113

**Realizado por:** Aguirre Y, Vega M. 2021

En el diseño factorial  $2^3$  su variable respuesta será la Humedad del producto luego del secador con la cual se recolectará 2 réplicas para cada tratamiento.

### 3.10.2 Selección del diseño experimental para balanceado denominado TL 32%

TL 32% es un balanceado para peces (tilapias) utilizado para el ciclo de crecimiento y requiere para su parametrización el uso de diseños factoriales tanto  $2^4$  como  $2^3$ .

Para el diseño factorial  $2^4$  se establecieron 2 niveles y 4 factores que se expresan en la siguiente tabla:

**Tabla 15-3:** Niveles y factores del diseño factorial  $2^4$  del balanceado TL 32%

		NIVELES	
		BAJO	ALTO
A	% AGUA DEL ACONDICIONADOR	29	42
B	°C TEMPERATURA DEL ACONDICIONADOR	92	96
C	% CARGA DE LA MEZCLA	28	35
D	% VELOCIDAD DE LAS CUCHILLAS	53	82

**Realizado por:** Aguirre Y, Vega M. 2021

En el diseño factorial  $2^4$  su variable respuesta principal es la humedad del producto extruido, además, utilizando los mismo factores y niveles se analizaron dos variables respuesta adicionales como la flotabilidad del producto y el consumo de amperaje de la máquina extrusora

Por su parte para el diseño factorial  $2^3$  se encuentra representado por 2 niveles y 3 factores como se muestra en la tabla siguiente:

**Tabla 16-3:** Niveles y factores del diseño factorial 2<sup>3</sup> del balanceado TL 32%

		NIVELES	
		BAJO	ALTO
A	% HUMEDAD DEL PRODUCTO EXTRUIDO	19	26
B	% VELOCIDAD DE LA BANDA DEL SECADOR (UP)	28	35
C	°C TEMPERATURA DEL SECADOR	100	115

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2021

El diseño factorial 2<sup>3</sup> determina la variable respuesta humedad del producto luego del secado.

### 3.11 Ejecución del modelo experimental

#### 3.11.1 Procedimiento experimental producto “chucho”

Para la experimentación del diseño factorial 2<sup>4</sup> se realizan las corridas experimentales de forma no aleatoria hasta efectuar todas las combinaciones de los 4 factores en sus 2 niveles permitiendo obtener 2 réplicas con un total de 32 tratamientos, resultados que se detallan a continuación:

**Tabla 17-3:** Ejecución del diseño factorial 2<sup>4</sup> para el producto chucho

		NIVELES	
		BAJO	ALTO
A	% AGUA DEL ACONDICIONADOR	16	21
B	°C TEMPERATURA DEL ACONDICIONADOR	92	95
C	%CARGA DE LA MEZCLA	36	42
D	%VELOCIDAD DE LAS CUCHILLAS	50	63

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2021

Utilizando la fórmula de Bisgaard se procede a la obtención del tamaño de prueba para la forma del producto donde  $P_0$  es el 15% de deficiencias en el balanceado.

$$m = (2.5)^2 \left[ \frac{1-P_0}{P_0} \right]$$

$$m = 35.41 \approx 36$$

Con  $m=36$  se escoge 36 croquetas del extruido para obtener el porcentaje de cumplimiento en la forma del producto “chucho”.

Se procede aleatorizar las corridas para la obtención de las variables respuesta (% de humedad en producto extruido, forma del producto, amperaje consumido) en el programa minitab al crear una nueva hoja de trabajo el cual se obtiene la siguiente tabla:

**Tabla 18-3:** Aleatorización de las corridas del diseño factorial 2<sup>4</sup> para el producto chucho.

<b>Orden Corrida</b>	<b>Orden Est</b>	<b>% Agua Acondicionador</b>	<b>Temperatura acondicionadora (°C)</b>	<b>% Carga de mezcla</b>	<b>% Velocidad de cuchilla</b>
1	31	16	92	36	50
2	1	16	92	36	63
3	15	16	92	42	50
4	22	16	92	42	63
5	5	16	95	36	50
6	29	16	95	36	63
7	24	16	95	42	50
8	16	16	95	42	63
9	14	21	92	36	50
10	4	21	92	36	63
11	20	21	92	42	50
12	32	21	92	42	63
13	3	21	95	36	50
14	27	21	95	36	63
15	21	21	95	42	50
16	10	21	95	42	63
17	26	16	92	36	50
18	9	16	92	36	63
19	18	16	92	42	50
20	23	16	92	42	63
21	7	16	95	36	50
22	19	16	95	36	63
23	6	16	95	42	50
24	30	16	95	42	63
25	17	21	92	36	50
26	11	21	92	36	63
27	28	21	92	42	50
28	12	21	92	42	63
29	25	21	95	36	50
30	8	21	95	36	63

31	13	21	95	42	50
32	2	21	95	42	63

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2021

El orden que se procede a seguir para la obtención de los datos de las variables respuesta (% de humedad en producto extruido, forma del producto, amperaje consumido) se describe en la columna “Orden Est” con la aleatorización se obtienen los siguientes resultados:

**Tabla 19-3:** Datos de las variables respuesta del producto “chucho” del diseño factorial 2<sup>4</sup>

A	B	C	D	HUMEDAD DEL PRODUCTO EXTRUIDO		FORMA		AMPERAJE	
16	92	36	50	17,52	17,92	94%	90%	145	142
16	92	36	63	16,49	17,28	90%	84%	151	153
16	92	42	50	17,64	18,20	89%	91%	153	155
16	92	42	63	18,02	18,71	70%	76%	157	160
16	95	36	50	18,78	18,02	89%	88%	158	155
16	95	36	63	19,01	18,54	82%	79%	162	157
16	95	42	50	18,23	19,04	84%	86%	167	160
16	95	42	63	18,90	19,30	80%	82%	164	162
21	92	36	50	19,73	20,75	89%	88%	157	155
21	92	36	63	19,79	20,22	92%	87%	150	153
21	92	42	50	18,61	19,20	86%	85%	162	167
21	92	42	63	18,92	18,00	78%	74%	160	158
21	95	36	50	22,37	20,21	86%	88%	143	148
21	95	36	63	20,26	19,69	89%	87%	155	162
21	95	42	50	22,16	23,42	76%	73%	171	167
21	95	42	63	21,97	22,14	74%	72%	170	173

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2021

Para la experimentación del diseño factorial 2<sup>3</sup> se comenzó realizando las corridas experimentales de forma no aleatoria hasta obtener todas las combinaciones de los 3 factores en sus 2 niveles generando 2 réplicas y 16 tratamientos con los siguientes resultados.

**Tabla 20-3:** Ejecución del diseño factorial 2<sup>3</sup> para el producto chucho

		NIVELES	
		BAJO	ALTO
A	% HUMEDAD DEL PRODUCTO EXTRUIDO	17	21
B	% VELOCIDAD DE LA BANDA DEL SECADOR (UP)	38	45
C	°C TEMPERATURA DEL SECADOR	105	113

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2021

Se procede aleatorizar las corridas para la obtención de la variable respuesta % de humedad luego del secador en el programa minitab al crear una nueva hoja de trabajo el cual se obtiene la siguiente tabla:

**Tabla 21-3:** Aleatorización de las corridas del diseño factorial  $2^3$  para el producto chucho.

<b>OrdenCorrida</b>	<b>OrdenEst</b>	<b>% HUMEDAD DEL PRODUCTO EXTRUIDO</b>	<b>VELOCIDAD DE LA BANDA DEL SECADOR</b>	<b>TEMPERATURA DEL SECADOR (°C)</b>
1	13	17	38	105
2	2	17	38	113
3	11	17	45	105
4	15	17	45	113
5	5	21	38	105
6	12	21	38	113
7	1	21	45	105
8	14	21	45	113
9	3	17	38	105
10	4	17	38	113
11	9	17	45	105
12	16	17	45	113
13	10	21	38	105
14	6	21	38	113
15	8	21	45	105
16	7	21	45	113

**Realizado por:** Aguirre Y, Vega M. 2021

El orden que se procede a seguir para la obtención de los datos de la variable respuesta % de humedad luego del secador es la columna denominado orden est por lo que esta aleatorizada y en la siguiente tabla se muestra los resultados:

**Tabla 22-3:** Datos de las variables respuesta del producto “chucho” del diseño factorial  $2^3$

<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>HUMEDAD LUEGO DEL SECADOR</b>
17	38	105	8,7
17	38	113	9,15
17	45	105	9,21
17	45	113	9,3

21	38	105	9,42
21	38	113	9,51
21	45	105	9,6
21	45	113	9,8
17	38	105	8,76
17	38	113	9,1
17	45	105	9,19
17	45	113	9,27
21	38	105	9,45
21	38	113	9,57
21	45	105	9,64
21	45	113	9,83

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2021

### 3.11.2 Procedimiento experimental TL 32%

Para la experimentación del diseño factorial  $2^4$  se realizaron las corridas experimentales de forma no aleatoria hasta obtener todas las combinaciones de los 4 factores en sus 2 niveles generando 16 tratamientos, mismos que se muestran a continuación:

**Tabla 23-3:** Ejecución del diseño factorial  $2^4$  para el producto experimental TL 32%

		NIVELES	
		BAJO	ALTO
A	% AGUA DEL ACONDICIONADOR	29	42
B	°C TEMPERATURA DEL ACONDICIONADOR	92	96
C	% CARGA DE LA MEZCLA	28	35
D	% VELOCIDAD DE LAS CUCHILLAS	53	82

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2021

Se procede aleatorizar las corridas para la obtención de las variables respuesta (% de humedad en producto extruido, flotabilidad del producto, amperaje consumido) en el programa minitab al crear una nueva hoja de trabajo el cual se obtiene la siguiente tabla:

**Tabla 24-3:** Aleatorización de las corridas del diseño factorial  $2^4$  para el producto “TL 32%”.

OrdenCorrida	OrdenEst	% Agua del acondicionador	Temperatura del acondicionador (°C)	% Carga de la mezcla	% Velocidad de cuchilla
1	6	24	90	23	45
2	10	24	90	23	61

3	1	24	90	30	45
4	4	24	90	30	61
5	7	24	95	23	45
6	2	24	95	23	61
7	9	24	95	30	45
8	13	24	95	30	61
9	5	35	90	23	45
10	15	35	90	23	61
11	14	35	90	30	45
12	11	35	90	30	61
13	16	35	95	23	45
14	12	35	95	23	61
15	8	35	95	30	45
16	3	35	95	30	61

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2021

El orden que se procede a seguir para la obtención de los datos de las variables respuesta (% de humedad en producto extruido, flotabilidad del producto, amperaje consumido) es la columna denominado orden est, por lo que esta aleatorizada y en la siguiente tabla se muestra los resultados:

**Tabla 25-3:** Datos de las variables respuesta del producto “TL32%” del diseño factorial 2<sup>4</sup>

A	B	C	D	HUMEDAD DEL PRODUCTO EXTRUIDO	FLOTABILIDAD	AMPERAJE
29	92	28	53	21,12	69%	107
29	92	28	82	19,84	65%	115
29	92	35	53	21,12	64%	115
29	92	35	82	23,16	60%	125
29	96	28	53	20,54	70%	112
29	96	28	82	20,80	68%	130
29	96	35	53	20,14	62%	131
29	96	35	82	20,16	53%	140
42	92	28	53	22,01	70%	111
42	92	28	82	19,12	69%	118
42	92	35	53	19,79	68%	130
42	92	35	82	20,40	68%	121
42	96	28	53	26,27	89%	113
42	96	28	82	21,28	92%	125
42	96	35	53	24,15	94%	132

42	96	35	82	24,35	96%	150
----	----	----	----	-------	-----	-----

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2021

Para la experimentación del diseño factorial  $2^3$  se establecieron las corridas experimentales de forma no aleatoria hasta realizar todas las combinaciones de los 3 factores en sus 2 niveles obteniendo 8 tratamientos con los siguientes resultados.

**Tabla 26-3:** Ejecución del diseño factorial  $2^3$  para el producto experimental TL 32%

		NIVELES	
		BAJO	ALTO
A	% HUMEDAD DEL PRODUCTO EXTRUIDO	19	26
B	% VELOCIDAD DE LA BANDA DEL SECADOR (UP)	28	35
C	°C TEMPERATURA DEL SECADOR	100	115

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2021

Se procede aleatorizar las corridas para la obtención de la variable respuesta % de humedad luego del secador en el programa minitab al crear una nueva hoja de trabajo el cual se obtiene la siguiente tabla:

**Tabla 27-3:** Aleatorización de las corridas del diseño factorial  $2^3$  para el producto “TL 32%”.

OrdenCorrida	OrdenEst	% Humedad de extruido	Velocidad del secador	Temperatura del secador (°C)
1	6	19	28	100
2	1	19	28	115
3	7	19	35	100
4	2	19	35	115
5	4	26	28	100
6	8	26	28	115
7	3	26	35	100
8	5	26	35	115

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2021

El orden que se procede a seguir para la obtención de los datos de la variable respuesta % de humedad luego del secador es la columna denominado orden est por lo que esta aleatorizada y en la siguiente tabla se muestra los resultados:

**Tabla 28-3:** Datos de las variables respuesta del producto “TL32%” del diseño factorial  $2^3$

A	B	C	HUMEDAD LUEGO DEL SECADOR
---	---	---	---------------------------

19	28	100	8,52
19	28	115	7,99
19	35	100	9,28
19	35	115	8,99
26	28	100	11,99
26	28	115	11,52
26	35	100	12,67
26	35	115	12,10

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2021

### 3.11.3 Herramientas y software para el procesamiento de datos

#### 3.11.3.1 Diseñó factorial 2<sup>4</sup> del producto “chucho”

- Resolución en el software minitab del diseño factorial 2<sup>4</sup> para “chucho” con la variable respuesta humedad del producto extruido

**Tabla 29-3:** Resumen del diseño factorial 2<sup>4</sup> para “chucho” con la variable humedad del producto extruido

<b>Resumen del diseño</b>			
Factores:	4	Diseño de la base:	4; 16
Corridas:	32	Réplicas:	2
Bloques:	1	Puntos centrales	0
		(total):	
<b>Resumen del modelo</b>			
S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,618471	92,74%	85,93%	70,95%

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2021

### Interpretación

El R<sup>2</sup> ajustado indica que el 85,93% de los factores estudiados (% de agua del acondicionador, la temperatura del acondicionador, % de carga de mezcla y el % de velocidad de cuchilla) influyen en el porcentaje de humedad de extrusión mientras que un 14,07% son por factores no estudiados.

**Tabla 30-3:** Análisis de la varianza del diseño factorial 2<sup>4</sup> para “chucho” con la variable humedad del producto extruido

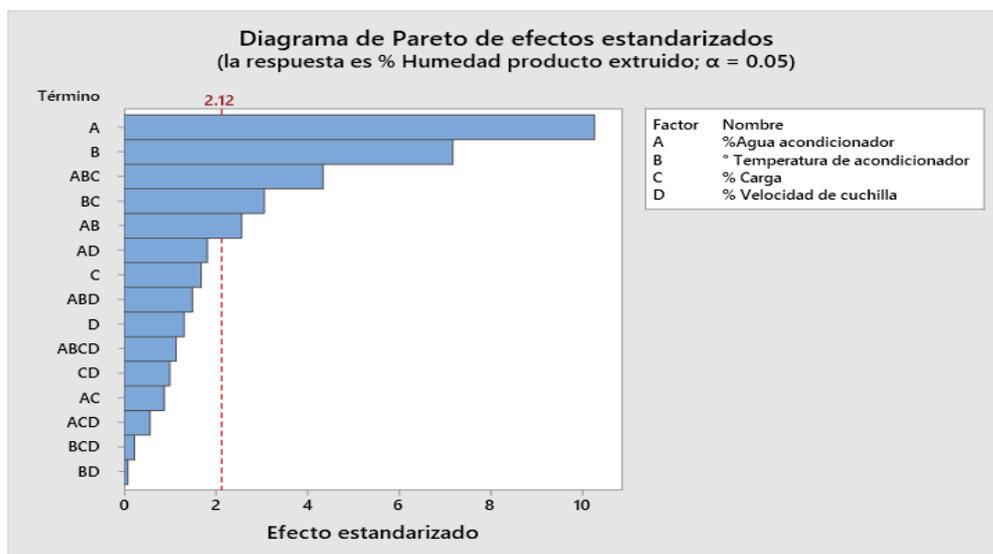
Fuente	Valor p
Modelo	0,000
Lineal	0,000
A, %Agua acondicionador	0,000

B. ° Temperatura de acondicionador	0,000
C. % Carga de mezcla	0,112
D. % Velocidad de cuchilla	0,210
Interacciones de 2 términos	0,021
AB. % Agua acondicionador*° Temperatura de acondicionador	0,021
AC. % Agua acondicionador*% Carga de mezcla	0,392
AD. % Agua acondicionador*% Velocidad de cuchilla	0,088
BC. ° Temperatura de acondicionador*% Carga de mezcla	0,008
BD. ° Temperatura de acondicionador*% Velocidad de cuchilla	0,935
CD. % Carga de mezcla*% Velocidad de cuchilla	0,334
Interacciones de 3 términos	0,006
ABC. % Agua acondicionador*° Temperatura de acondicionador*% Carga de mezcla	0,001
ABD. % Agua acondicionador*° Temperatura de acondicionador*% Velocidad de	0,155
cuchilla	
ACD. % Agua acondicionador*% Carga de mezcla*% Velocidad de cuchilla	0,577
BCD. ° Temperatura de acondicionador*% Carga de mezcla *% Velocidad de cuchilla	0,826
Interacciones de 4 términos	0,273
ABCD. % Agua acondicionador*° Temperatura de acondicionador*% Carga de	0,273
mezcla*% Velocidad de cuchilla	

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2021

## Interpretación

Mediante el análisis ANOVA del diseño factorial  $2^4$  se determinó que existen valores de  $p < 0,05$ , los cuales representan un efecto significativo con respecto a la humedad del producto extruido “chucho”, determinados por: A, B, ABC, BC y AB.

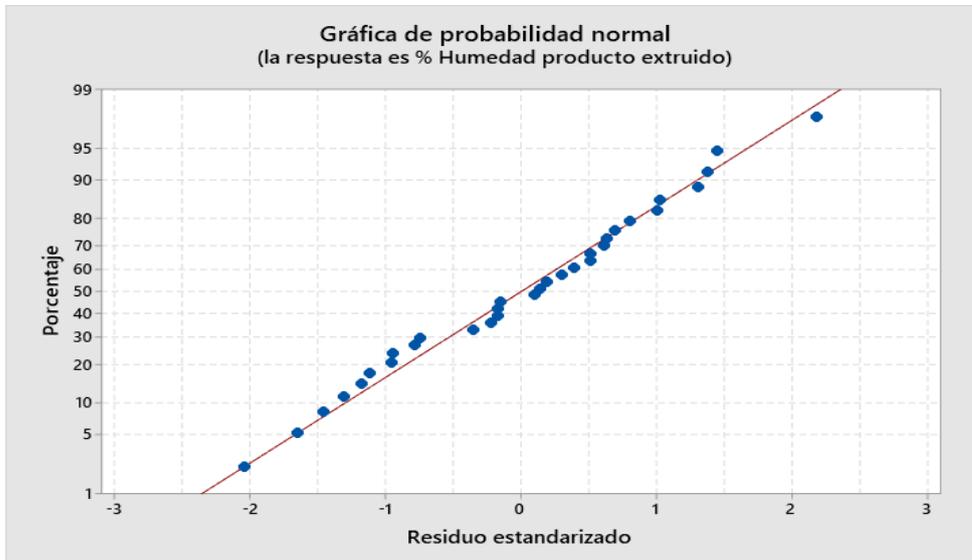


**Ilustración 11-3:** Diagrama de Pareto de efectos estandarizados del diseño factorial  $2^4$  para “chucho” con la variable humedad del producto extruido

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2021

## Interpretación

De acuerdo con el diagrama de Pareto de efectos estandarizados, los factores A, B, ABC, BC, AB son los más significativos en el porcentaje de humedad en la extrusión.



**Ilustración 12-3:** Test de normalidad para variable humedad de extruido

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2021

La gráfica de probabilidad normal en el % de humedad en producto extruido indica que los residuos tienen desviaciones respecto a la diagonal, pero los puntos se aproximan a la diagonal por lo que se confirma la hipótesis de normalidad.



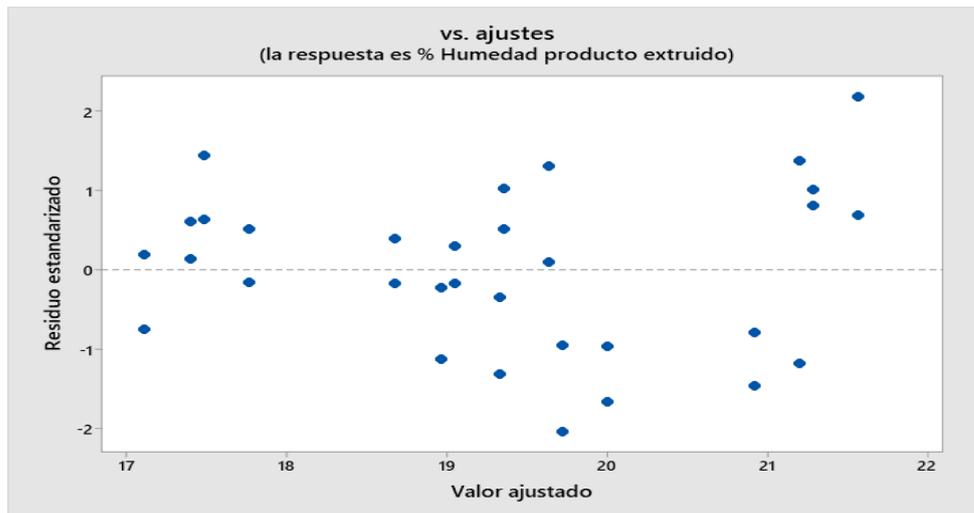
**Ilustración 13-3:** Supuesto de independencia residuo vs orden

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2021

- **Estadístico de Durbin-Watson**

Estadístico de Durbin-Watson = 1,74210

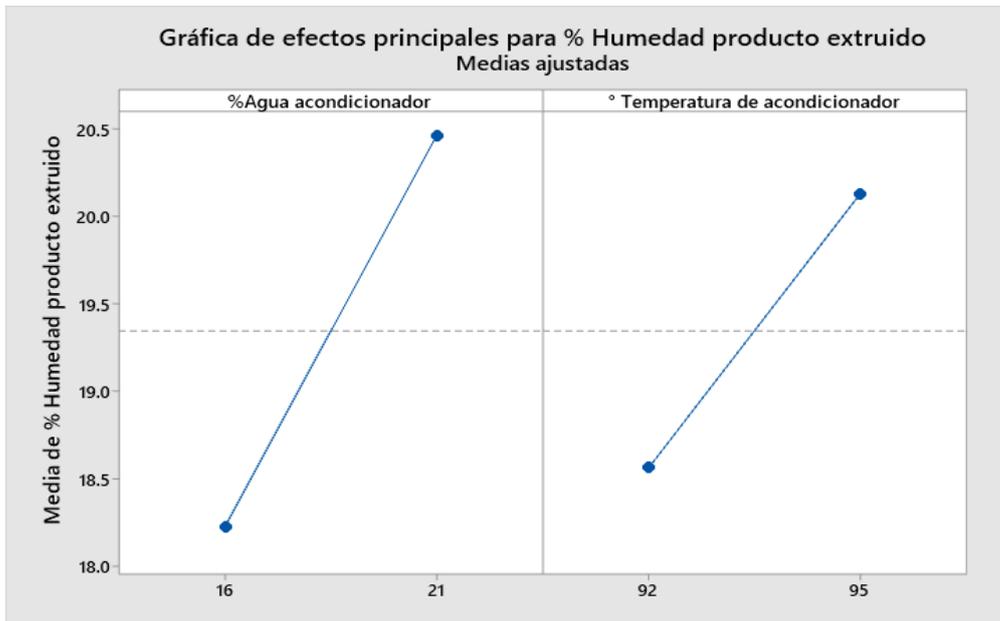
El valor del estadístico de Durbin-Watson es de 1,74210 y está entre los rangos de 1,732 y 2,268 por lo que se concluye que no existe autocorrelación entre los residuos para los datos del % de humedad del producto extruido siendo independientes entre sí.



