

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS

DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICAS

PROYECTO DE TITULACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

**“MAGÍSTER EN ESTADÍSTICA CON MENCIÓN EN GESTIÓN DE
LA CALIDAD Y PRODUCTIVIDAD”**

TEMA:

“APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE CALIDAD PARA EVALUAR
CARACTERÍSTICAS NUTRICIONALES DE ALIMENTO BALANCEADO PARA
AVES”

AUTOR:

SILVIA MARÍA VIDAL BAJAÑA

Guayaquil - Ecuador

2019

DEDICATORIA

A Dios por no abandonarme
nunca y sorprenderme con
alegrías aún en momentos
difíciles

AGRADECIMIENTO

A mi madre quien con su sacrificio e infinito amor me alienta cada día a seguir adelante y ver la vida con optimismo.

A mis tías, primos, abuelita, quienes confían mucho en mí y me mostraron apoyo dándome serenidad en momentos de incertidumbre.


A mis compañeros de trabajo por alegrarse con mis victorias y entender momentos de ausencia.

A mis amigos y a mi compañero de vida, quienes estaban plenamente convencidos que pese a mis angustias lo lograría.

Y a mí directora de Tesis, quien orientó con sabiduría y paciencia el desarrollo de éste proyecto.

DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad por los hechos y doctrinas expuestas en este Proyecto de Graduación, me corresponde exclusivamente; el patrimonio intelectual del mismo, corresponde exclusivamente a la **Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, Departamento de Matemáticas** de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.


Ing. Silvia María Vidal Bajaña

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Mgr. Eva Maria Mera Intriago
Presidente



Ph.D. Sandra García
Director




Ph.D. Omar Ruiz Barzola
Vocal 1



Ph.D. María Nela Pastuizaca
Vocal 2

AUTOR DEL PROYECTO



Ing. Silvia María Vidal Bajaña

RESUMEN

La elaboración de alimentos balanceados es un eslabón fundamental en la cadena productiva avícola. Éste tipo de alimento está diseñado para brindar a las aves los nutrientes indispensables para cada una de las fases de producción. Llevar un estricto control de calidad tanto en el proceso como en el tipo de materias primas usadas, permite garantizar que el producto cumpla con los nutrientes que el ave necesita, lo que representa mejor calidad para los consumidores y con ello asegura la rentabilidad de los productores.

Se presentan algunas ventajas cuando el proceso está bajo control, como mayor uniformidad en las unidades de producto terminado, también permite decidir cuáles van a ser las especificaciones del producto de tal manera se cumplan necesidades nutricionales del ave, se cumpla con el presupuesto asignado y se cumplan los aspectos legales según normativas locales. Las gráficas de control sirven como evidencia de control en el proceso.

Es por esto que en éste proyecto se procedió a realizar un estudio estadístico del comportamiento de nutrientes en el alimento para ave en fase inicial, se comprobó la normalidad de su distribución, para posterior a esto identificar una oportunidad de mejora con la implementación de cartas de control tanto univariantes como multivariante en el laboratorio de bromatología.

Al final del proyecto se definen acciones que le permitirá a la empresa monitorear adecuadamente el contenido nutricional del producto terminado para evitar incumplimiento de especificaciones que se traduce en posibles inconvenientes con el ave.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I	1
1 GENERALIDADES	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Planteamiento del problema	2
1.3 Revisión bibliográfica	2
1.4 Justificación	4
1.5 Objetivos	5
1.5.1 Objetivo general	5
1.5.2 Objetivos Específicos	5
1.6 Hipótesis	5
1.7 Metodología	6
1.8 Alcance	6
CAPÍTULO II	7
2 MARCO TEÓRICO	7
2.1 Las 7 herramientas de la calidad definidas por Ishikawa	7
2.2 Diagrama de Causa-Efecto.....	8
2.3 El método de la gráfica de control.....	9
2.3.1 Uso e interpretación del C_p y C_{pk}	10
2.3.2 Objetivos de las gráficas de control de variables.....	12
2.3.3 Gráficas de control para mediciones individuales	13
2.3.4 Gráficas de control multivariadas	14
2.3.5 Errores Tipo 1 y Tipo 2 en gráficas de control	16
2.3.6 Normalidad en los procesos	17
CAPÍTULO III	22
3 PROCESO PRODUCTIVO Y ANÁLISIS BROMATOLÓGICO	22
3.1 Producción de Balanceados	22

3.2	Descripción del proceso.....	25
3.2.1	Recepción de materias primas.....	26
3.2.2	Proceso de molienda.....	26
3.2.3	Proceso de Dosificación y Mezclado.....	27
3.2.4	Proceso de peletizado.....	27
3.2.5	Proceso de Enfriamiento-Secado.....	27
3.2.6	Etapas de recubrimiento.....	28
3.2.7	Proceso de despacho.....	28
3.3	Descripción de Materias Primas.....	29
3.3.1	Maíz Nacional como principal Materia Prima.....	30
3.3.2	Pasta de Soya.....	31
3.3.3	Polvillo de Arroz.....	32
3.3.4	Afrechillo de trigo.....	33
3.3.5	Trigo Suave.....	34
3.3.6	Aceites Vegetales.....	34
3.4	Formulación de alimentos balanceados para aves.....	34
3.4.1	Proteína en la dieta de las Aves.....	36
3.4.2	Grasa en la dieta de las Aves.....	36
3.5	Control de Calidad de Producto Final.....	37
3.6	Requisitos Alimentos Balanceados para Aves.....	37
3.7	Análisis en laboratorio bromatológico.....	38
CAPÍTULO IV	.....	39
4 RESULTADOS	.....	39
4.1	Análisis univariante.....	39
4.1.1	Análisis de variable Porcentaje de Humedad.....	40
4.1.2	Análisis de la variable Porcentaje de Grasa.....	42
4.1.3	Análisis de Variable Porcentaje de Ceniza.....	45
4.1.4	Análisis de Variable Porcentaje de Proteína.....	49
4.1.5	Análisis de variable Porcentaje de Fibra.....	51
4.2	Análisis de Capacidad y Gráficas de control de Variables Porcentaje de Humedad, Grasa y Proteína.....	54
4.2.1	Análisis de Capacidad para variable Porcentaje de Humedad.....	54
4.2.2	Análisis de Capacidad para variable Porcentaje de Grasa.....	55
4.2.3	Análisis de capacidad para variable Porcentaje de Proteína.....	56

4.2.4	Análisis de capacidad con datos revisados.....	56
4.2.5	Prueba de normalidad multivariada.....	60
4.2.6	Gráfico de control multivariado.....	61
4.2.7	Análisis de Causa-Efecto incumplimiento de Parámetros.....	62
CAPÍTULO V	.....	66
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	.....	66
6 BIBLIOGRAFÍA	.....	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Diagrama Causa-Efecto.....	9
Figura 3-