**Ilustración 14-3:** Homogeneidad de varianza residuo vs ajustes

**Realizado por:** Aguirre Y, Vega M. 2021

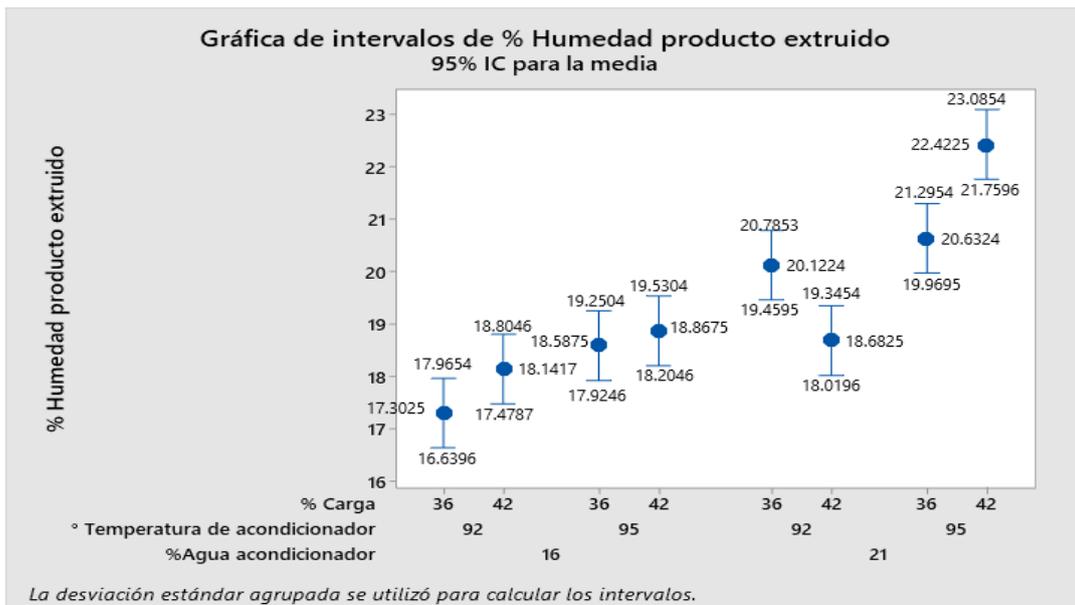
En la gráfica establece que los residuos están dispersos aleatoriamente no siguen ningún patrón lo que determina el cumplimiento del supuesto de homogeneidad de varianza en los datos del % de humedad del producto extruido.



**Ilustración 15-3:** Efectos principales para % humedad de producto extruido

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2021

La gráfica de efectos principales observa que para minimizar el porcentaje de humedad del producto extruido se debe trabajar con los niveles de 16 en el % de agua y 92 en la temperatura del acondicionador



**Ilustración 16-3:** Intervalos de humedad del producto extruido del diseño factorial 2<sup>4</sup> para “chucho”, efecto interactivo ABC

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2021

## Interpretación

De acuerdo con la gráfica de intervalos y con el objetivo de minimizar la humedad del producto “chucho”, se identifica que el mejor tratamiento ocurre cuando el factor A: % de agua del acondicionado, factor B: ° Temperatura del acondicionador y factor C: % Carga de la mezcla se encuentran en un nivel bajo.

**Tabla 31-3:** Ecuación de regresión en unidades codificadas para “chucho” con la variable humedad del producto extruido

---

$$\begin{aligned} \text{\% Humedad producto extruido} = & 19,345 + 1,120 \text{\% Agua acondicionado} \\ & + 0,783 \text{\textdegree Temperatura de acondicionador} \\ & + 0,280 \text{\% Agua acondicionado} * \text{\textdegree Temperatura de acondicionador} \\ & + 0,334 \text{\textdegree Temperatura de acondicionador} * \text{\% Carga} \\ & + 0,474 \text{\% Agua acondicionado} * \text{\textdegree Temperatura de acondicionador} * \text{\% Carga} \end{aligned}$$

---

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2021

## Interpretación

Esta ecuación se utilizará en el momento que el operario extrusor desee cambiar un parámetro preestablecido por el programa permitiendo obtener el valor que se requiera de humedad en el producto extruido sin exceder los rangos permitidos.

- Resolución en el software minitab del diseño factorial  $2^4$  para “chucho” con la variable respuesta forma del producto

**Tabla 32-3:** Resumen del modelo del diseño factorial  $2^4$  para “chucho” con la variable forma del producto

---

S	R-cuad.	R-cuad.(ajustado)	R-cuad.(pred)
0,0233184	93,48%	87,37%	73,93%

---

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2021

## Interpretación

El  $R^2$  ajustado indica que el 87,37% de los factores estudiados (% de agua del acondicionador, la temperatura del acondicionador, % de carga de mezcla y el % de velocidad de cuchilla) influyen en la forma de extrusión mientras que un 12,63% son por factores no estudiados

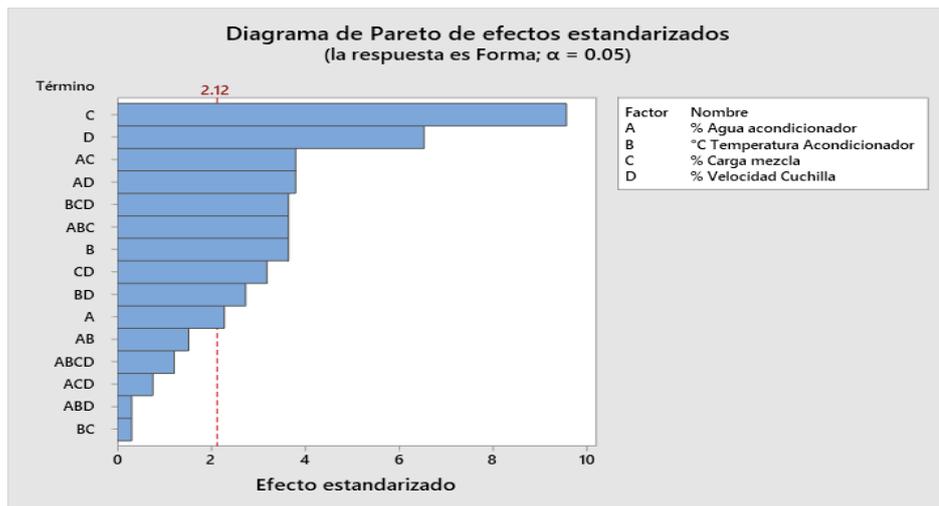
**Tabla 33-3:** Análisis de varianza del diseño factorial  $2^4$  para “chucho” con la variable forma del producto

<b>Fuente</b>	<b>Valor p</b>
Modelo	0.000
Lineal	0.000
A % Agua acondicionador	0.037
B °C Temperatura Acondicionador	0.002
C % Carga mezcla	0.000
D % Velocidad Cuchilla	0.000
Interacciones de 2 términos	0.000
AB % Agua acondicionador*°C Temperatura Acondicionador	0.149
AC % Agua acondicionador*% Carga mezcla	0.002
AD % Agua acondicionador*% Velocidad Cuchilla	0.002
BC °C Temperatura Acondicionador*% Carga mezcla	0.766
BD °C Temperatura Acondicionador*% Velocidad Cuchilla	0.015
CD % Carga mezcla*% Velocidad Cuchilla	0.006
Interacciones de 3 términos	0.002
ABC % Agua acondicionador*°C Temperatura Acondicionador*% Carga mezcla	0.002
ABD % Agua acondicionador*°C Temperatura Acondicionador*% Velocidad Cuchilla	0.766
Cuchilla	
ACD % Agua acondicionador*% Carga mezcla*% Velocidad Cuchilla	0.459
BCD °C Temperatura Acondicionador*% Carga mezcla*% Velocidad Cuchilla	0.002
Interacciones de 4 términos	0.243
ABCD % Agua acondicionador*°C Temperatura Acondicionador*% Carga mezcla*% Velocidad Cuchilla	0.243

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2021

### Interpretación

Mediante el análisis ANOVA del diseño factorial  $2^4$  se determinó que existen valores de  $p < 0,05$ , los cuales representan un efecto significativo con respecto a la forma del producto extruido “chucho”, determinados por: C, D, AC, AD, BCD, ABC, B, CD, BD, A.

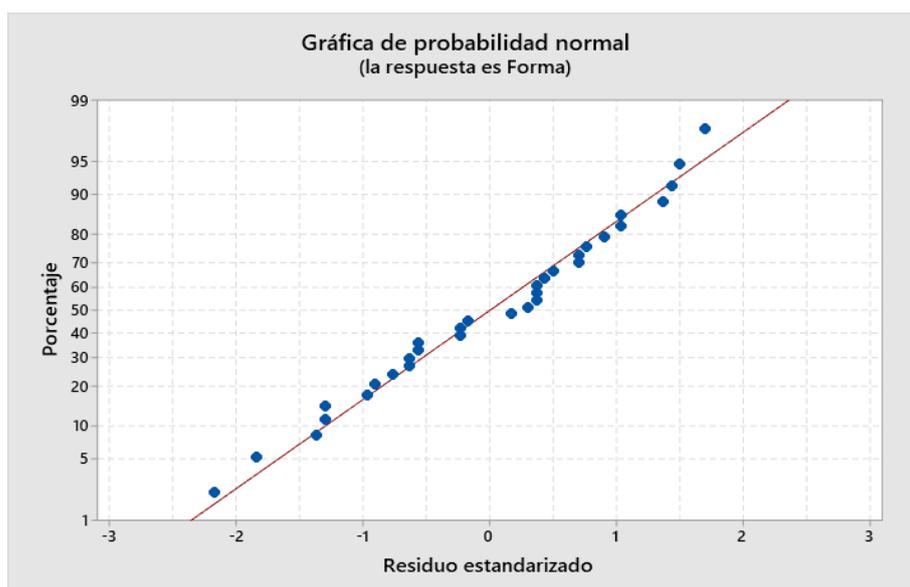


**Ilustración 17-3:** Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para “chucho” con la variable forma del producto

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2021

### Interpretación

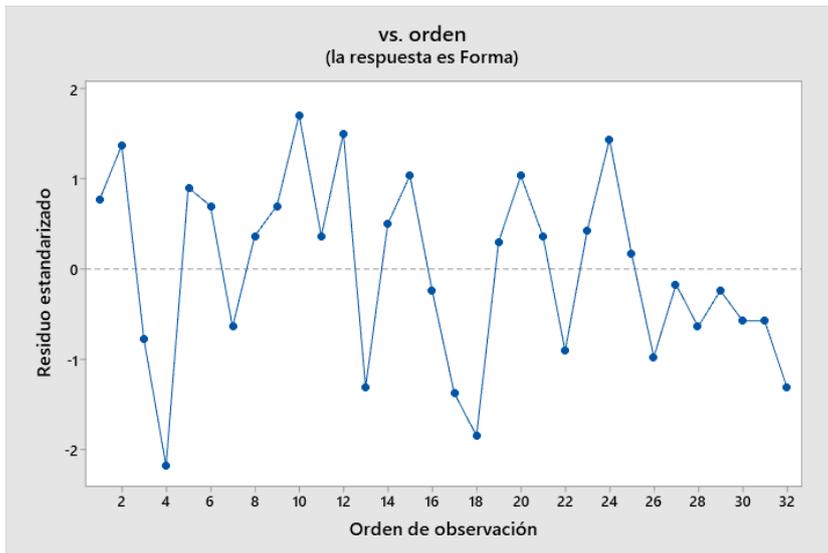
De acuerdo con el diagrama de Pareto de efectos estandarizados, los factores C, D, AC, AD, BCD, ABC, B, CD, BD, A son los más significativos en la forma del producto.



**Ilustración 18-3:** Test de normalidad para variable humedad de extruido

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2021

La gráfica de probabilidad normal en el la forma del producto extruido indica que los residuos tienen desviaciones respecto a la diagonal, pero los puntos se aproximan a la diagonal por lo que se confirma la hipótesis de normalidad.



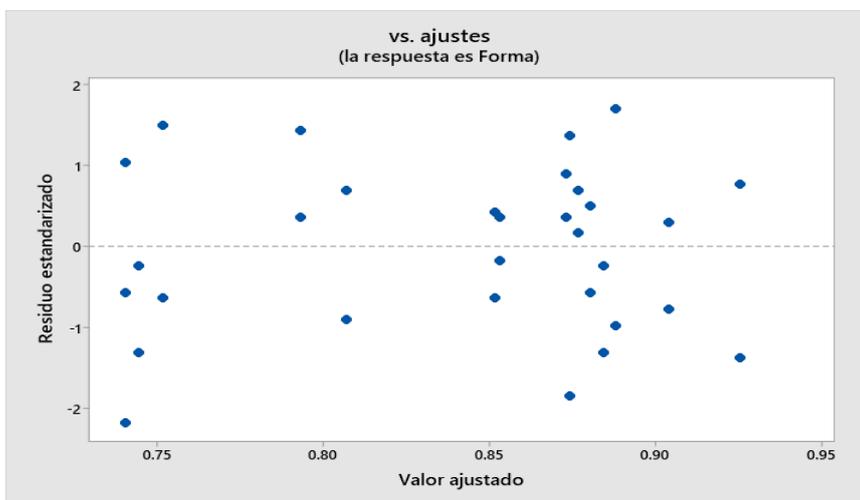
**Ilustración 19-3:** Supuesto de independencia residuo vs orden

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2021

- **Estadístico de Durbin-Watson**

Estadístico de Durbin-Watson = 2,16745

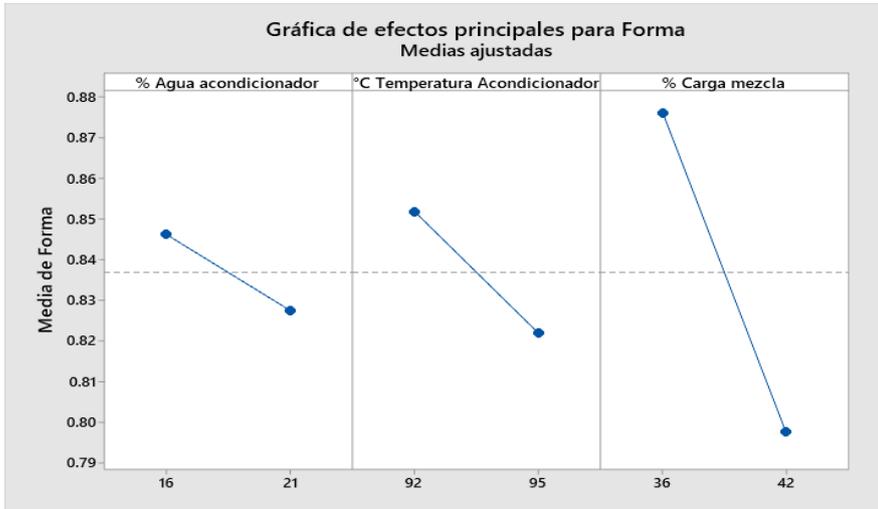
El valor del estadístico de Durbin-Watson es de 2,16745 y se encuentra entre los rangos de 1,732 y 2,268 por lo que se concluye que no existe autocorrelación entre los residuos para los datos de la forma producto extruido siendo independientes entre sí.



**Ilustración 20-3:** Homogeneidad de varianza residuo vs ajustes

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2021

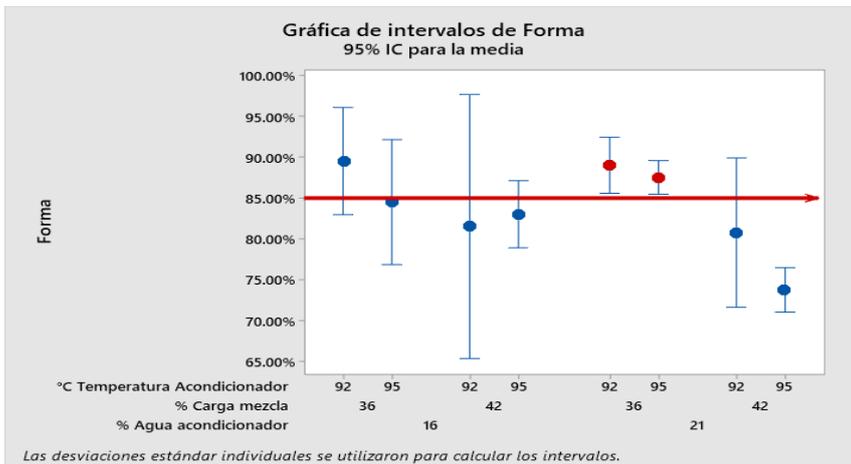
En la gráfica de homogeneidad de varianza de residuo vs ajuste, los residuos están dispersos aleatoriamente, no siguen ningún patrón por lo que se cumple el supuesto de homogeneidad de varianza en los datos la forma del producto extruido.



**Ilustración 21-3:** Gráfica de efectos principales para la forma de producto extruido

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2021

En la gráfica de efectos principales se observa que para maximizar la cantidad de producto bien extruido (forma) se debe trabajar con los niveles de 36 de % de carga de mezcla y 50 el % de velocidad de cuchilla.

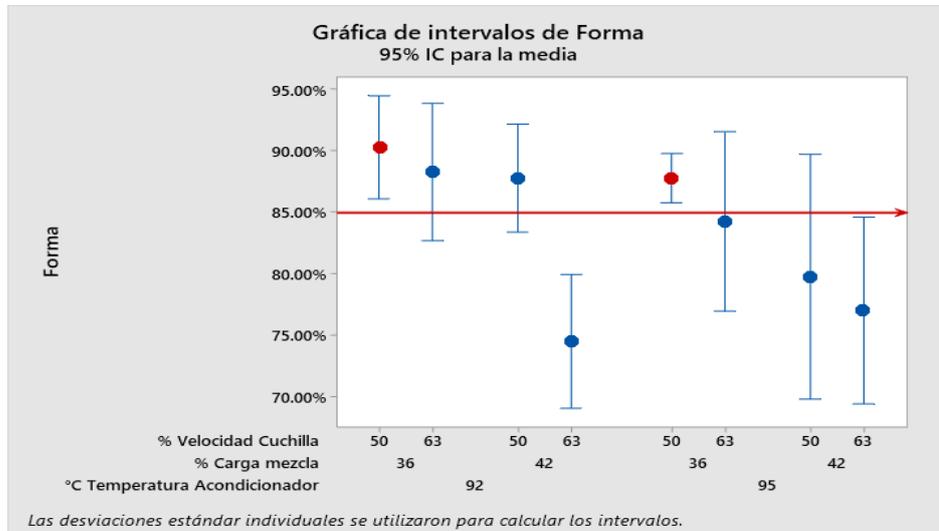


**Ilustración 22-3:** Intervalos de forma del producto del diseño factorial 2<sup>4</sup> para “chucho”, efecto interactivo ABC

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2021

### Interpretación

De acuerdo con la gráfica de intervalos y con el objetivo de obtener una adecuada forma del producto “chucho”, se identifica que el mejor tratamiento ocurre cuando el factor A: % de agua del acondicionado se encuentren en un nivel alto, el factor B: °C temperatura del acondicionador en nivel bajo y el factor C: % Carga de la mezcla se presenta en nivel bajo.



**Ilustración 23-3:** Intervalos de forma del producto del diseño factorial 2<sup>4</sup> para “chucho”, efecto interactivo BCD

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2021

### Interpretación

De acuerdo con la gráfica de intervalos y con el objetivo de obtener una adecuada forma del producto “chucho”, se identifica que el mejor tratamiento ocurre cuando el factor B: % de agua del acondicionado, factor C: % Carga de la mezcla se presenta y factor D: % Velocidad de cuchilla se presentan en niveles bajos.

**Tabla 34-3:** Ecuación de regresión en unidades codificadas

$$\begin{aligned}
 \text{Forma} = & 0.83687 && - 0.00938 \text{ \% Agua acondicionado} \\
 & - 0.01500 \text{ }^\circ\text{C Temperatura Acondicionador} \\
 & - 0.03937 \text{ \% Carga mezcla} && - 0.02687 \text{ \% Velocidad Cuchilla} \\
 & - 0.01563 \text{ \% Agua acondicionado*\% Carga mezcla} \\
 & + 0.01563 \text{ \% Agua acondicionado*\% Velocidad Cuchilla} \\
 & + 0.01125 \text{ }^\circ\text{C Temperatura Acondicionador*\% Velocidad Cuchilla} \\
 & - 0.01313 \text{ \% Carga mezcla*\% Velocidad Cuchilla} \\
 & - 0.01500 \text{ \% Agua acondicionado*}^\circ\text{C Temperatura Acondicionador*\% Carga mezcla} \\
 & + 0.01500 \text{ }^\circ\text{C Temperatura Acondicionador*\% Carga mezcla*\% Velocidad Cuchilla}
 \end{aligned}$$

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2021

## Interpretación

Esta ecuación se utilizará en el momento que el operario extrusor desee cambiar un parámetro preestablecido por el programa permitiendo obtener el valor que se requiera de la forma del producto extruido.

- Resolución en el software minitab del diseño factorial  $2^4$  para “chucho” con la variable respuesta amperaje

**Tabla 35-3:** Resumen del modelo del diseño factorial  $2^4$  para “chucho” con la variable respuesta amperaje

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
2,81736	93,21%	86,84%	72,83%

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2021

## Interpretación

El  $R^2$  ajustado indica que el 86,84% de los factores estudiados (% de agua del acondicionador, la temperatura del acondicionador, % de carga de mezcla y el % de velocidad de cuchilla) influyen en el amperaje de la máquina de extrusión mientras que un 13,16% son por otros factores no estudiados.

**Tabla 36-3:** Análisis de varianza del diseño factorial  $2^4$  para “chucho” con la variable respuesta amperaje

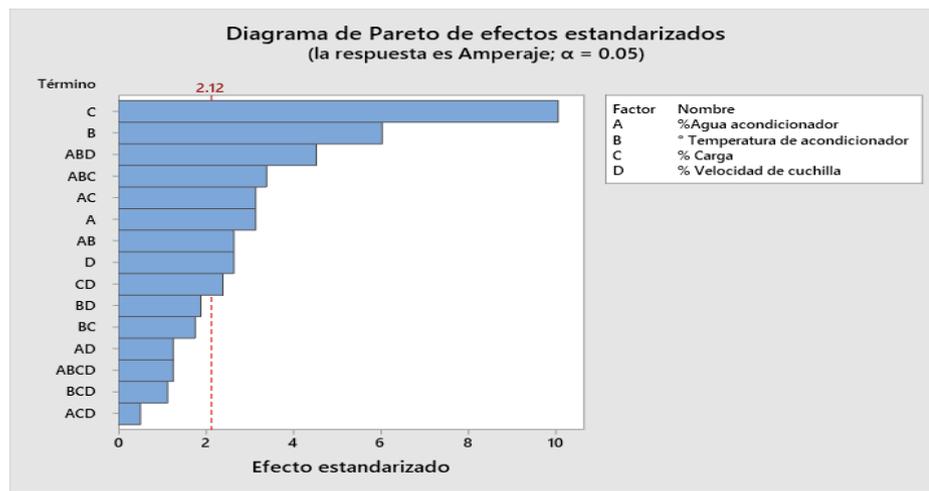
Fuente	Valor p
Modelo	0,000
Lineal	0,000
A.% Agua acondicionador	0,006
B. ° Temperatura acondicionador	0,000
C. % Carga de mezcla	0,000
D.% Velocidad de cuchilla	0,018
Interacciones de 2 términos	0,004
AB. % Agua acondicionador*° Temperatura acondicionador	0,018
AC. % Agua acondicionador*% Carga de mezcla	0,006
AD. % Agua acondicionador*% Velocidad de cuchilla	0,228
BC. ° Temperatura acondicionador*% Carga de mezcla	0,098
BD. ° Temperatura acondicionador*% Velocidad de cuchilla	0,078
CD.% Carga de mezcla*% Velocidad de cuchilla	0,030
Interacciones de 3 términos	0,001
ABC. %Agua acondicionador*° Temperatura de acondicionador*% Carga	0,004
ABD. %Agua acondicionador*° Temperatura de acondicionador*% Velocidad de cuchilla	0,000
ACD. %Agua acondicionador*% Carga*% Velocidad de cuchilla	0,623
BCD. ° Temperatura de acondicionador*% Carga*% Velocidad de cuchilla	0,275

Interacciones de 4 términos	0,228
ABCD. %Agua acondicionador* <sup>o</sup> Temperatura de acondicionador*% Carga*% Velocidad de cuchilla	0,228

**Realizado por:** Aguirre Y, Vega M. 2021

### Interpretación

Mediante el análisis ANOVA del diseño factorial 2<sup>4</sup> se determinó que existen valores de p<0,05, los cuales representan un efecto significativo con respecto al amperaje de consumo de la máquina extrusora, determinados por: C, B, ABD, ABC, AC, A, AB, D, CD

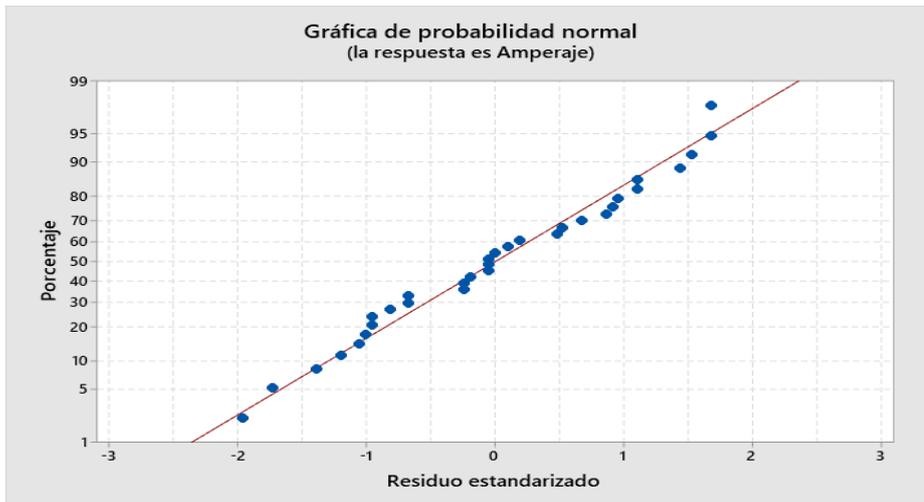


**Ilustración 24-3:** Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para “chucho” con la variable respuesta amperaje

**Realizado por:** Aguirre Y, Vega M. 2022

### Interpretación

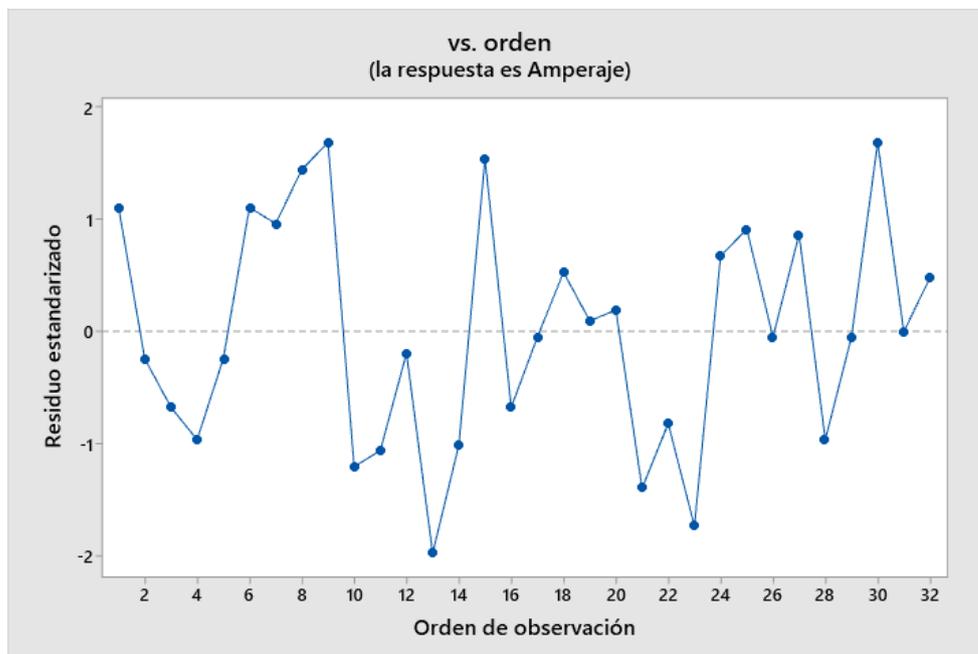
De acuerdo con el diagrama de Pareto de efectos estandarizados, los factores C, B, ABD, ABC, AC, A, AB, D, CD son los más significativos en el amperaje de la máquina de extrusión.



**Ilustración 25-3:** Test de normalidad para variable Amperaje consumido

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

La gráfica de probabilidad normal en el amperaje consumido por la máquina extrusora indica que los residuos tienen desviaciones respecto a la diagonal, pero los puntos se aproximan a la diagonal confirmando de esta manera la hipótesis de normalidad.



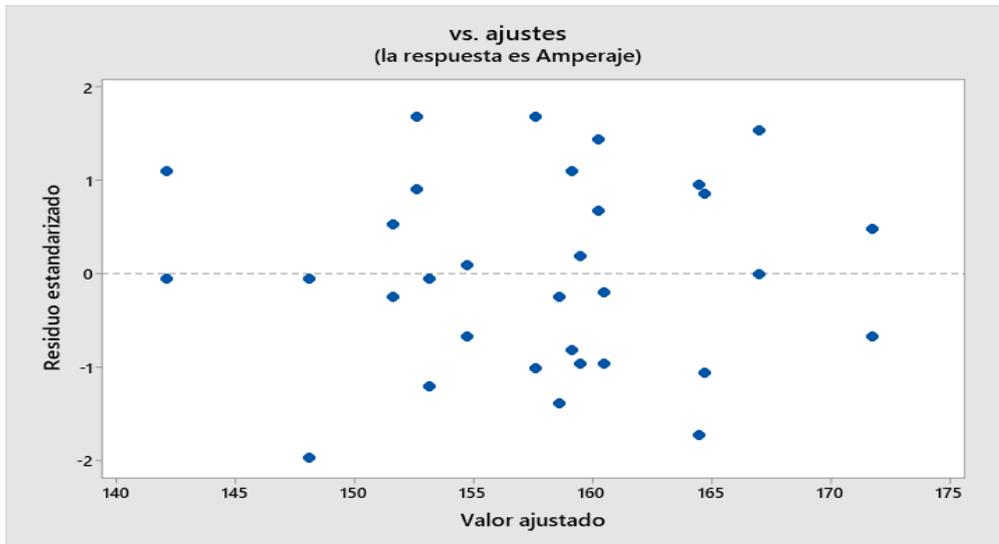
**Ilustración 26-3:** Supuesto de independencia para variable amperaje

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

- **Estadístico de Durbin-Watson**

Estadístico de Durbin-Watson = 1,89279

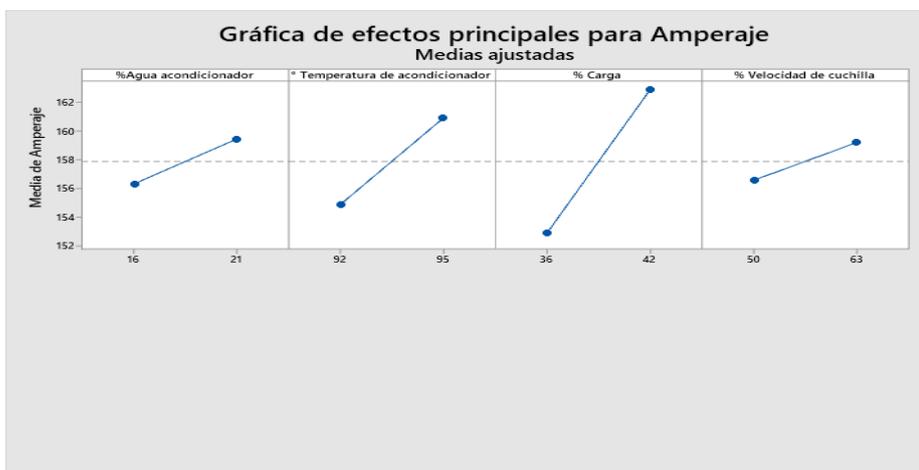
El valor del estadístico de Durbin-Watson es de 1,89279 encontrándose entre los rangos de 1,732 y 2,268 por lo que se concluye que no existe autocorrelación entre los residuos para los datos del amperaje consumido por la máquina extrusora siendo independientes entre sí.



**Ilustración 27-3:** Gráfica de homogeneidad de varianza residuo vs ajustes

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

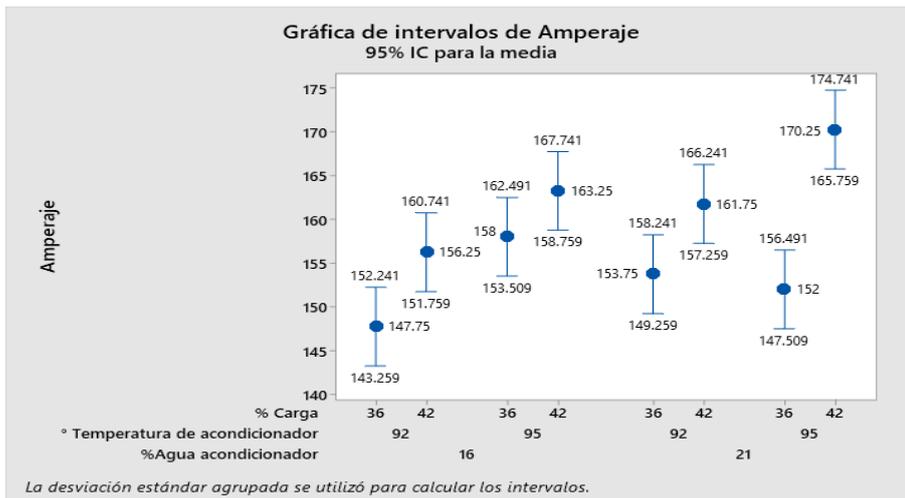
En la gráfica de homogeneidad de varianza se residuo vs ajuste, los residuos están dispersos aleatoriamente no siguen ningún patrón por lo que se cumple el supuesto de homogeneidad de varianza en los datos del amperaje consumido por la máquina extrusora.



**Ilustración 28-3:** Efectos principales para el amperaje consumido por la máquina extrusora

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

En la gráfica de efectos principales se observa que para minimizar el amperaje consumido por la máquina extrusora se debe modificar la Temperatura de acondicionador a 92 °C y el % de carga de la mezcla a 36.

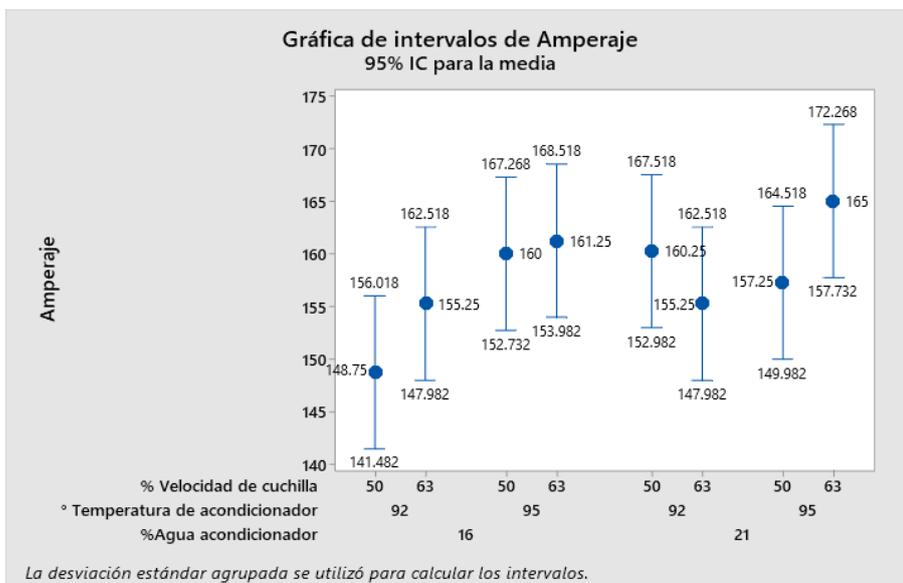


**Ilustración 29-3:** Intervalos de respuesta de amperaje del diseño factorial  $2^4$  para “chucho”, efecto interactivo ABC

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

### Interpretación

De acuerdo con la gráfica de intervalos y con el objetivo de minimizar el amperaje de la máquina de extrusión en el producto “chucho”, se identifica que el mejor tratamiento ocurre cuando el factor A: % de agua del acondicionado, factor B: ° Temperatura de acondicionador y el factor C: % Carga de la mezcla se encuentren niveles bajos.



**Ilustración 30-3:** Intervalos de respuesta de amperaje del diseño factorial  $2^4$  para “chucho”, efecto interactivo ABD

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

### Interpretación

De acuerdo con la gráfica de intervalos y con el objetivo de minimizar el amperaje de la máquina de extrusión en el producto “chucho”, se identifica que el mejor tratamiento ocurre cuando el factor A: % de agua del acondicionado, factor B: ° Temperatura de acondicionador y factor D: % Velocidad de la cuchilla se encuentran en niveles bajos.

**Tabla 37-3:** Ecuación de regresión en unidades codificadas

$$\begin{aligned} \text{Amperaje} = & 157,875 + 1,562 \% \text{ Agua acondicionado} + 3,000 \text{ }^\circ \text{ Temperatura de acondicionador} \\ & + 5,000 \% \text{ Carga} + 1,312 \% \text{ Velocidad de cuchilla} \\ & - 1,312 \% \text{ Agua acondicionado} * \text{ }^\circ \text{ Temperatura de acondicionador} \\ & + 1,563 \% \text{ Agua acondicionado} * \% \text{ Carga} - 1,187 \% \text{ Carga} * \% \text{ Velocidad de cuchilla} \\ & + 1,688 \% \text{ Agua acondicionado} * \text{ }^\circ \text{ Temperatura de acondicionador} * \% \text{ Carga} \\ & + 2,250 \% \text{ Agua acondicionado} * \text{ }^\circ \text{ Temperatura de acondicionador} * \% \text{ Velocidad de} \\ & \text{cuchilla} \end{aligned}$$

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

### Interpretación

Esta ecuación se utilizará en el momento que el operario extrusor desee cambiar un parámetro preestablecido por el programa permitiendo obtener el valor que se requiera de amperaje de consumo de la máquina extrusora.

#### 3.11.3.2 Diseño factorial 2<sup>3</sup> para el producto “chucho”

- Resolución en el software minitab del diseño factorial 2<sup>3</sup> para “chucho” con la variable respuesta humedad del producto luego del secador

**Tabla 38-3:** Resumen del diseño factorial 2<sup>3</sup> para “chucho” con la variable respuesta humedad del producto luego del secador

Resumen del diseño		
Factores:	3	Diseño de la base: 3; 8
Corridas:	16	Réplicas: 2
Bloques:	1	Puntos centrales (total): 0

#### Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,03	99,55%	99,15%	98,19%

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

## Interpretación

El  $R^2$  ajustado indica que el 99,15% de los factores estudiados (% humedad del producto extruido, la velocidad de banda del secador y temperatura del secador) influyen en la humedad luego del secado mientras que un 0,85% son por otros factores no estudiados.

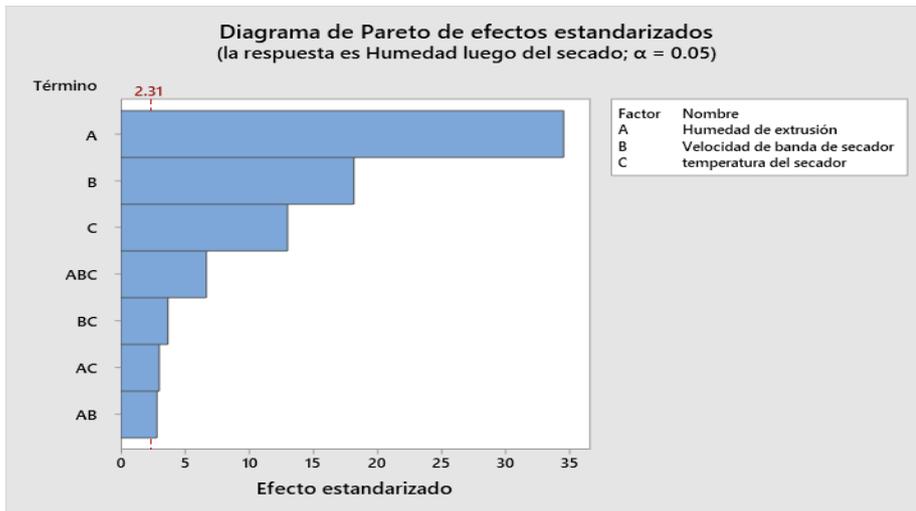
**Tabla 39-3:** Análisis de varianza del diseño factorial  $2^3$  para “chucho” con la variable respuesta humedad del producto luego del secador

<b>Fuente</b>	<b>Valor p</b>
Modelo	0,000
Lineal	0,000
A. Humedad de extrusión	0,000
B. Velocidad de banda de secador	0,000
C. temperatura del secador	0,000
Interacciones de 2 términos	0,004
AB. Humedad de extrusión*Velocidad de banda de secador	0,022
AC. Humedad de extrusión*temperatura del secador	0,017
BC. Velocidad de banda de secador*temperatura del secador	0,006
Interacciones de 3 términos	0,000
ABC. Humedad de extrusión*Velocidad de banda de secador*temperatura del secador	0,000
Error	

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

## Interpretación

Mediante el análisis ANOVA del diseño factorial  $2^3$  se determinó que todos los valores son  $p < 0,05$ , es decir, en su totalidad existe un efecto significativo de los parámetros con respecto a la humedad del producto “chucho” después del proceso de secado.

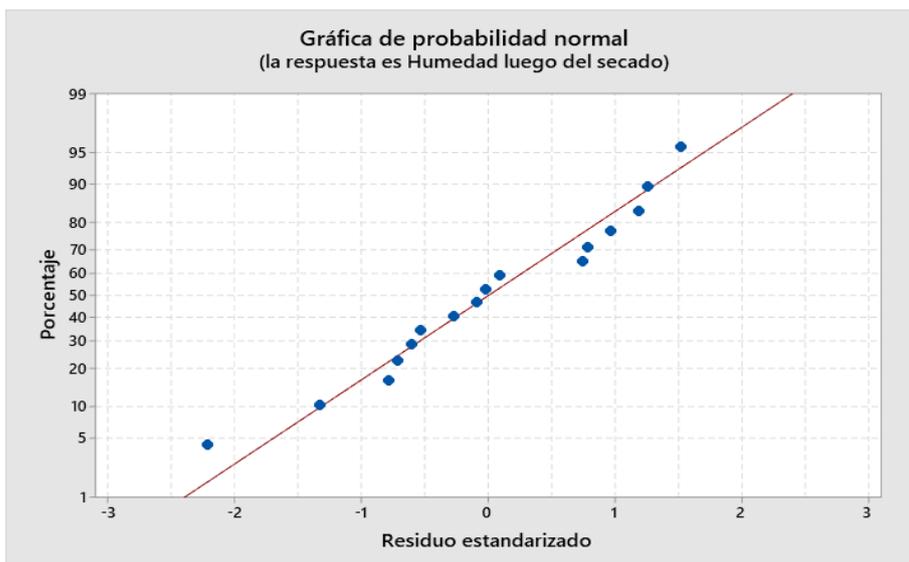


**Ilustración 31-3:** Diagrama de Pareto de efectos estandarizados del diseño factorial  $2^3$  para “chucho” con la variable respuesta humedad del producto luego del secador

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

### Interpretación

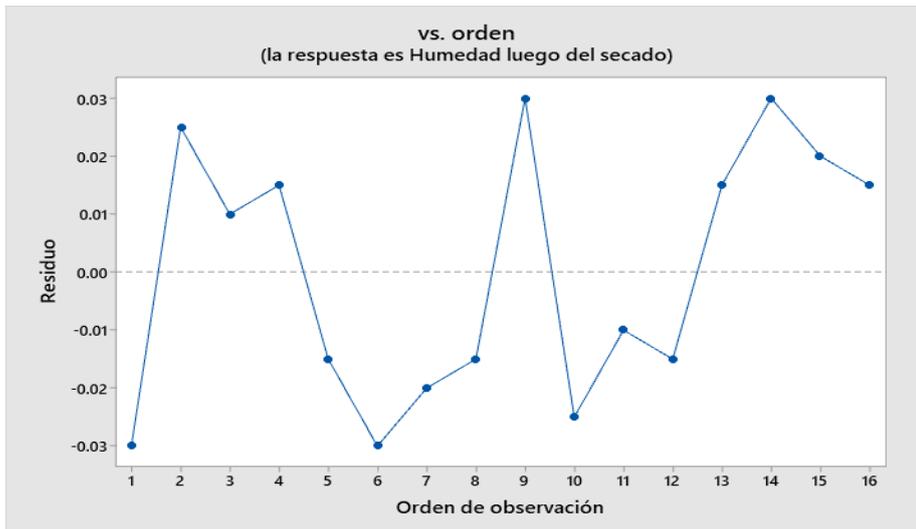
De acuerdo con el diagrama de Pareto de efectos estandarizados, los factores A, B, C, ABC, BC son los más significativos en la humedad luego del secado.



**Ilustración 32-3:** Test de normalidad para variable humedad luego del secado

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

La gráfica de probabilidad normal en la humedad luego del secado indica que los residuos tienen desviaciones respecto a la diagonal, pero los puntos se aproximan a la diagonal por lo que se confirma la hipótesis de normalidad.



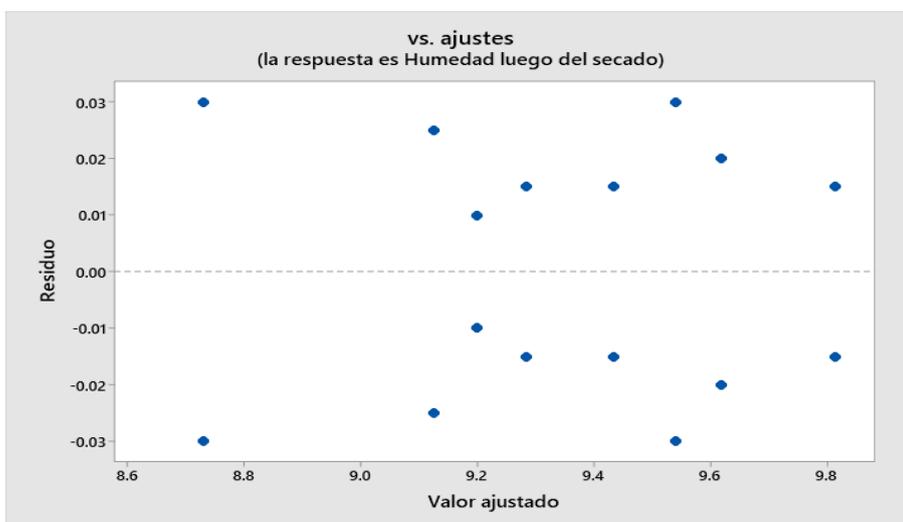
**Ilustración 33-3:** Supuesto de independencia para humedad luego del secado

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

- **Estadístico de Durbin-Watson**

Estadístico de Durbin-Watson = 2,04355

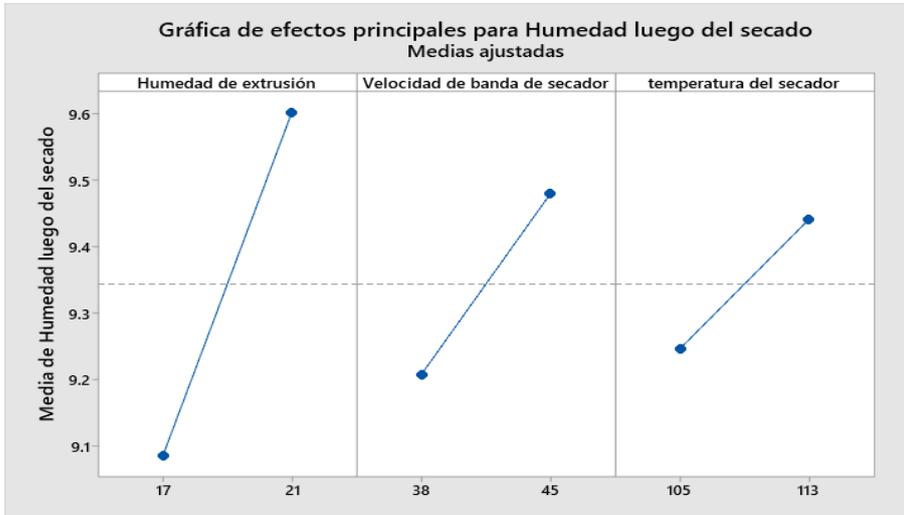
El valor del estadístico de Durbin-Watson es de 2,04355 encontrándose dentro de los rangos de 1,65 y 2,35 por lo que se concluye que no existe autocorrelación entre los residuos para los datos del % de humedad luego del secado puesto que son independientes entre sí.



**Ilustración 34-3:** Homogeneidad de varianza en % humedad luego del secado

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

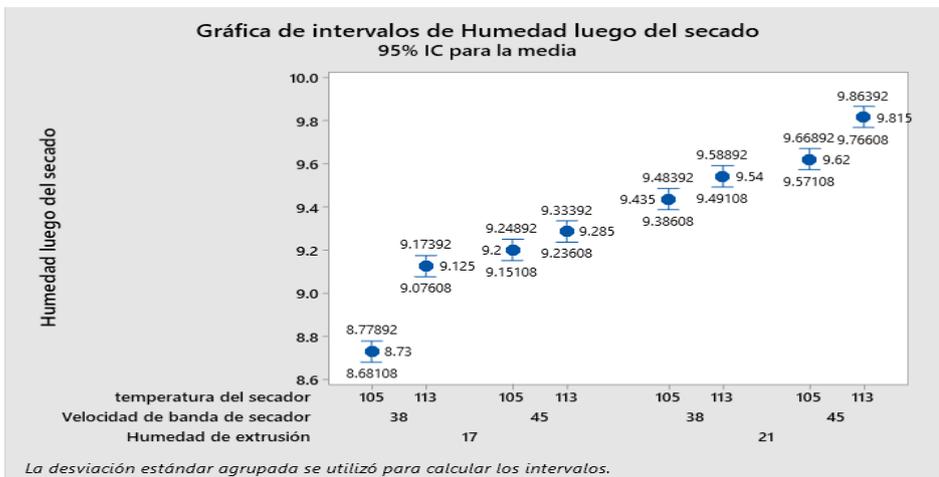
En la gráfica de homogeneidad de varianza se residuo vs ajuste, los residuos están dispersos aleatoriamente no siguen ningún patrón por lo que se cumple el supuesto de homogeneidad de varianza.



**Ilustración 35-3:** Efectos principales para el % de humedad luego del secado

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

La gráfica de efectos principales observa que para minimizar el % de humedad luego del secado se debe trabajar con una humedad del 17%, una velocidad de banda de secador del 45% y una temperatura del secador de 105°C.



**Ilustración 36-3:** Intervalos de la humedad del producto luego del secador del diseño factorial

2<sup>3</sup> para “chucho”, efecto interactivo ABC

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

### Interpretación

De acuerdo con la gráfica de intervalos, el objetivo de minimizar la humedad luego del secado en el producto “chucho” y respetar el rango de la empresa de 8,9% hasta 9,3%, se identifica que el mejor tratamiento ocurre cuando el factor A: Humedad de extrusión y el factor C: Temperatura del secador están en niveles bajos, y B: velocidad de banda de secador se encuentra en un nivel alto.

**Tabla 40-3:** Ecuación de regresión en unidades no codificadas

---

$$\begin{aligned} \text{Humedad luego del secado} = & -168,0 + 8,64 \text{ Humedad de extrusión} \\ & + 4,009 \text{ Velocidad de banda de secador} \\ & + 1,567 \text{ temperatura del secador} \\ & - 0,1977 \text{ Humedad de extrusión*Velocidad de banda de secador} \\ & - 0,0769 \text{ Humedad de extrusión*temperatura del secador} \\ & - 0,03589 \text{ Velocidad de banda de secador*temperatura del secador} \\ & + 0,001786 \text{ Humedad de extrusión*Velocidad de banda de secador*temperatura del} \\ & \text{secador} \end{aligned}$$

---

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

### Interpretación

Esta ecuación se utilizará en el momento que el operario extrusor desee cambiar un parámetro preestablecido por el programa permitiendo obtener el valor que se requiera de la humedad del producto después del secado.

#### 3.11.3.3 *Diseño factorial 2<sup>4</sup> para el producto TL32%*

- Resolución en el software minitab del diseño factorial 2<sup>4</sup> para TL32% con la variable respuesta humedad del producto extruido

**Tabla 41-3:** Resumen del modelo y diseño factorial 2<sup>4</sup> para TL32% con la variable respuesta humedad del producto extruido

---

<b>Resumen del diseño</b>		
Factores: 4	Diseño de la base:	4; 16
Corridas: 16	Réplicas:	1
Bloques: 1	Puntos centrales	0
	(total):	

---

**Resumen del modelo**

S	R-cuad.		R-cuad.
	R-cuad.	(ajustado)	(pred)
0,972063	91,97%	75,92%	17,80%

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

### Interpretación

El R<sup>2</sup> ajustado indica que el 24,08% de los factores estudiados (% de agua del acondicionador, temperatura del acondicionados, % de carga de la mezcla y % de velocidad de la cuchilla) influyen en la humedad luego del secado mientras que un % son por otros factores no estudiados

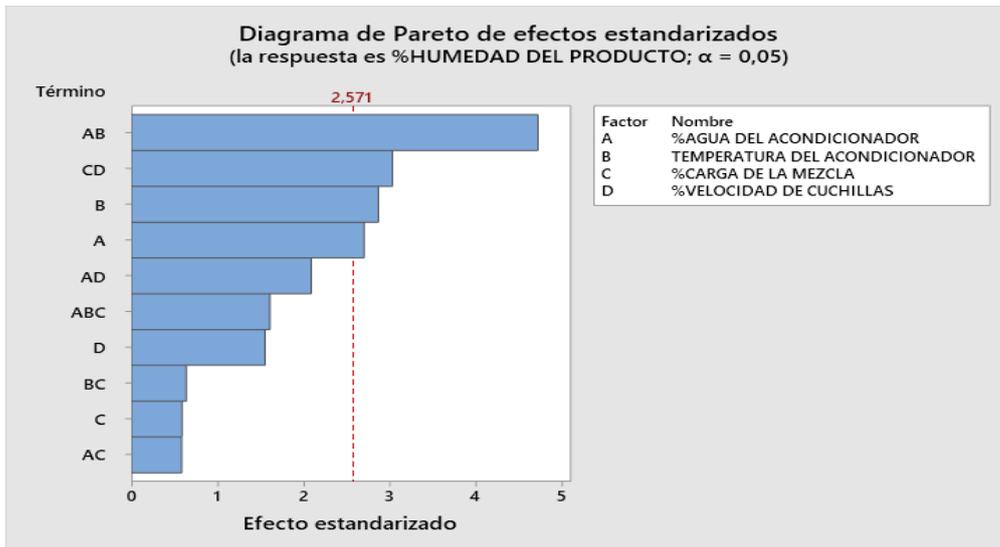
**Tabla 42-3:** Análisis de varianza del diseño factorial 2<sup>4</sup> para TL32% con la variable respuesta humedad del producto extruido

Fuente	Valor p
Modelo	0,034
Lineal	0,064
A. %AGUA DEL ACONDICIONADOR	0,043
B. TEMPERATURA DEL ACONDICIONADOR	0,035
C. %CARGA DE LA MEZCLA	0,581
D. %VELOCIDAD DE CUCHILLAS	0,182
Interacciones de 2 términos	0,024
AB. %AGUA DEL ACONDICIONADOR*TEMPERATURA DEL ACONDICIONADOR	0,005
AC. %AGUA DEL ACONDICIONADOR*%CARGA DE LA MEZCLA	0,585
AD. %AGUA DEL ACONDICIONADOR*%VELOCIDAD DE CUCHILLAS	0,091
BC. TEMPERATURA DEL ACONDICIONADOR*%CARGA DE LA MEZCLA	0,553
CD. %CARGA DE LA MEZCLA*%VELOCIDAD DE CUCHILLAS	0,029
Interacciones de 3 términos	0,169
ABC. %AGUA DEL ACONDICIONADOR*TEMPERATURA DEL ACONDICIONADOR*%CARGA DE LA MEZCLA	0,169

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

### Interpretación

Mediante el análisis ANOVA del diseño factorial 2<sup>4</sup> se determinó que existen valores de p<0,05, los cuales representan un efecto significativo con respecto a humedad del producto extruido de TL32%, determinados por: AB, CD, B, A.

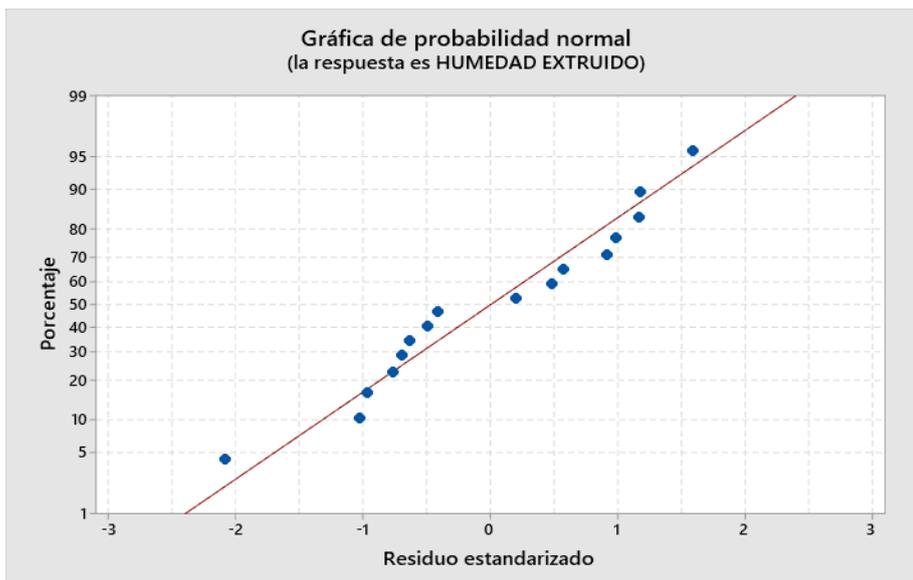


**Ilustración 37-3:** Diagrama de Pareto de efectos estandarizados del diseño factorial  $2^4$  para TL32% con la variable respuesta humedad del producto extruido

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

### Interpretación

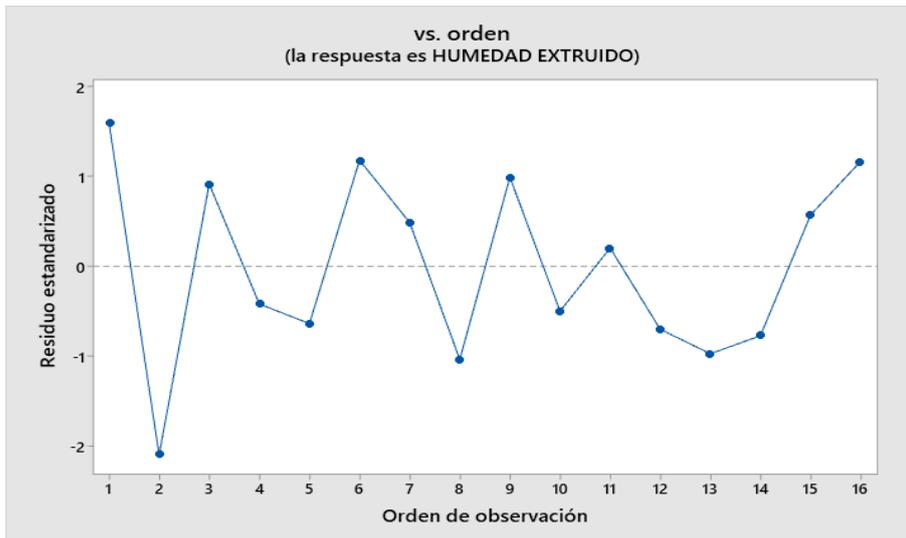
De acuerdo con el diagrama de Pareto de efectos estandarizados, los factores AB, CD, B y A son significativos.



**Ilustración 38-3:** Test de normalidad para variable humedad de extruido

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

La gráfica de probabilidad normal en el % de humedad en producto extruido indica que los residuos tienen desviaciones respecto a la diagonal, pero los puntos se aproximan a la diagonal por lo que se confirma la hipótesis de normalidad.



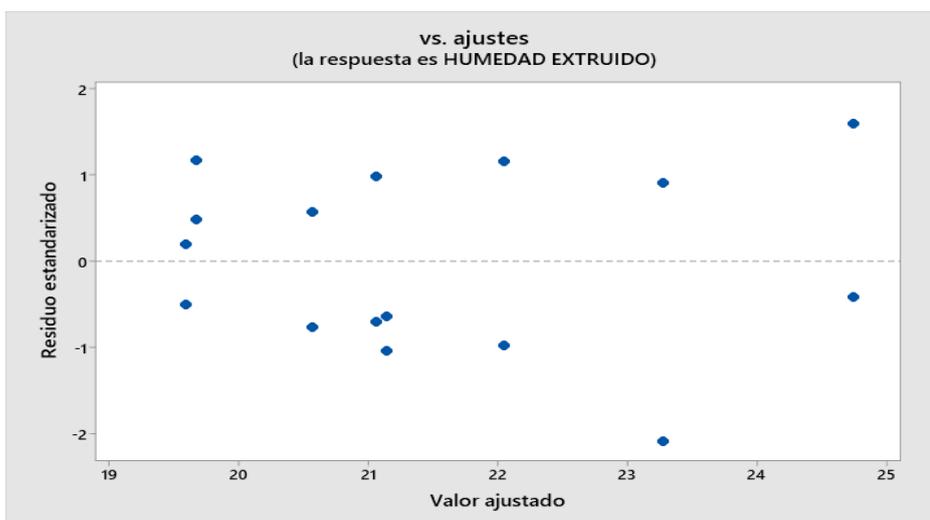
**Ilustración 39-3:** Gráfica de supuesto de independencia residuo vs orden

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

- **Estadístico de Durbin-Watson**

Estadístico de Durbin-Watson = 1,97324

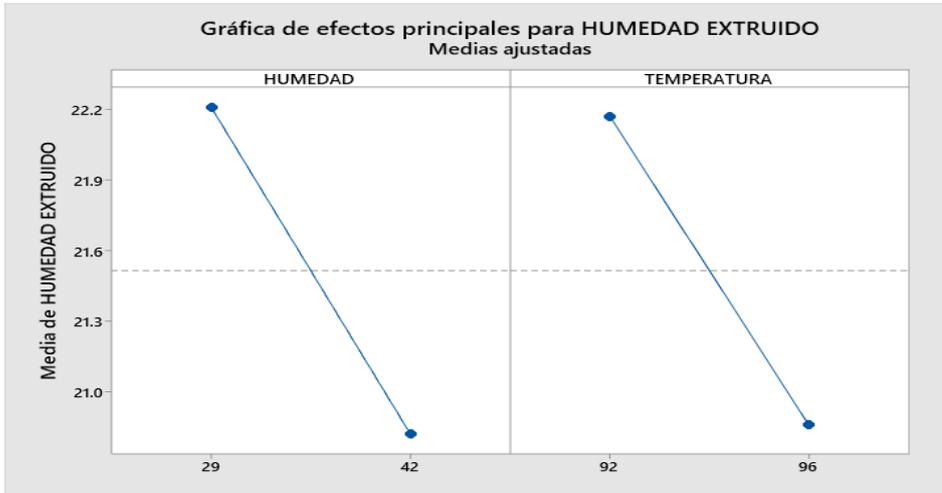
El valor del estadístico de Durbin-Watson es de 1,97324 que al encontrarse entre los rangos de 1,935 y 2,065 no existe autocorrelación entre los residuos para los datos del % de humedad del producto extruido.



**Ilustración 40-3:** Homogeneidad de varianza residuo vs ajustes

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

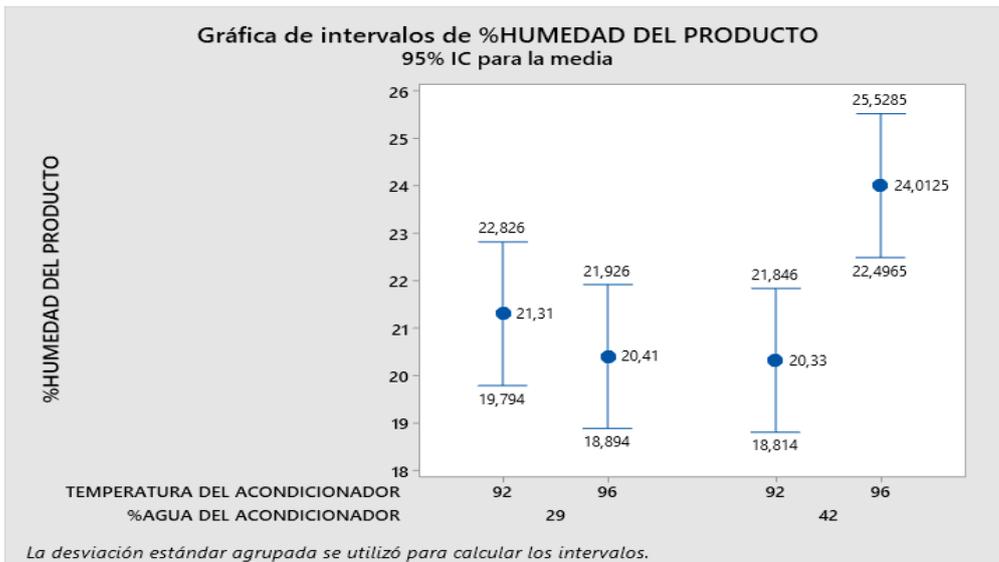
En la gráfica de homogeneidad de varianza se residuo vs ajuste, los residuos están dispersos aleatoriamente no siguen ningún patrón por lo que se cumple el supuesto de homogeneidad de varianza en los datos del % de humedad del producto extruido.



**Ilustración 41-3:** Gráfica de efectos principales para humedad de producto extruido.

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

La gráfica de efectos principales determina que para maximizar el porcentaje de humedad del producto extruido se debe trabajar con los niveles de 29 en el % de agua de acondicionador y 92 en la temperatura de acondicionador.

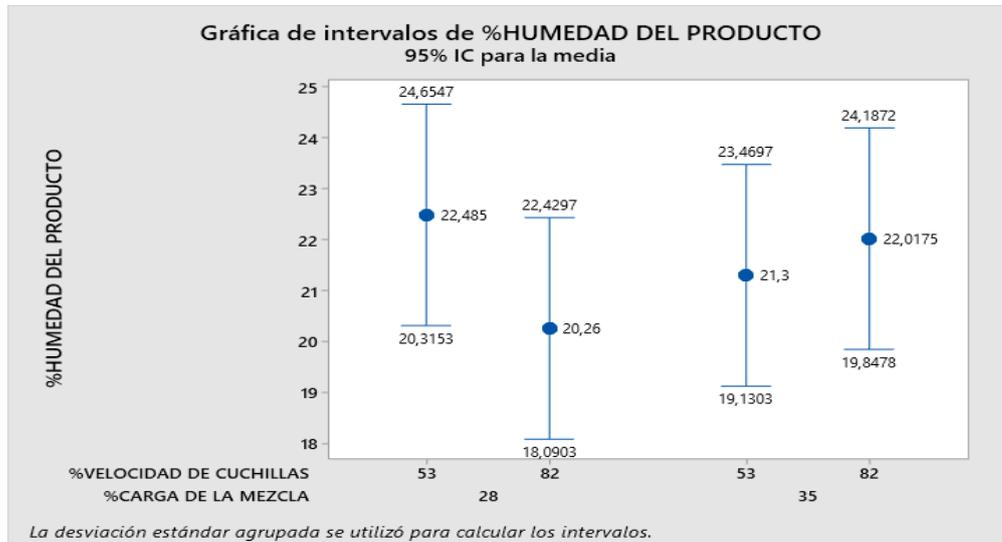


**Ilustración 42-3:** Intervalos de la humedad del producto extruido del diseño factorial 2<sup>4</sup> para TL32%, efecto interactivo AB

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

### Interpretación

De acuerdo con la gráfica de intervalos y con el objetivo de maximizar la humedad del producto tilapia, se identifica que el mejor tratamiento ocurre cuando el factor B: temperatura del acondicionador y el factor A: % de agua del acondicionador se encuentran en niveles altos.



**Ilustración 43-3:** Intervalos de la humedad del producto extruido del diseño factorial 2<sup>4</sup> para TL32%, efecto interactivo CD

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

### Interpretación

De acuerdo con la gráfica de intervalos y con el objetivo de maximizar la humedad del producto tilapia, se identifica que el mejor tratamiento ocurre cuando el factor C: velocidad de cuchillas y el factor D: % carga de la mezcla se encuentren en un nivel bajo.

**Tabla 43-3:** Ecuación de regresión en unidades no codificadas

%HUMEDA	= -677	+ 17,8 %AGUA DEL ACONDICIONADOR
D DEL PRODUCTO	+ 7,51 TEMPERATURA DEL ACONDICIONADOR	+ 30,0 %CARGA DE LA MEZCLA
	- 0,292 % VELOCIDAD DE CUCHILLAS	
	- 0,182 %AGUA DEL ACONDICIONADOR*TEMPERATURA DEL ACONDICIONADOR	
	- 0,813 %AGUA DEL ACONDICIONADOR*%CARGA DE LA MEZCLA	
	- 0,00538 %AGUA DEL ACONDICIONADOR*% VELOCIDAD DE CUCHILLAS	
	- 0,327 TEMPERATURA DEL ACONDICIONADOR*%CARGA DE LA MEZCLA	
	+ 0,01450 %CARGA DE LA MEZCLA*% VELOCIDAD DE CUCHILLAS	
	+ 0,00859 %AGUA DEL ACONDICIONADOR*TEMPERATURA DEL ACONDICIONADOR*	
	%CA	
	RG A DE LA MEZCLA	

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

### Interpretación

Esta ecuación se utilizará en el momento que el operario extrusor desee cambiar un parámetro preestablecido por el programa permitiendo obtener el valor que se requiera de la humedad del producto extruido.

- Resolución en el software minitab del diseño factorial  $2^4$  para TL32% con la variable respuesta flotabilidad

**Tabla 44-3:** Resumen del modelo del diseño factorial  $2^4$  para TL32% con la variable respuesta flotabilidad

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,0369505	94,09%	91,94%	87,49%

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

### Interpretación

El  $R^2$  ajustado indica que el 91,94% de los factores estudiados (% de agua del acondicionador, temperatura del acondicionados, % de carga de la mezcla y % de velocidad de la cuchilla) influyen en la humedad luego del secado mientras que un 8,06% son por otros factores no estudiados

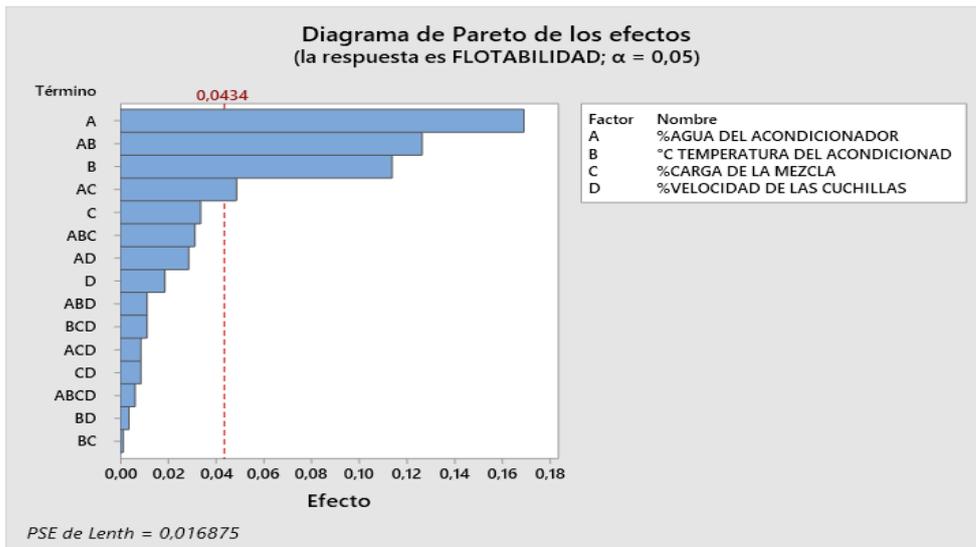
**Tabla 45-3:** Análisis de varianza del diseño factorial  $2^4$  para TL32% con la variable respuesta flotabilidad

Fuente	Valor F	Valor p
Modelo	43,75	0,000
Lineal	60,67	0,000
A. %AGUA DEL ACONDICIONADOR	83,43	0,000
B. °C TEMPERATURA DEL ACONDICIONAD	37,91	0,000
Interacciones de 2 términos	26,83	0,000
AB %AGUA DEL ACONDICIONADOR*°C TEMPERATURA DEL ACONDICIONAD	46,70	0,000
AC %AGUA DEL ACONDICIONADOR*%CARGA DE LA MEZCLA	6,96	0,023

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

### Interpretación

Mediante el análisis ANOVA del diseño factorial  $2^4$  se determinó que existen valores de  $p < 0,05$ , los cuales representan un efecto significativo con respecto a la flotabilidad de TL32%, determinado por: AB y AC.

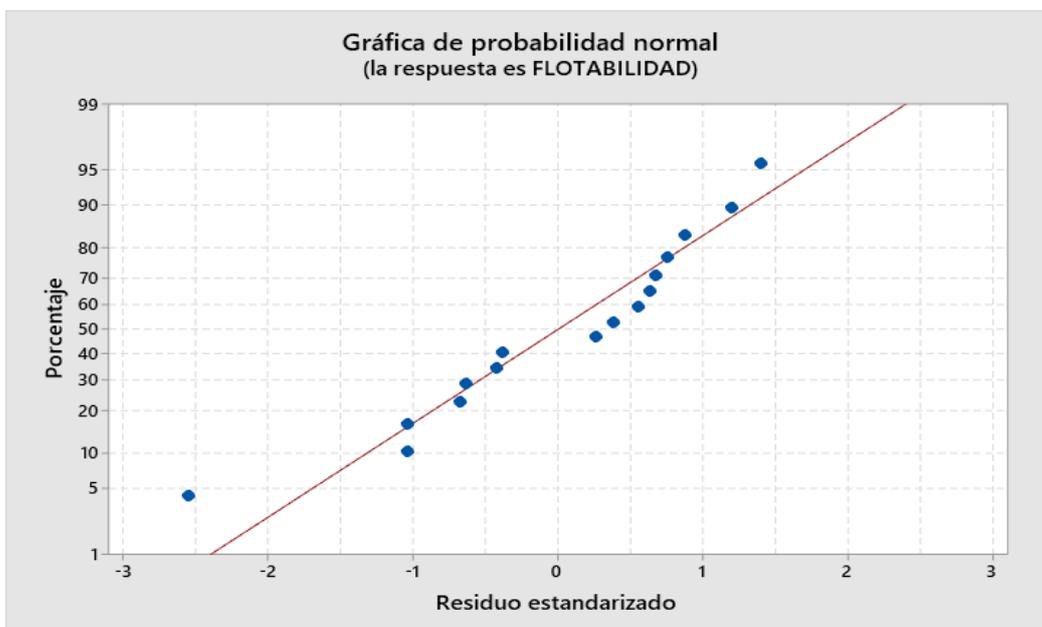


**Ilustración 44-3:** Diagrama de Pareto de efectos estandarizados del diseño factorial  $2^4$  para TL32% con la variable respuesta flotabilidad

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

### Interpretación

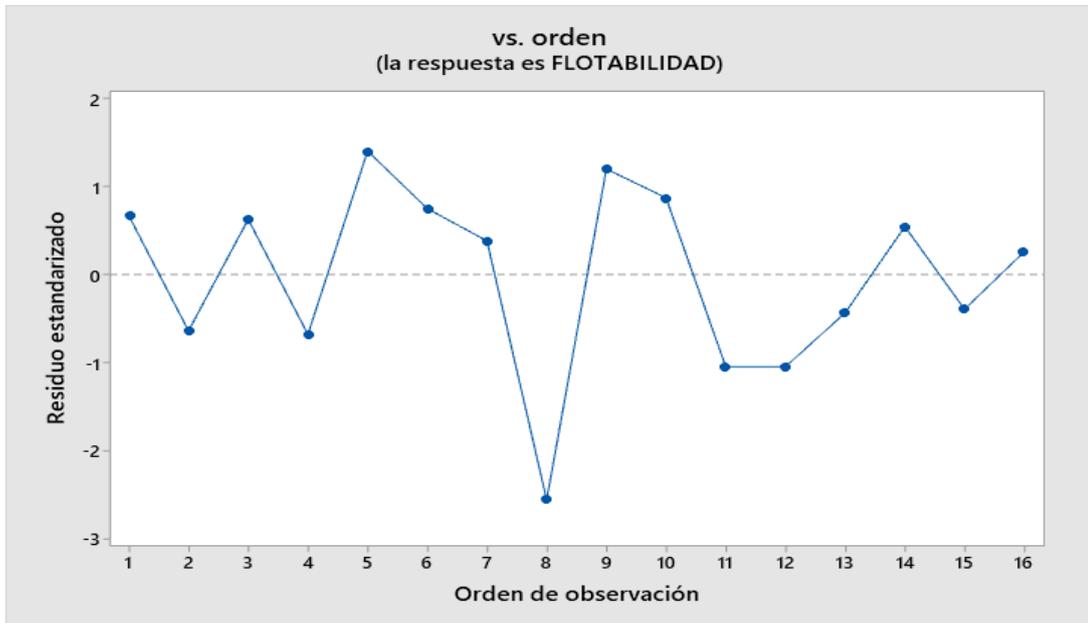
De acuerdo con el diagrama de Pareto de efectos estandarizados, el factor A, B, AB, y AC son significativos.



**Ilustración 45-3:** Test de normalidad para variable flotabilidad

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

La gráfica de probabilidad normal en la flotabilidad del producto extruido indica que los residuos tienen desviaciones respecto a la diagonal, pero los puntos se aproximan a la diagonal por lo que se confirma la hipótesis de normalidad.



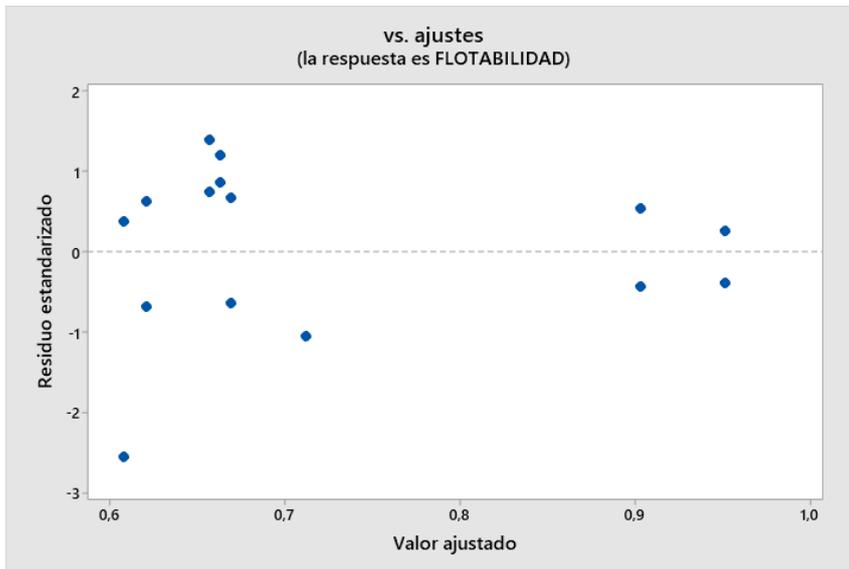
**Ilustración 46-3:** Supuesto de independencia en la variable flotabilidad

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

- **Estadístico de Durbin-Watson**

Estadístico de Durbin-Watson = 2,03424

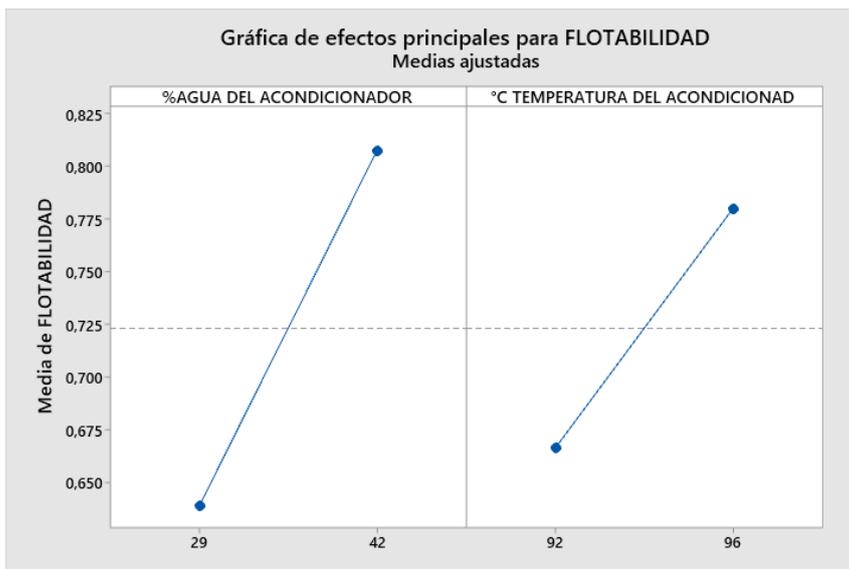
El valor del estadístico de Durbin-Watson es de 2,03424 que se encuentra entre de rangos de 1,935 y 2,065 por lo que no existe autocorrelación entre los residuos para los datos de la flotabilidad del producto extruido.



**Ilustración 47-3:** Homogeneidad de varianza residuo vs ajustes.

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

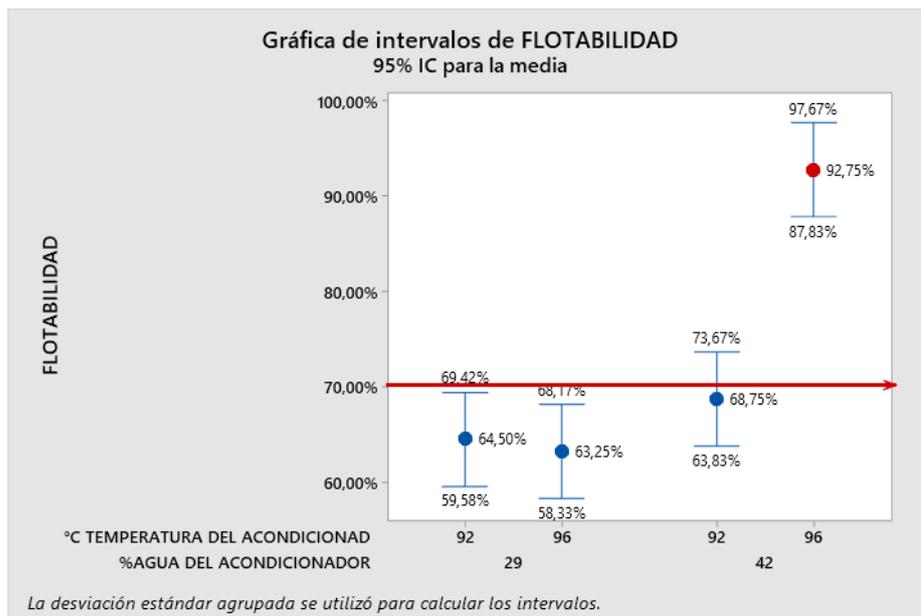
En la gráfica de homogeneidad de varianza se residuo vs ajuste, los residuos están dispersos aleatoriamente no siguen ningún patrón por lo que se cumple el supuesto de homogeneidad de varianza en los datos de la flotabilidad.



**Ilustración 48-3:** Interacción para variable flotabilidad

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

La gráfica de efectos principales determina que para maximizar la flotabilidad en el producto extruido se debe trabajar con los niveles de 42 en el % de agua de acondicionador y 96 la temperatura de acondicionador.



**Ilustración 49-3:** Intervalos de flotabilidad del diseño factorial 2<sup>4</sup> para TL32%, efecto interactivo AB

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

### Interpretación

De acuerdo con la gráfica de intervalos y con el objetivo de maximizar la flotabilidad del producto tilapia, se identifica que el mejor tratamiento ocurre cuando el factor B: temperatura del acondicionador y el factor A: % de agua del acondicionador se encuentran en niveles altos

**Tabla 46-3:** Ecuación de regresión en unidades codificadas

$$\begin{aligned}
 \text{FLOTABILIDAD} = & 0,72313 + 0,08438 \text{ \%AGUA DEL ACONDICIONADOR} \\
 & + 0,05687 \text{ } ^\circ\text{C TEMPERATURA DEL ACONDICIONAD} \\
 & + 0,06313 \text{ \%AGUA DEL ACONDICIONADOR} * ^\circ\text{C TEMPERATURA DEL} \\
 & \text{ACONDICIONAD} \\
 & + 0,02437 \text{ \%AGUA DEL ACONDICIONADOR} * \text{\%CARGA DE LA MEZCL} \\
 & \text{A}
 \end{aligned}$$

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

### Interpretación

Esta ecuación se utilizará en el momento que el operario extrusor desee cambiar un parámetro preestablecido por el programa permitiendo obtener el valor que se requiera de flotabilidad del producto.

- Resolución en el software minitab del diseño factorial 2<sup>4</sup> para TL32% con la variable respuesta amperaje

**Tabla 47-3:** Resumen del modelo del diseño factorial 2<sup>4</sup> para TL32% con la variable respuesta amperaje

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
5,13621	85,80%	80,64%	69,96%

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

### Interpretación

El R<sup>2</sup> ajustado indica que el 80,64% de los factores estudiados (% de agua del acondicionador, temperatura del acondicionados, % de carga de la mezcla y % de velocidad de la cuchilla) influyen en la humedad luego del secado mientras que un 19,36% son por otros factores no estudiados.

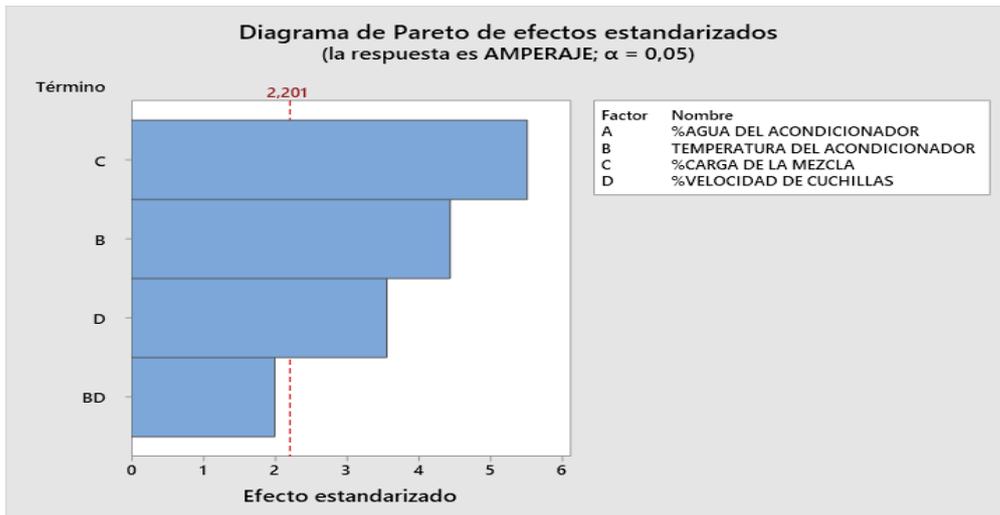
**Tabla 48-3:** Análisis de varianza del diseño factorial 2<sup>4</sup> para TL32% con la variable respuesta amperaje

Fuente	Valor p
Modelo	0,000
Lineal	0,000
B. TEMPERATURA DEL ACONDICIONADOR	0,001
C. %CARGA DE LA MEZCLA	0,000
D. % VELOCIDAD DE CUCHILLAS	0,005
Interacciones de 2 términos	0,071
BD. TEMPERATURA DEL ACONDICIONADOR*% VELOCIDAD DE CUCHILLAS	0,071

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

### Interpretación

Mediante el análisis ANOVA del diseño factorial 2<sup>4</sup> se determinó que existen valores de p<0,05, los cuales representan un efecto significativo con respecto al amperaje de la máquina extrusora para el producto TL32%, determinados por: C, B, D.

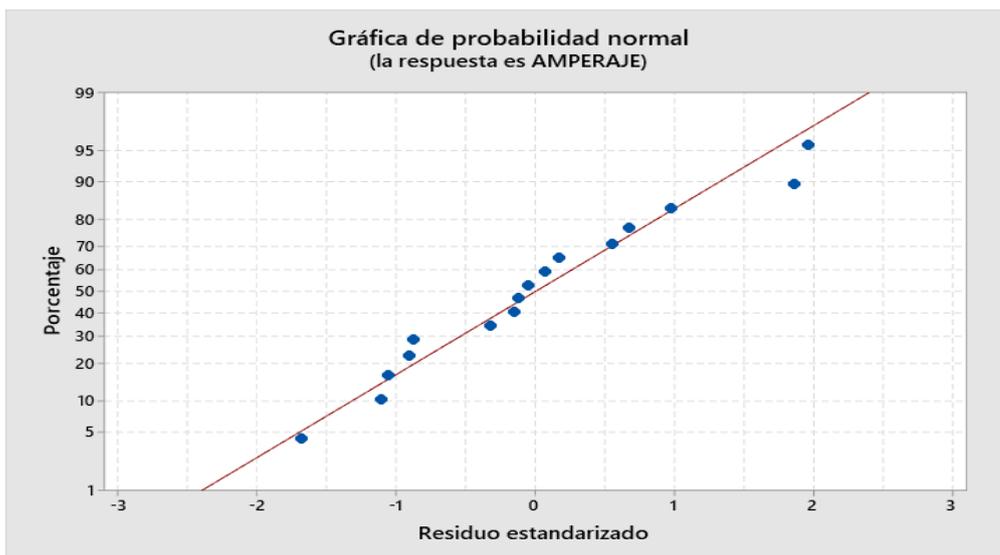


**Ilustración 50-3:** Diagrama de Pareto de efectos estandarizados del diseño factorial  $2^4$  para TL32% con la variable respuesta amperaje de la máquina extrusora

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

### Interpretación

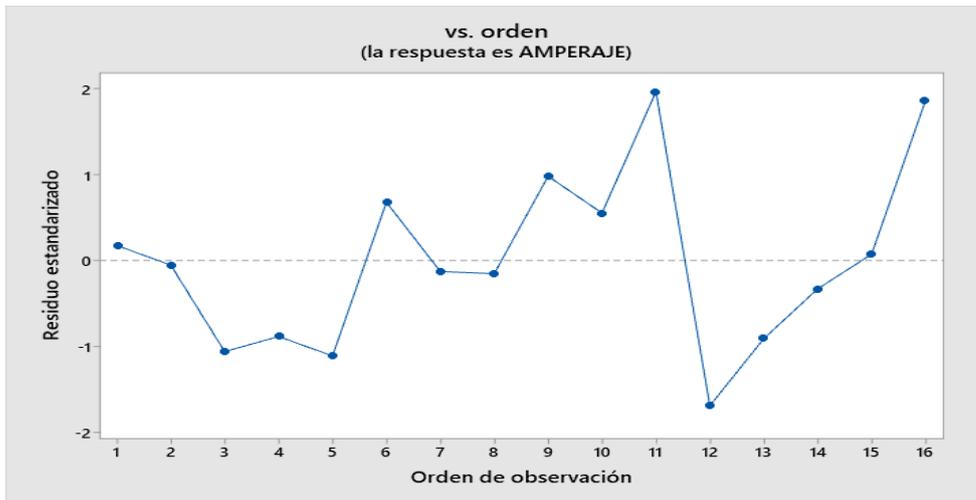
De acuerdo con el diagrama de Pareto de efectos estandarizados, los factores C, B, D son significativos.



**Ilustración 51-3:** Test de normalidad para variable Amperaje consumido

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

La gráfica de probabilidad normal en el amperaje consumido por la máquina extrusora indica que los residuos tienen desviaciones respecto a la diagonal, pero los puntos se aproximan a la diagonal por lo que se confirma la hipótesis de normalidad.



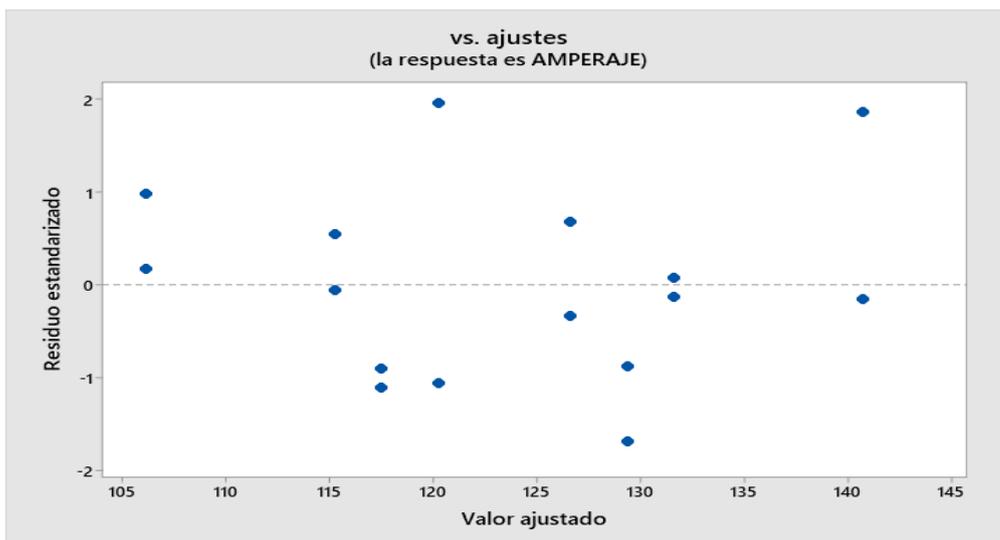
**Ilustración 52-3:** Supuesto de independencia para variable amperaje

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

- **Estadístico de Durbin-Watson**

Estadístico de Durbin-Watson = 1,97837

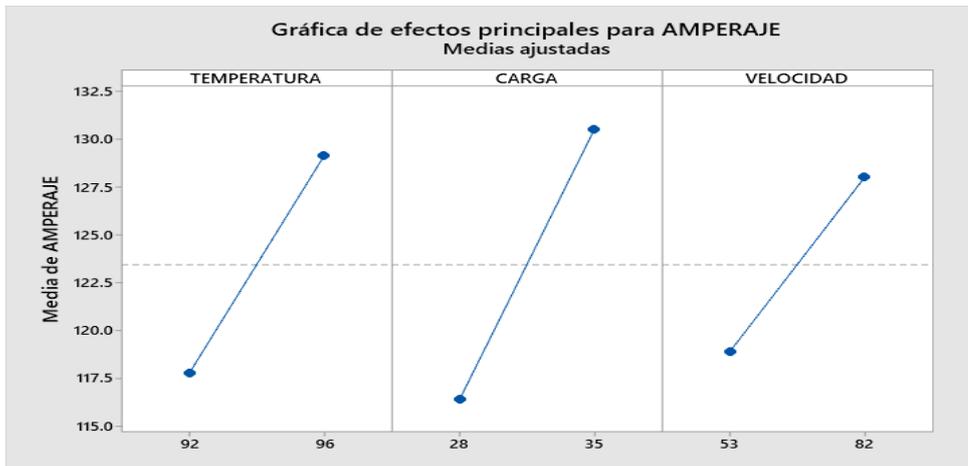
El valor del estadístico de Durbin-Watson es de 1,97837 que se encuentra entre los rangos de 1,935 y 2,065 por lo que se concluye que no existe autocorrelación entre los residuos para los datos del amperaje consumido por la máquina extrusora siendo independientes entre sí.



**Ilustración 53-3:** Homogeneidad de varianza residuo vs ajustes

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

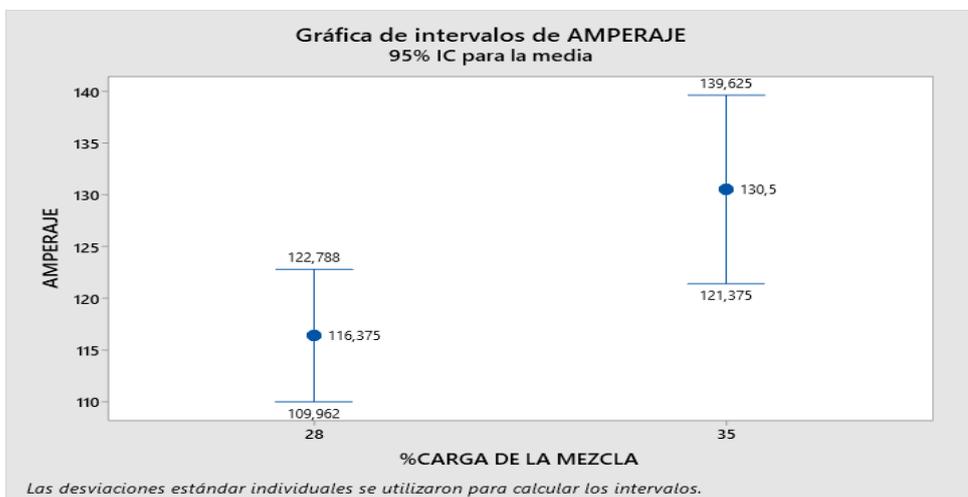
En la gráfica de homogeneidad de varianza se residuo vs ajuste, los residuos están dispersos aleatoriamente no siguen ningún patrón por lo que se cumple el supuesto de homogeneidad de varianza en los datos del amperaje consumido por la máquina extrusora.



**Ilustración 54-3:** Efectos principales para el amperaje consumido por la máquina extrusora.

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

La gráfica de efectos principales determinar que para minimizar el amperaje consumido por la máquina extrusora se debe trabajar con los niveles 92°C en la temperatura del acondicionador, 28 % la carga de la mezcla y 53% la velocidad de la cuchilla.

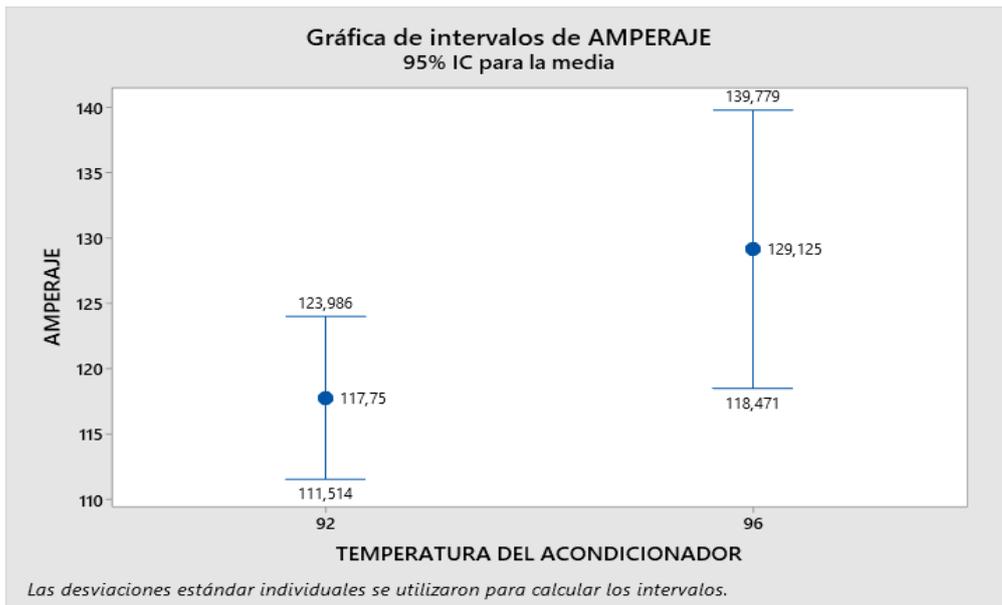


**Ilustración 55-3:** Intervalos de amperaje del diseño factorial  $2^4$  para TL32% con la variable respuesta amperaje del efecto C.

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

### Interpretación

De acuerdo con la gráfica de intervalos y con el objetivo de minimizar el consumo de amperaje para la producción del producto tilapia, se identifica que el mejor tratamiento ocurre cuando el factor C: carga de la mezcla se encuentra en un nivel bajo.

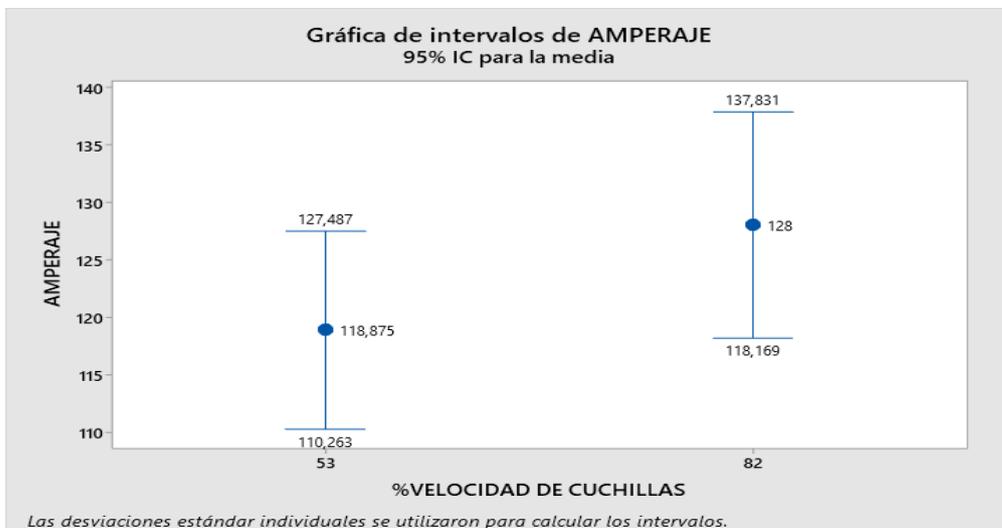


**Ilustración 56-3:** Intervalos de amperaje del diseño factorial  $2^4$  para TL32% con la variable respuesta amperaje del efecto B.

**Realizado por:** Aguirre Y, Vega M. 2022

### Interpretación

De acuerdo con la gráfica de intervalos y con el objetivo de minimizar el consumo de amperaje para la producción del producto tilapia, se identifica que el mejor tratamiento ocurre cuando el factor B: temperatura del acondicionador se encuentra en un nivel bajo.



**Ilustración 57-3:** Intervalos de amperaje del diseño factorial  $2^4$  para TL32% con la variable respuesta amperaje del efecto D.

### Interpretación

De acuerdo con la gráfica de intervalos y con el objetivo de minimizar el consumo de amperaje para la producción del producto tilapia, se identifica que el mejor tratamiento ocurre cuando el factor D: velocidad de cuchillas se encuentra en un nivel bajo.

**Tabla 49-3:** Ecuación de regresión en unidades no codificadas

---

$$\text{AMPERA} = 332 - 3,12 \text{ TEMPERATURA DEL ACONDICIONADOR} \\ + 2,018 \% \text{ CARGA DE LA MEZCLA} \\ - 7,99 \% \text{ VELOCIDAD DE CUCHILLAS} \\ + 0,0884 \text{ TEMPERATURA DEL ACONDICIONADOR} * \% \text{ VELOCIDAD DE CUCHILLAS}$$

---

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

### Interpretación

Esta ecuación se utilizará en el momento que el operario extrusor desee cambiar un parámetro preestablecido por el programa permitiendo obtener el valor que se requiera del amperaje de la máquina extrusora con respecto a la obtención del producto TL32%

#### 3.11.3.4 *Diseño factorial 2<sup>3</sup> para el producto TL32%*

- Resolución en el software minitab del diseño factorial 2<sup>3</sup> para TL32% con la variable respuesta humedad del producto luego del secador.

**Tabla 50-3:** Resumen del modelo y del diseño factorial 2<sup>3</sup> para TL32% con la variable respuesta humedad del producto luego del secador

---

<b>Resumen del diseño</b>			
Factores:	3	Diseño de la base:	3; 8
Corridas:	8	Réplicas:	1
Bloques:	1	Puntos centrales (total):	0

---

#### **Resumen del modelo**

---

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,0494975	99,99%	99,93%	99,36%

---

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

### Interpretación

El  $R^2$  ajustado indica que el 99,93% de los factores estudiados (% de humedad del producto extruido, velocidad de la banda del secador y temperatura del secador) influyen en la humedad luego del secado mientras que un 0,07% son por otros factores no estudiados.

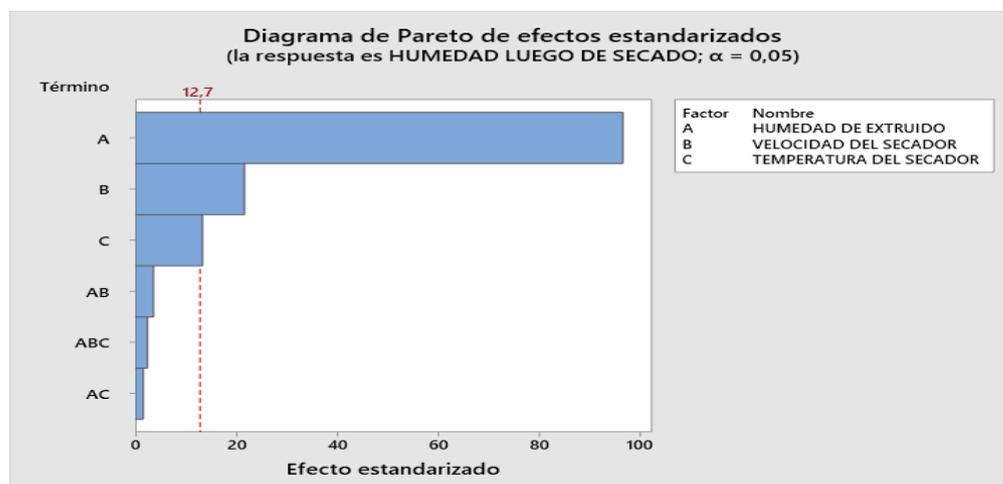
**Tabla 51-3:** Análisis de varianza del diseño factorial  $2^3$  para TL32% con la variable respuesta humedad del producto luego del secador

Fuente	Valor p
Modelo	0,019
Lineal	0,013
A. HUMEDAD DE EXTRUIDO	0,007
B. VELOCIDAD DEL SECADOR	0,029
C. TEMPERATURA DEL SECADOR	0,048
Interacciones de 2 términos	0,248
AB. HUMEDAD DE EXTRUIDO*VELOCIDAD DEL SECADOR	0,174
AC. HUMEDAD DE EXTRUIDO*TEMPERATURA DEL SECADOR	0,361
Interacciones de 3 términos	0,249
ABC. HUMEDAD DE EXTRUIDO*VELOCIDAD DEL SECADOR*TEMPERATURA DEL SECADOR	0,249

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

### Interpretación

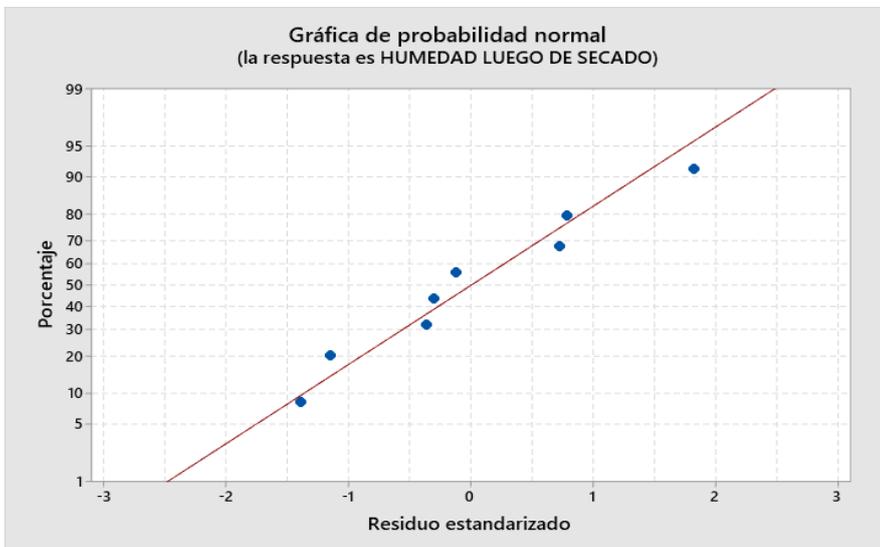
Mediante el análisis ANOVA del diseño factorial  $2^4$  se determinó que existen valores de  $p < 0,05$ , los cuales representan un efecto significativo con respecto a la humedad del producto TL32% luego del secado, determinados por: A, B, C.



**Ilustración 58-3:** Diagrama de Pareto de efectos estandarizados del diseño factorial  $2^3$  para TL32% con la variable respuesta humedad del producto luego del secador

## Interpretación

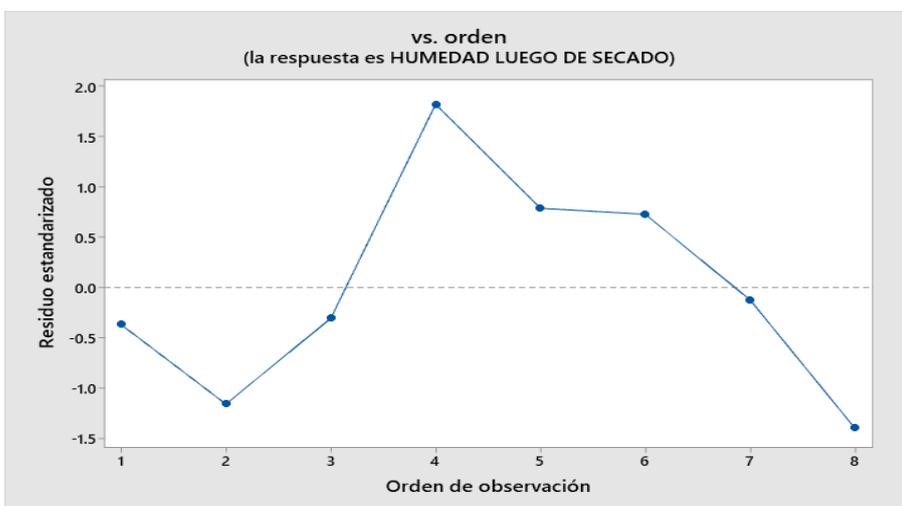
De acuerdo con el diagrama de Pareto de efectos estandarizados, los factores A, B, C son significativos.



**Ilustración 59-3:** Test de normalidad para variable humedad luego del secado

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

La gráfica de probabilidad normal en el % de humedad luego del secado indica que los residuos tienen desviaciones respecto a la diagonal, pero los puntos se aproximan a la diagonal por lo que se confirma la hipótesis de normalidad.



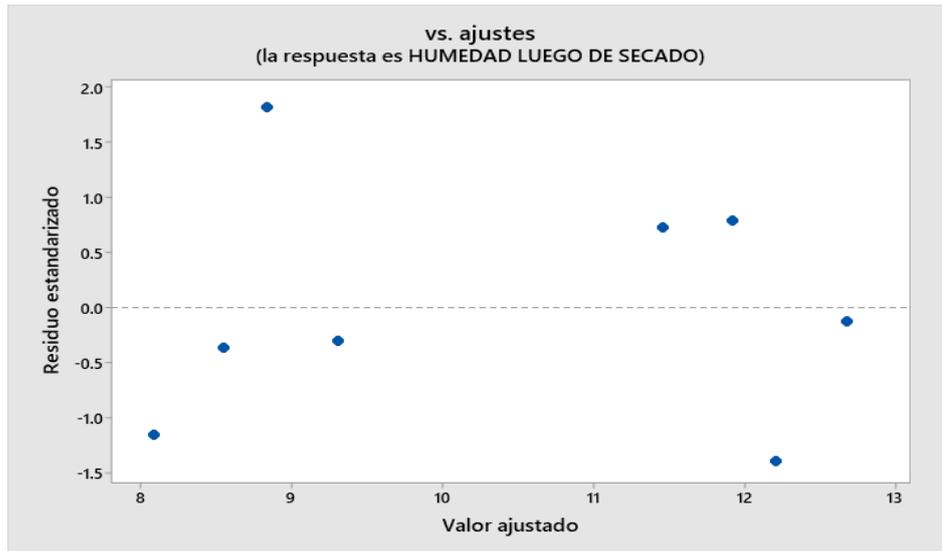
**Ilustración 60-3:** Supuesto de independencia variable humedad luego del secado.

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

- **Estadístico de Durbin-Watson**

Estadístico de Durbin-Watson = 1,96455

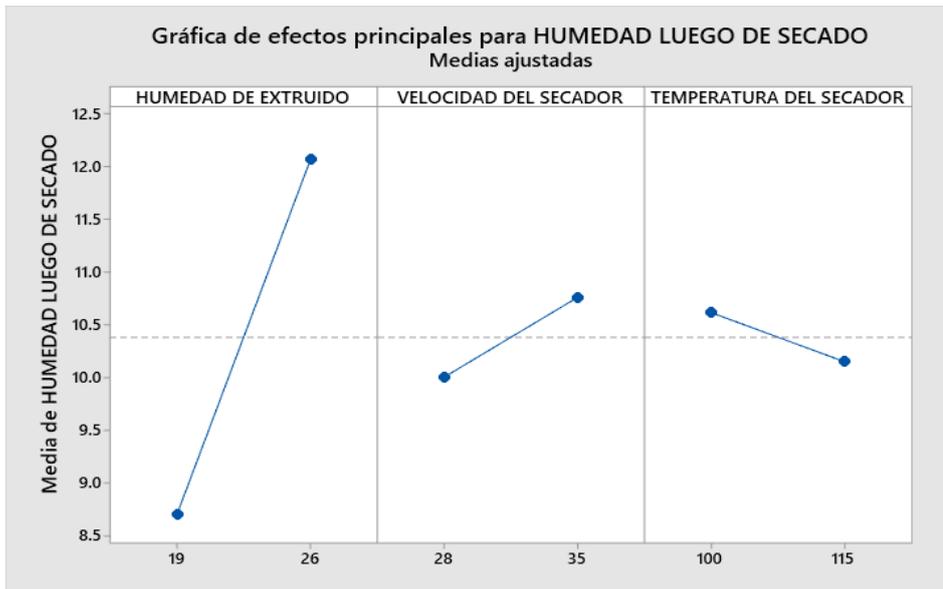
El valor del estadístico de Durbin-Watson es de 1,96455 que se encuentra entre los rangos de 1,728 y 2,272 por lo que no existe autocorrelación entre los residuos para los datos del % de humedad luego del secado.



**Ilustración 61-3:** Homogeneidad de varianza residuo vs ajustes.

**Realizado por:** Aguirre Y, Vega M. 2022

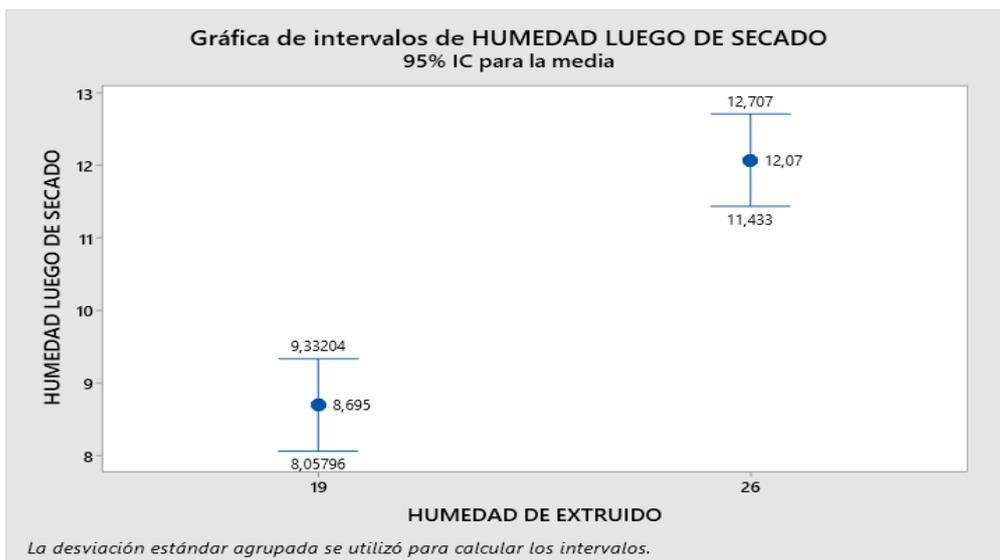
En la gráfica de homogeneidad de varianza se residuo vs ajuste, los residuos están dispersos aleatoriamente no siguen ningún patrón por lo que se cumple el supuesto de homogeneidad de varianza en los datos del % de humedad luego del secado.



**Ilustración 62-3:** Efectos principales para humedad luego del secado

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

La gráfica de efectos principales determina que para minimizar la humedad luego del secado del producto se debe trabajar con los niveles de humedad del extruido del 19%, una velocidad de banda del secador del 28%.

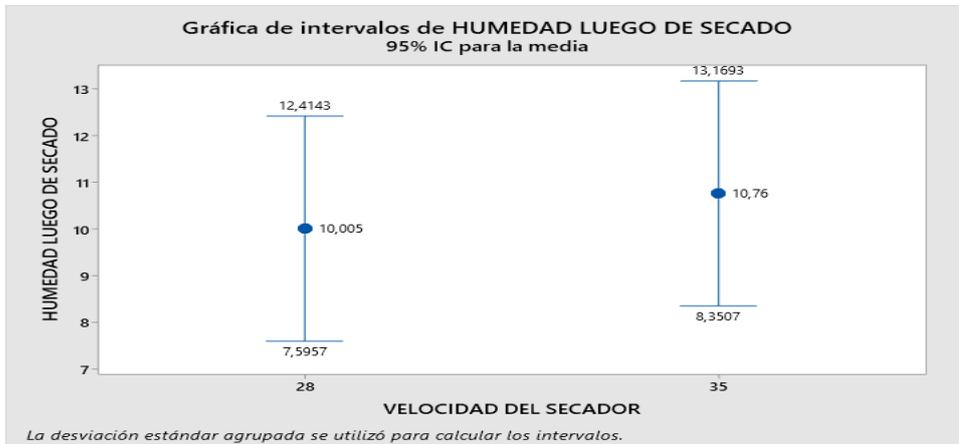


**Ilustración 63-3:** Intervalos de humedad del producto luego del secador del diseño factorial  $2^3$  para TL32% del efecto A.

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

### Interpretación

De acuerdo con la gráfica de intervalos y con el objetivo de minimizar la humedad del producto luego del secador para la producción del producto tilapia, se identifica que el mejor tratamiento ocurre cuando el factor A: humedad de extruido se encuentra en un nivel bajo.

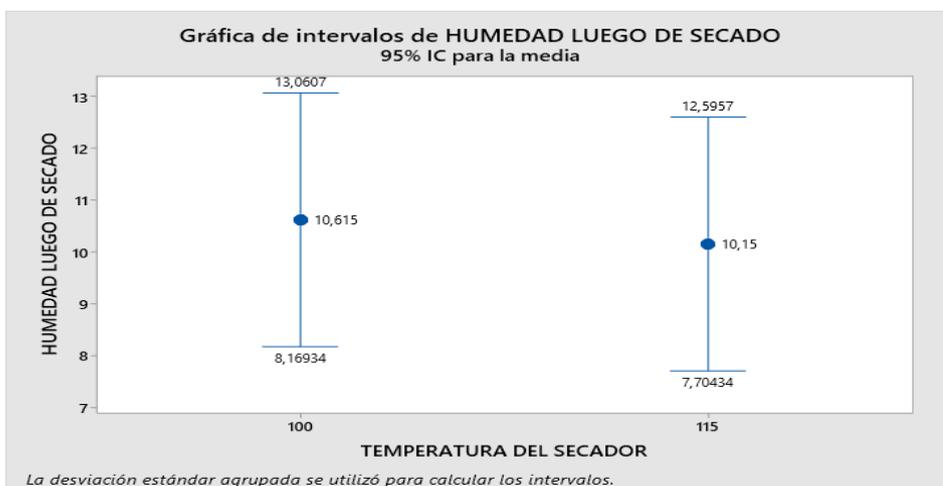


**Ilustración 64-3:** Intervalos de humedad del producto luego del secador del diseño factorial  $2^3$  para TL32%, del efecto B.

**Realizado por:** Aguirre Y, Vega M. 2022

### Interpretación

De acuerdo con la gráfica de intervalos y con el objetivo de minimizar la humedad del producto luego del secador para la producción del producto tilapia se identifica que el mejor tratamiento ocurre cuando el factor B: velocidad del secador se encuentra en un nivel bajo.



**Ilustración 65-3:** Intervalos de humedad del producto luego del secador del diseño factorial  $2^3$  para TL32%, del efecto C.

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

### Interpretación

De acuerdo con la gráfica de intervalos y con el objetivo de minimizar la humedad del producto luego del secador para la producción del producto tilapia, se identifica que el mejor tratamiento ocurre cuando el factor C: temperatura del secador se encuentren en un nivel alto.

**Tabla 52-3:** Ecuación de regresión en unidades codificadas

$$\begin{aligned} \text{HUMEDAD} &= 10,3825 + 1,6875 \text{ HUMEDAD DE EXTRUIDO} \\ &+ 0,3775 \text{ VELOCIDAD DEL SECADOR} \\ &- 0,2325 \text{ TEMPERATURA DEL SECADOR} \\ &- 0,0625 \text{ HUMEDAD DE EXTRUIDO} * \text{VELOCIDAD DEL SECADOR} \\ &- 0,0275 \text{ HUMEDAD DE EXTRUIDO} * \text{TEMPERATURA DEL SECADOR} \\ &- 0,0425 \text{ HUMEDAD DE EXTRUIDO} * \text{VELOCIDAD DEL SECADOR} * \text{TEMPERATURA DEL SECADOR} \end{aligned}$$

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

### Interpretación

Esta ecuación se utilizará en el momento que el operario extrusor desee cambiar un parámetro preestablecido por el programa permitiendo obtener el valor que se requiera de humedad del producto luego del secador del producto TL32%.

## 3.12 Comparación de resultados del modelo experimental

### 3.12.1 Parametrización para el producto “chucho” para el control de la humedad del extruido

**Tabla 53-3:** Parametrización del producto “chucho” para el control de la humedad del extruido

		NIVELES	
		BAJO	ALTO
A	% AGUA DEL ACONDICIONADOR	16	21
B	TEMPERATURA DEL ACONDICIONADOR	92	95
C	%CARGA DE LA MEZCLA	36	42
D	%VELOCIDAD DE LAS CUCHILLAS	50	63

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

**Tabla 54-3:** Humedades de producto extruido “chucho” luego de la parametrización

Humedad extruida		
	Antes	Después
1	18,78	17,5
2	19,01	17,33

3	18,23	17,29
4	18,90	17,32
5	19,73	17,03
6	19,79	17,35

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

El diseño factorial estableció parámetros apropiados para la instrucción de la máquina extrusora para la producción de “chucho” con respecto a la humedad del extruido que deberá ser en promedio del 17%. Además, la ecuación de regresión permitirá realizar ajustes a los parámetros si se llegará a necesitar un ajuste sobre la variable humedad.

### 3.12.2 Parametrización para el producto “chucho” para controlar la forma del extruido

**Tabla 55-3:** Parametrización del producto “chucho” para controlar la forma del extruido

		NIVELES	
		BAJO	ALTO
A	% AGUA DEL ACONDICIONADOR	16	21
B	TEMPERATURA DEL ACONDICIONADOR	92	95
C	%CARGA DE LA MEZCLA	36	42
D	%VELOCIDAD DE LAS CUCHILLAS	50	63

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

**Tabla 56-3:** Forma de producto extruido “chucho” luego de la parametrización.

Forma		
	Antes	Después
1	76%	89%
2	88%	90%
3	79%	87%
4	86%	94%
5	82%	91%
6	70%	88%

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

El diseño factorial estableció parámetros apropiados que fueron utilizados en la máquina extrusora, dando como resultado mayor al 85% con la forma del producto “chucho” sea en cortes, dimensiones uniformes y una adecuada presentación.

### 3.12.3 Parametrización para el producto “chucho” para controlar el consumo de amperaje de la extrusora

**Tabla 57-3:** Parametrización del producto “chucho” para controlar el consumo de amperaje de la extrusora

		NIVELES	
		BAJO	ALTO
A	% AGUA DEL ACONDICIONADOR	16	21
B	TEMPERATURA DEL ACONDICIONADOR	92	95
C	%CARGA DE LA MEZCLA	36	42
D	%VELOCIDAD DE LAS CUCHILLAS	50	63

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

**Tabla 58-3:** Amperajes de consumo de la producción de “chucho” luego de la parametrización

Amperaje		
	ANTES	DESPUÉS
1	162	140
2	160	145
3	143	143
4	155	142
5	171	142
6	170	143

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

El diseño factorial para la variable respuesta consumo de amperaje de la máquina extrusora, establece que debe encontrarse en parámetros de niveles bajos para la producción del producto “chucho” de acuerdo con el promedio medido obtenido de 142 A. El amperaje máximo de consumo es de 170 A, al llegar a este valor la máquina comienza a vibrar en exceso provocando desalineación del eje de la extrusora.

### 3.12.4 Parametrización para el producto “chucho” para controlar la humedad de la croqueta luego del secado

**Tabla 59-3:** Parametrización el producto “chucho” para controlar la humedad de la croqueta luego del secado

NIVELES	
BAJO	ALTO

HUMEDAD DEL PRODUCTO EXTRUIDO	17	21
VELOCIDAD DE LA BANDA DEL SECADOR (UP)	38	45
TEMPERATURA DEL SECADOR	105	113

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

**Tabla 60-3:** Humedades de producto seco “chucho” luego de la parametrización.

Humedad luego del secador		
	ANTES	DESPUÉS
1	8,76	8,95
2	9,1	9,23
3	9,19	9,15
4	9,27	9,21
5	9,45	9,2
6	9.57	9,15

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

El diseño factorial estableció parámetros apropiados manteniéndose dentro del rango de humedad establecido por la empresa de 8,9% - 9,3%. Las mediciones de humedad luego del secado se realizaron con el uso de la termobalanza.

### 3.12.5 Parametrización para el producto TL32% para el controlar la humedad del extruido

**Tabla 61-3:** Parametrización del producto TL32% para controlar la humedad del extruido

		NIVELES	
		BAJO	ALTO
A	% AGUA DEL ACONDICIONADOR	29	42
B	TEMPERATURA DEL ACONDICIONADOR	92	96
C	% CARGA DE LA MEZCLA	28	35
D	% VELOCIDAD DE LAS CUCHILLAS	53	82

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

**Tabla 62-3:** Humedades del producto extruido “TL32%” luego de la parametrización.

Humedad extruida		
	Antes	Después
1	21,12	23,12

2	19,84	23,21
3	21,12	23,34
4	23,16	23,19

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

El diseño factorial estableció parámetros apropiados para la instrucción de la máquina extrusora para la producción de “TL32%” con respecto a la humedad del extruido que deberá presentarse en un rango de 20 a 25%. Además, la ecuación de regresión permitirá realizar ajustes a los parámetros si se llegará a necesitar un ajuste sobre la variable humedad.

### 3.12.6 Parametrización para el producto TL32% para controlar la flotabilidad del extruido

**Tabla 63-3:** Parametrización del producto TL32% para controlar la flotabilidad del extruido

		NIVELES	
		BAJO	ALTO
A	% AGUA DEL ACONDICIONADOR	29	42
B	TEMPERATURA DEL ACONDICIONADOR	92	96
C	% CARGA DE LA MEZCLA	28	35
D	% VELOCIDAD DE LAS CUCHILLAS	53	82

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

**Tabla 64-3:** Flotabilidad del producto extruido “TL32%” luego de la parametrización.

FLOTABILIDAD		
	ANTES	DESPUÉS
1	68%	80%
2	68%	76%
3	70%	83%
4	76%	78%

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

El diseño factorial estableció los parámetros de instrucción para la máquina extrusora para garantizar que la producción de TL32% sea mayor a 5 minutos comprobándose este tiempo con un cronometro.



**Ilustración 66-3:** Muestra de flotabilidad del producto TL32%

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

### 3.12.7 Parametrización para el producto TL32% para controlar el consumo de amperaje de la extrusora

**Tabla 65-3:** Parametrización del producto TL32% para controlar el consumo de amperaje de la extrusora

		NIVELES	
		BAJO	ALTO
A	% AGUA DEL ACONDICIONADOR	29	42
B	TEMPERATURA DEL ACONDICIONADOR	92	96
C	% CARGA DE LA MEZCLA	28	35
D	% VELOCIDAD DE LAS CUCHILLAS	53	82

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

**Tabla 66-3:** Amperajes de consumo de la producción de “TL32%” luego de la parametrización.

Amperaje		
	ANTES	DESPUÉS
1	113	129
2	125	128
3	132	131
4	150	130

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

El diseño factorial  $2^4$  establece que la variable respuesta consumo de amperaje de la máquina extrusora debe estar en un nivel bajo pero el mismo diseño para la variable respuesta Humedad del producto extruido establece que el factor B (temperatura del acondicionador) debe encontrarse en un nivel alto para garantizar la flotabilidad del producto. Sin embargo, el factor B en nivel alto o bajo no supera el límite máximo de consumo de amperaje como se muestra en la tabla, lo que no afectaría a la producción de “TL32%”.

### 3.12.8 Parametrización para el producto TL32% para controlar la humedad del balanceado luego del secado

**Tabla 67-3:** Parametrización el producto TL32% para controlar la humedad del balanceado luego del secado

		NIVELES	
		BAJO	ALTO
A	HUMEDAD DEL PRODUCTO EXTRUIDO	19	26
B	VELOCIDAD DE LA BANDA DEL SECADOR (UP)	28	35
C	TEMPERATURA DEL SECADOR	100	115

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

**Tabla 68-3:** Humedades de producto seco “TL32%” luego de la parametrización.

Humedad luego del secador		
	ANTES	DESPUÉS
1	9,28	9,25
2	8,99	9,27
3	11,99	9,33
4	11,52	9,31

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

El diseño factorial  $2^3$  estableció parámetros apropiados para la instrucción de la máquina secadora para la producción de “TL32%” con respecto a la humedad luego del secado que deberá presentarse en un rango de 9,2 a 10%. Además, la ecuación de regresión permitirá realizar ajustes a los parámetros si se llegará a necesitar un ajuste sobre la variable humedad.

Adicional al control de humedad, los parámetros para extrusión y secado garantizan la extrusión de 4 mm comprobado con el calibrador pie de rey.



**Ilustración 67-3:** Medición del producto TL32%

**Realizado por:** Aguirre Y, Vega M. 2022

### 3.13 Resultados después de la aplicación de parámetros en el producto “chucho”

**Tabla 69-3:** Antes de la aplicación de parámetros en el producto “chucho”

<b>Antes</b>		
"Chucho" Lote 32632		
Producción (kg)	15 000	
Reproceso (kg)	310	2,066%
Costo de reproceso (kg)	\$ 0,45	
Costo de reproceso total	\$ 139,50	100%

**Realizado por:** Aguirre Y, Vega M. 2022

**Tabla 70-3:** Después de la aplicación de parámetros en el producto “chucho”

<b>Después</b>		
"Chucho" Lote 3134		
Producción (kg)	15 000	
Reproceso (kg)	40	0,266%
Costo de reproceso (kg)	\$ 0,45	
Costo de reproceso	\$ 18,00	13%

**Realizado por:** Aguirre Y, Vega M. 2022

Un lote de producción de 15 000 kg se realiza en 12 horas lo que representa una jornada de trabajo para la empresa Chambo y el costo de producir un kg de producto chucho es de \$0,4955 dólares

Al parametrizar la máquina extrusora se solucionó la variabilidad en la humedad del extruido, su forma, el amperaje que consumía y también se logró dar solución a la humedad después del secado. Particulares que permitieron disminuir 270 kg de producto para reproceso representando una disminución del 87% en comparación a una producción sin parametrización.

- Costo de producción de un lote de 15 000 kg

$$15\ 000\ kg * \$0,4955 = \$7\ 432,50$$

- Productividad antes de parametrización

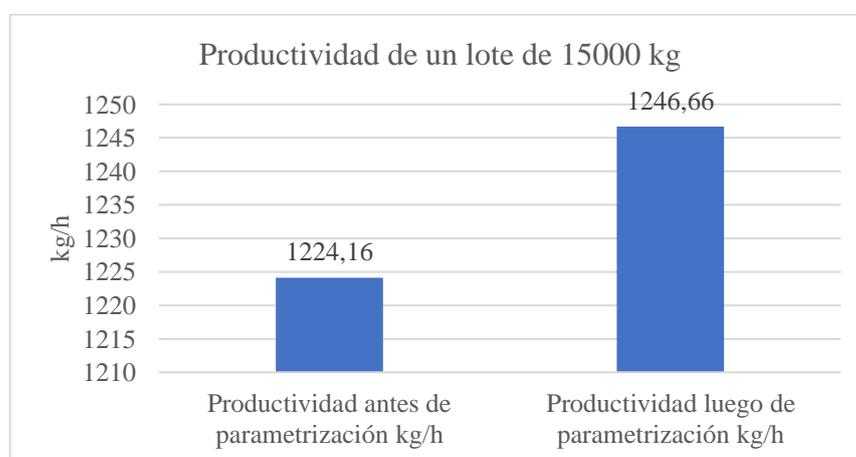
$$15\ 000\ kg - 310\ kg = 14\ 690\ kg$$

$$\frac{14\ 690\ kg}{12\ horas} = 1\ 224,16\ kg/h$$

- Productividad luego de parametrización

$$15\ 000\ kg - 40\ kg = 14\ 960\ kg$$

$$\frac{14\ 960\ kg}{12\ horas} = 1\ 246,66\ kg/h$$



**Ilustración 68-3:** Productividad antes y después de la parametrización

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

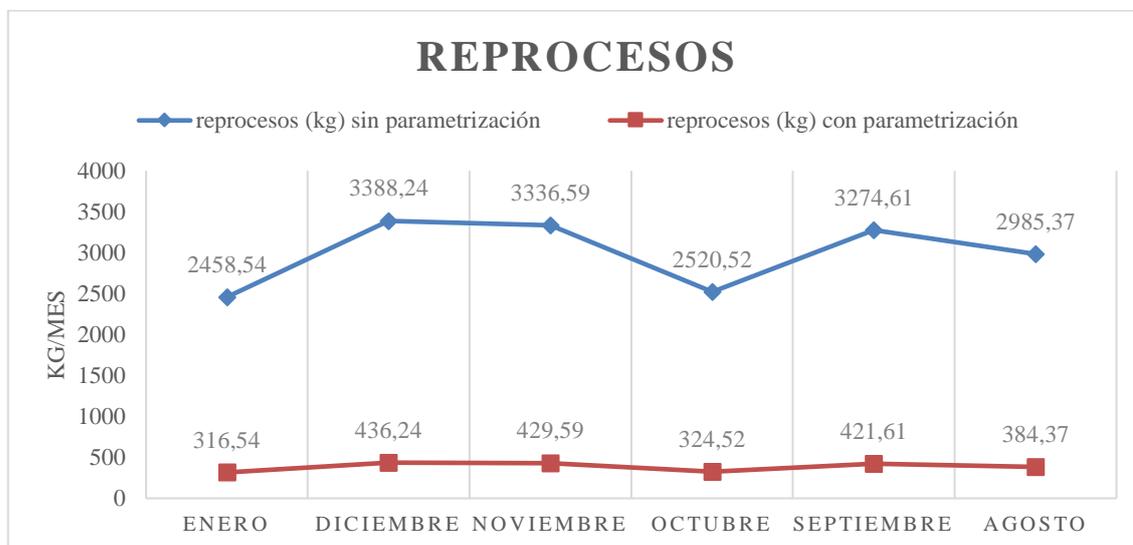
Se puede apreciar un aumento de productividad de 22,50 kg/h, que representa 270kg producidos en 12 horas o en una jornada de trabajo

**Tabla 71-3:** Productividad de chucho en los últimos 6 meses con y sin parametrización

Producción de chucho últimos 6 meses		Reprocesos (kg)	
Mes	kg	sin parametrización	con parametrización
Enero	119000	2458,54	316,54
Diciembre	164000	3388,24	436,24

Noviembre	161500	3336,59	429,59
Octubre	122000	2520,52	324,52
Septiembre	158500	3274,61	421,61
Agosto	144500	2985,37	384,37
<b>TOTAL</b>	<b>869500</b>	<b>17963,87</b>	<b>2312,87</b>

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022



**Ilustración 69-3:** Productividad de chucho en los últimos 6 meses con y sin parametrización

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

- Costo de reprocesos de últimos 6 meses de producción sin parametrización

Se multiplica el total de la producción en kg del producto extruido por el porcentaje promedio de producto para reproceso, el valor obtenido lo multiplicamos por el valor en dólares de costo de 1kg de reproceso.

$$869\ 500\ kg * 2,066\% = 17\ 963,87\ kg\ (\text{reproceso})$$

$$17\ 963,87\ kg * 0,45\ \$/kg = \$8\ 083,74$$

\$8 083,74 representa el costo de reprocesos en los últimos 6 meses.

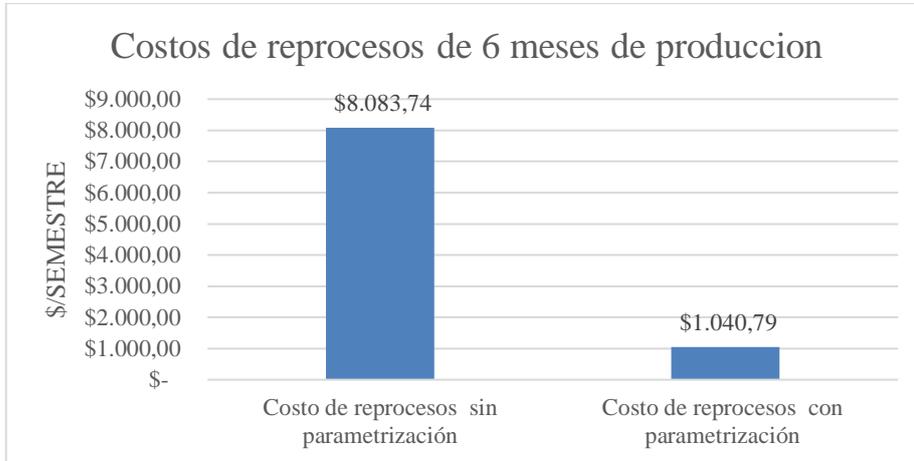
- Costo de reprocesos de últimos 6 meses de producción con parametrización

Se multiplica el total de la producción en kg del producto extruido por el porcentaje promedio de producto para reproceso, el valor obtenido lo multiplicamos por el valor en dólares de costo de 1kg de reproceso

$$869\ 500\ kg * ,266\% = 2\ 312,87\ kg$$

$$2\,312,87\text{ kg} * \$0,45 = \$1\,040,79$$

La cantidad \$1 040,79 representa el costo de reprocesos en los últimos 6 meses con la parametrización, lo que hubiera representado un ahorro de \$7 042,95 dólares.



**Ilustración 70-3:** Costos de reprocesos de los 6 meses de producción

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

- Productividad en 6 meses sin parametrización

$$869\,500\text{ kg} - 17\,963,87\text{ kg} = 851\,536,13\text{kg}$$

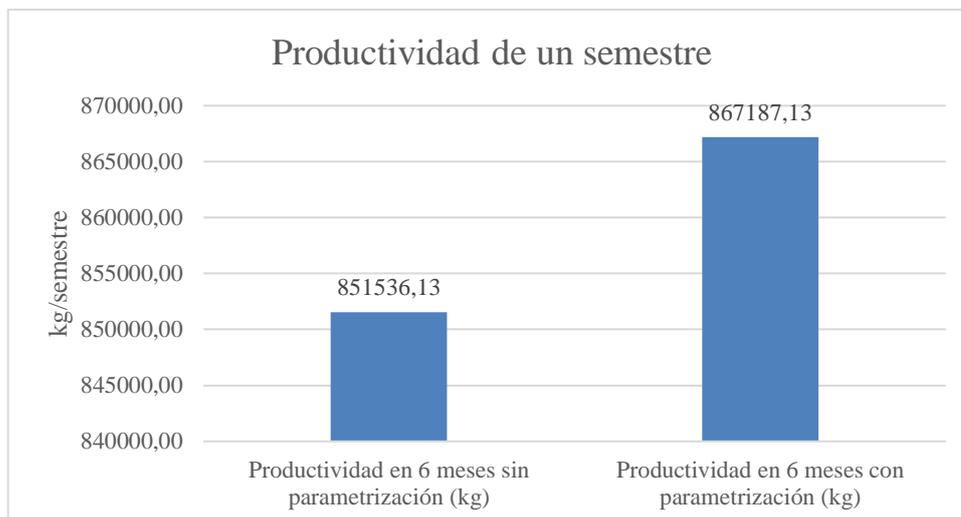
$$\frac{851\,536,13\text{kg}}{6\text{ meses}} = 141\,922,69\text{ kg/mes}$$

- Productividad en 6 meses con parametrización

$$869\,500\text{ kg} - 2\,312,87\text{ kg} = 867\,187,13\text{kg}$$

$$\frac{867\,187,13\text{kg}}{6\text{ meses}} = 144\,531,19\text{ kg/mes}$$

La productividad en promedio aumento 2 608,5 kg/mes



**Ilustración 71-3:** Productividad de un semestre

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

### 3.14 Resultados después de la aplicación de parámetros en el producto “Tl 32%”

**Tabla 72-3:** Antes de la aplicación de parámetros en el producto “Tl 32%”

Antes		
"TL 32%" Lote 2152		
Producción (kg)	15 000	
Reproceso (kg)	380	2,53%
Costo de reproceso (kg)	\$ 0,45	
Costo de reproceso	\$ 171,00	100%

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

**Tabla 73-3:** Después de la aplicación de parámetros en el producto “Tl 32%”

Después		
"Tl 32%" Lote 2913		
Producción (kg)	15 000	
Reproceso (kg)	60	0,4%
Costo de reproceso (kg)	\$ 0,45	
Costo de reproceso	\$ 27,00	15,79%

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

- Costo de producción de un lote de 15 000 kg

$$15\ 000\ kg * \$0,4659 = \$6\ 988,50$$

- Productividad antes de parametrización

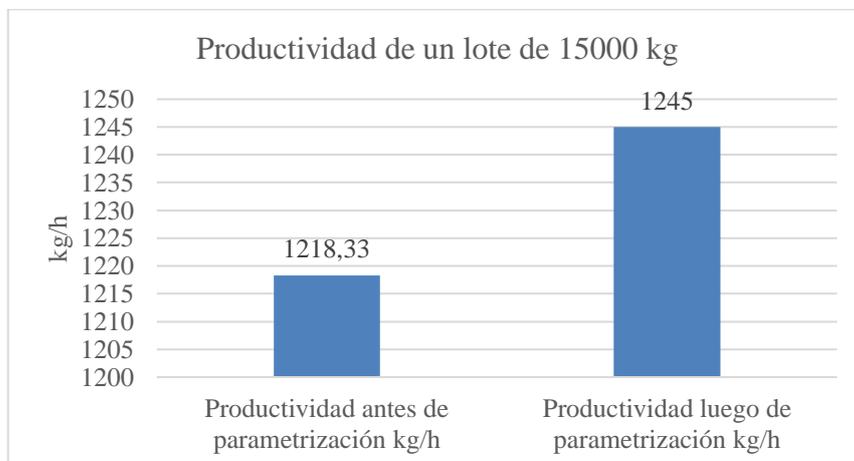
$$15\ 000\ kg - 380\ kg = 14\ 620\ kg$$

$$\frac{14\,620\text{ kg}}{12\text{ horas}} = 1\,218,33\text{ kg/h}$$

- Productividad luego de parametrización

$$15\,000\text{ kg} - 60\text{ kg} = 14\,940\text{ kg}$$

$$\frac{14\,940\text{ kg}}{12\text{ horas}} = 1\,245\text{ kg/h}$$



**Ilustración 72-3:** Productividad antes y después de la parametrización de TL 32%

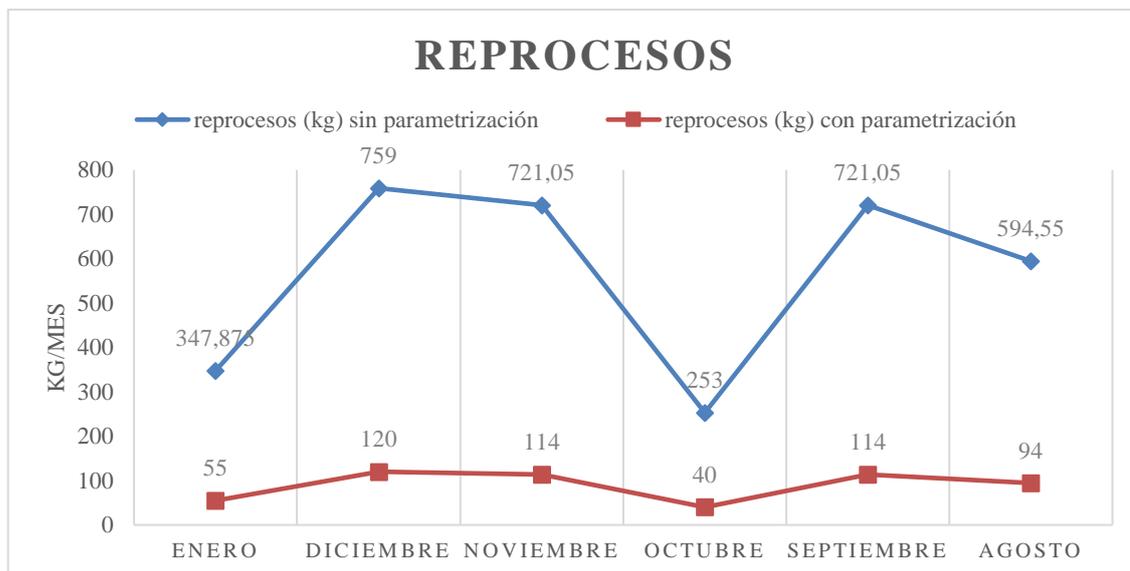
**Realizado por:** Aguirre Y, Vega M. 2022

Que representa un aumento de productividad de 26,667 kg/h, que representa 320,00 kg producidos en 12 horas o en una jornada de trabajo.

**Tabla 74-2.** Producción de TL 32% últimos 6 meses

producción de TL32% últimos 6 meses		reprocesos (kg)	
mes	kg	sin parametrización	con parametrización
Diciembre	13750	347,875	55
Noviembre	30000	759	120
Octubre	28500	721,05	114
Septiembre	10000	253	40
Agosto	28500	721,05	114
Julio	23500	594,55	94
<b>TOTAL</b>	<b>134250</b>	<b>3396,53</b>	<b>537,00</b>

**Realizado por:** Aguirre Y, Vega M. 2022



**Ilustración 73-3:** Representación de reprocesos últimos 6 meses del producto TI 32%

**Realizado por:** Aguirre Y, Vega M. 2022

- Costo de reprocesos de últimos 6 meses de producción sin parametrización

Se multiplica el total de la producción en kg del producto extruido por el porcentaje promedio de producto para reproceso, el valor obtenido lo multiplicamos por el valor en dólares de costo de 1kg de reproceso

$$134\ 250\ kg * 2,53\% = 3\ 396,525\ kg\ (\text{reproceso})$$

$$3\ 396,525\ kg * 0,45\ \frac{\$}{kg} = \$1\ 528,44$$

\$1 528,44 representa el costo de reprocesos en 6 meses.

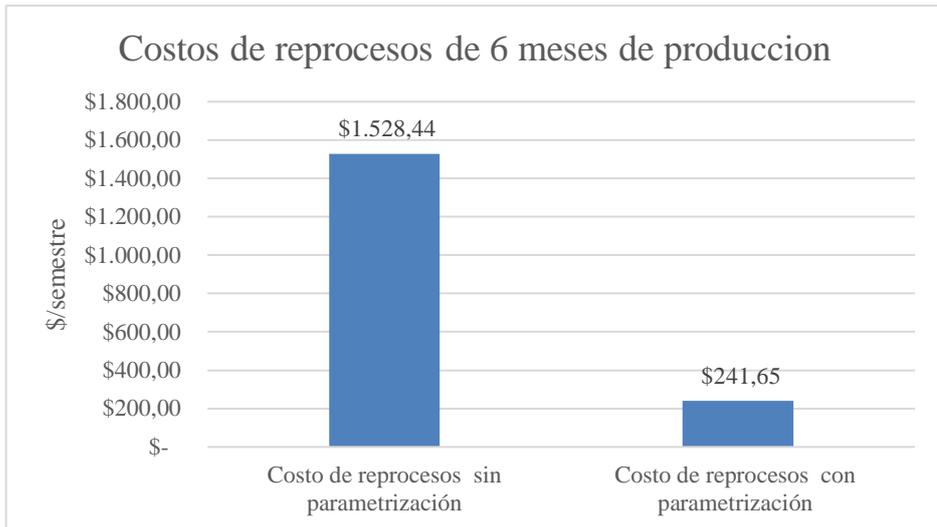
- Costo de reprocesos de últimos 6 meses de producción con parametrización

Se multiplica el total de la producción en kg del producto extruido por el porcentaje promedio de producto para reproceso, el valor obtenido lo multiplicamos por el valor en dólares de costo de 1kg de reproceso

$$134\ 250\ kg * 0,4\% = 537kg$$

$$537\ kg * \$0,45 = 241,65\$$$

El resultado de \$241,65 representa el costo de reprocesos en los últimos 6 meses con la parametrización, lo que hubiera representado un ahorro de \$1283, 79 dólares.



**Ilustración 74-3:** Costos de reprocesos de la producción de TL 32% en el último semestre

**Realizado por:** Aguirre Y, Vega M. 2022

- Productividad en 6 meses sin parametrización

$$134\ 250\ kg - 3\ 396,525\ kg = 130\ 853,475\ kg$$

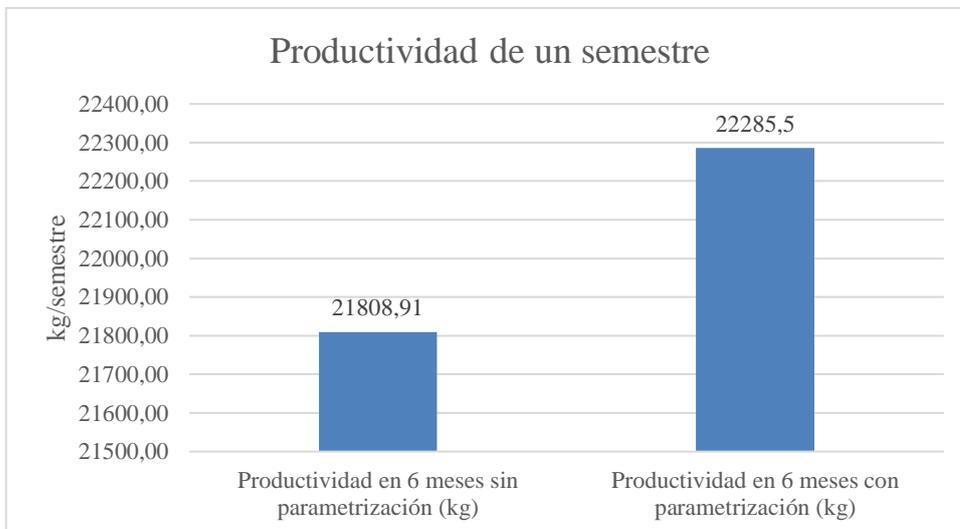
$$\frac{130\ 853,475\ kg}{6\ meses} = 21\ 808,91\ kg/mes$$

- Productividad en 6 meses con parametrización

$$134\ 250\ kg - 537\ kg = 133\ 713\ kg$$

$$\frac{133\ 713\ kg}{6\ meses} = 22\ 285,5\ kg/mes$$

La productividad en promedio aumento 476,59 kg/mes.



**Ilustración 75-3:** Productividad de TL 32% antes y después de la parametrización en el último semestre.

**Realizado por:** Aguirre Y, Vega M. 2022

## CAPITULO IV

### 4 GESTIÓN DEL PROYECTO

#### 4.1 Cronograma

Tabla 1-4: Cronograma

Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
<b>CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES</b>	<b>70 días</b>	<b>mar 26/10/21</b>	<b>jue 10/2/22</b>
INICIO	0 días	mar 26/10/21	mar 26/10/21
<b>FASE 1</b>	<b>19 días</b>	<b>mar 26/10/21</b>	<b>mar 23/11/21</b>
1. Análisis del estado de materia prima	2 días	mar 26/10/21	mié 27/10/21
2. Revisión de bodegas de almacenamiento de materias primas	2 días	jue 28/10/21	vie 29/10/21
3. Revisión de todo el proceso productivo de los balanceados	3 días	mié 3/11/21	vie 5/11/21
4. Análisis de material mezclado antes de proceso de extrusión	2 días	lun 8/11/21	mar 9/11/21
5. Observación del operario extrusor al preparar máquina extrusora	3 días	mié 10/11/21	vie 12/11/21
6. Observación de funcionamiento e instrucciones de máquina extrusora	5 días	lun 15/11/21	vie 19/11/21
7. Observación de funcionamiento e instrucciones de máquina secadora	5 días	lun 15/11/21	vie 19/11/21
8. Revisión de termobalanza y balanza gramera	2 días	lun 22/11/21	mar 23/11/21
<b>FASE 2</b>	<b>13 días</b>	<b>lun 22/11/21</b>	<b>mié 8/12/21</b>
9. Estudio R & R a termobalanza	5 días	lun 22/11/21	vie 26/11/21
10. Realización de Diagrama de Ishikawa	2 días	lun 29/11/21	mar 30/11/21
11. Realización de Diagrama de Pareto	2 días	mié 1/12/21	jue 2/12/21
12. Determinar variables dependientes	3 días	mié 1/12/21	vie 3/12/21

13. Determinar variables independientes´	3 días	mié 1/12/21	vie 3/12/21
14. Selección de factores para los diseños factoriales	1 día	lun 6/12/21	lun 6/12/21
15. Selección del diseño factorial para el producto chucho	1 día	mar 7/12/21	mar 7/12/21
16. Selección del diseño factorial para el producto TL 32%	1 día	mié 8/12/21	mié 8/12/21
<b>FASE 3</b>	<b>22 días</b>	<b>jue 9/12/21</b>	<b>lun 17/1/22</b>
17. Aplicación del diseño al producto chucho	10 días	jue 9/12/21	mié 22/12/21
18. Análisis del producto chucho extruido	10 días	jue 9/12/21	mié 22/12/21
19. Mediciones de humedad (CHUCHO)	10 días	jue 9/12/21	mié 22/12/21
20. Observación de consumo de amperaje (CHUCHO)	10 días	jue 9/12/21	mié 22/12/21
21. Estudio de forma del extruido (CHUCHO)	10 días	jue 9/12/21	mié 22/12/21
22. Aplicación del diseño al producto TL32%	9 días	jue 23/12/21	mié 12/1/22
23. Análisis del producto TL32% extruido	9 días	jue 23/12/21	mié 12/1/22
24. Mediciones de humedad (TL32%)	9 días	jue 23/12/21	mié 12/1/22
25. Observación de consumo de amperaje (TL32%)	9 días	jue 23/12/21	mié 12/1/22
26. Estudio de forma del extruido (TL32%)	9 días	jue 23/12/21	mié 12/1/22
27. Digitalizar los datos obtenidos en Excel	3 días	jue 13/1/22	lun 17/1/22
<b>FASE 4</b>	<b>18 días</b>	<b>mar 18/1/22</b>	<b>jue 10/2/22</b>
28. Analizar el diseño factorial con los datos digitalizados en el software minitab	8 días	mar 18/1/22	jue 27/1/22
29. Interpretación de los tratamientos a través de las gráficas del diseño	2 días	vie 28/1/22	lun 31/1/22

30. Obtención de parámetros para instrucción a la máquina extrusora	1 día	mar 1/2/22	mar 1/2/22
31. Aplicación de los parámetros estandarizados para la máquina extrusora	4 días	mié 2/2/22	lun 7/2/22
32. Aplicación de los parámetros estandarizados para la máquina secadora	3 días	mar 8/2/22	jue 10/2/22
FIN	0 días	jue 10/2/22	jue 10/2/22

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

## 4.2 Recursos y materiales

### 4.2.1 Presupuesto

**Tabla 2-4:** Costos directos

COSTO DIRECTOS	
DESCRIPCIÓN	COSTOS(USD)
Impresiones	\$100,00
Internet	\$60,00
Otros (10%)	\$16,00
<b>TOTAL</b>	<b>\$176,00</b>

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

**Tabla 3-4:** Costos indirectos

COSTO INDIRECTOS	
DESCRIPCIÓN	COSTOS(USD)
Transporte	\$100,00
Alimentación	\$50,00
Costos imprevistos (10%)	\$15,00
<b>TOTAL</b>	<b>\$165,00</b>

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

**Tabla 4-4:** Costos totales

COSTO TOTALES	
DESCRIPCIÓN	COSTOS(USD)
Costos directos	\$176,00
Costos indirectos	\$16,00
<b>TOTAL</b>	<b>\$341,00</b>

Realizado por: Aguirre Y, Vega M. 2022

El total de los costos fueron solventados por los investigadores.

#### 4.3 Talento Humano

El trabajo de investigación fue realizado por el equipo de trabajo dispuesto por las siguientes personas:

**Tabla 5-4:** Talento humano

Yeliber Alfredo Aguirre Manzaba	Estudiante 1
Marco Leonardo Vega Arguello	Estudiante 2
Ing. Jaime Iván Acosta Velarde	Director
Ing. Ángel Geovanny Guamán Lozano	Miembro

**Realizado por:** Aguirre Y, Vega M. 2022

#### 4.4 Recursos materiales

**Tabla 6-4:** Recursos materiales

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>Cantidad y unidad</b>
Impresiones	10 documentos
Internet (bibliografía)	100 horas
Combustible	52,63 galones
Computador	2 unidades
Materiales de oficina	Varios

**Realizado por:** Aguirre Y, Vega M. 2022

## CONCLUSIONES

Se determinaron los factores críticos que afectaban la producción en el proceso de producción de petfood denominado “chucho” y acuícola denominado “TL 32%”, los cuales se evidenciaron en el porcentaje agua en el acondicionador, la temperatura del acondicionador, la velocidad de carga de la mezcla y el porcentaje de velocidad de cuchilla. Además, se analizaron los factores que afectan al secado del producto como: el porcentaje humedad del producto extruido, velocidad de banda del secador y la temperatura del secador.

Se diseñaron dos diseños factoriales  $2^4$  y  $2^3$  que cuentan ambos con 2 interacciones alto y bajo según la estandarización de parámetros en el primer caso se consideraron factores que limitan el buen desempeño de la máquina extrusora y de secado, para ambos productos se delimitó el análisis con respecto al agua y temperatura del acondicionador, la velocidad de carga de la mezcla y el porcentaje de velocidad de cuchilla. Por su parte en el segundo caso se requirió el análisis del porcentaje humedad del producto extruido, velocidad de banda del secador y la temperatura del secador. Según el diagrama de Pareto estas variables limitan la obtención de una adecuada producción por lo que los diseños fueron determinados para el control sobre las mismas.

Mediante el uso del software Minitab se ejecutaron los modelos experimentales  $2^4$  y  $2^3$  que permitieron encontrar rangos adecuados para establecer valores de instrucciones a la máquina extrusora y secadora optimizando de esta manera su funcionamiento evidenciándose la reducción de costos, material de cuarentena y reprocesos aportando de esta manera con la mejora de la productividad.

Los resultados obtenidos luego de la parametrización fue una reducción de producto para reprocesos de 270 kg Chucho y de 350 kg TL 32% por cada lote de 15 000 kg de extruido, generando una reducción del 87% (\$121,50) y 84,21% (\$144,00) en gastos de reprocesos respectivamente, disminuyendo los costos de producción del balanceado y obteniendo un aumento de la productividad de 22,50 kg/h para Chucho y 26,667 kg/h para TL 32%.

Se determinó a través de R&R un análisis del sistema de medición de humedades para la validación de datos demostrando que las mediciones de humedad son adecuadas en el análisis al operador, termobalanza y la interacción entre ambos.

## **RECOMENDACIONES**

Se recomienda estudiar los factores no controlados del diseño experimental que pueden afectar significativamente a la obtención del balanceado para mejorar la productividad en los extruidos.

Se sugiere estudiar los diseños factoriales aplicados en “Chucho” y TL32% para el análisis y estandarización de parámetros de control en la máquina extrusora y máquina secadora de otros productos tanto como petfood y productos acuícolas.

Se recomienda automatizar el proceso de extrusión como la implementación de balanzas de macro mezclas en cada tolva de almacenamiento de materia prima.

Se debe establecer un plan de mantenimiento preventivo de la máquina extrusora y calibrar constantemente la termobalanza ya que está expuesta a vibraciones de manera constante.

Se sugiere un cambio en la válvula manual donde se controla la temperatura del acondicionador por una automatizada, donde mediante sensores se controle la temperatura apropiada del acondicionador para cada extruido.

Se recomienda evaluar el desenvolvimiento del operario y la termobalanza en la medición de humedades puesto que a través de la validación de datos con un estudio R&R se demostró que las mediciones de humedad son adecuadas, pero requieren de mejoras.

## BIBLIOGRAFÍA

**BURGASÍ, Dayanara, y otros.** El diagrama de ishikawa como herramienta de calidad en la educación: una revisión de los últimos 7 años. *Revista electrónica TAMBARA*, vol. 14, n° 84 2021, 85, pp. 1212-1230.

**CASTAÑEDA, Oswaldo, y otros.** Diseño de estudios Gauge R&R cruzado y anidado para la validación de los modelos matemáticos de Heckel y Ryshkewitch-Duckworth. *Ars Pharmaceutica*, vol. 62, n° 2 (2021) págs. 190-202.

**CLAVIJO, John y RODRÍGUEZ, Edison.** Diseño Robusto del Proceso de Harina de Sangre de Alconpo Aplicando Diseño de Experimentos. (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad Sergio Arboleda. Bogotá. 2016.

**DELGADO, Efreñ, y otros.** Efecto de la temperatura de extrusión, humedad y contenido del aceite de girasol sobre las propiedades funcionales y digestibilidad de alimentos para ganado bovino. *Abanico Veterinario*, vol, n° 10. 2020, pp. 1-11.

**GABRIEL, Julio, y otros.** *Diseños experimentales: Teoría y práctica para experimentos agropecuarios*. 1ª ed. Jipijapa - Ecuador: Grupo COMPAS, Universidad Estatal del Sur de Manabí (UNESUM), Jipijapa, Ecuador. 2017. ISBN: 978-9942-750-50-1.

**GRUPO BANCO MUNDIAL.** *Crecimiento de la población (% anual) - Ecuador*. [Consultado el: 11 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://datos.bancomundial.org/indicador/sp.pop.grow?end=2020&locations=EC&start=1961>.

**ISO 22000:2018..** *Sistemas de administración de la inocuidad/seguridad de los alimentos*. [Consultado el: 10 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:22000:ed-2:v2:es>

**ISO 9001.** *Sistemas de gestión de la calidad - Requisitos*. 5ª ed. Ginebra-Suiza: Organización Internacional de Normalización, 2015.

**LÓPEZ, Ezequiel y GONZÁLEZ, Byron.** *Diseño y análisis de experimentos. Fundamentos y aplicaciones en agronomía*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, 2016.

**MACÍAS, José.** Aplicación de un diseño experimental en la producción de alcohol etílico en la melaza de caña de azúcar en los procesos artesanales en la ciudad de Manta. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Layca "Eloy Alfaro" de Manabí. Manta. 2015.

**MALO, Juan..** Propuesta para disminuir la merma de producto en el proceso de pasteurización de cerveza, aplicando la metodología de diseño de experimentos. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad San Francisco de Quito. Quito. 2017.

**MELO, Oscar, LÓPEZ, Luis y MELO, Sandra.** *Diseño de experimentos. Métodos y Aplicaciones*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias, 2020.

- MINITAB, LLC.** *Potente software de estadística que todos Minitab.* Minitab, LLC. All Rights Reserved, 2021.
- MURILLO, Raquel.** *Aplicación de la tecnología de extrusión en productos con alto contenido en proteína.* Trabajo de titulación (Ingeniería). Universitat Politècnica de València. Valencia. 2020.
- ORGANIZACION INTERNACIONAL DE LA ESTANDARIZACIÓN.** *ISO 22000-2018.* 2018.
- OVALLES, Johanny, GISBERT, Víctor y PÉREZ, Ana.** Herramientas para el análisis de causa raíz (ACR). *3C Empresa: investigación y pensamiento crítico.* Vol. Edición especial, pp. 1-9. 2017.
- PUENTE, Erika, y otros.** Aplicación del diseño por mezclas en la industria alimentaria. *Culcyt.* n° 56, pp. 140-151. 2015
- PUENTE, Erika; ROMERO, Roberto; RODRÍGUEZ, Manuel; TREJO, Héctor.** Optimización del trabajo en proceso mediante el diseño de experimentos y escenarios de simulación. (Trabajo de titulación) (Maestría). Tecnológico Nacional de México en Celaya - Celaya. 2019.
- REA, Mery y SÁNCHEZ, José.** Diseño experimental factorial para determinar las condiciones óptimas de operación en el proceso productivo de las inyectoras (wt02, wt05) en la planta de plástico Industrial S.A. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba. 2018.
- REMUZGO, Henry.** Diseño de experimentos aplicado al proceso de curvado de vidrio para incrementar la productividad en la fabricación de parabrisas. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Nacional Mayor de San Marcos . Lima. 2018.
- US DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES.** *Bad Bug Book: Handbook of Foodborne Pathogenic Microorganisms and Natural Toxins.* 2ª edición. United States: CreateSpace Independent Publishing Platform, 2017. ISSN: 197385323X.
- ZURITA, Marlon.** *Aplicación del control estadístico de procesos y diseño de experimentos para identificar condiciones óptimas de operación del proceso productivo de tableros contrachapados en la empresa arboriente s.a de la ciudad de Puyo.* (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba. 2018.

## ANEXOS

**ANEXO A:** Material para reproceso debido a obstrucción en la maquina extrusora



**ANEXO B:** Trituración de balanceado seco para medición



**ANEXO C: Personal a cargo de los procesos productivos**

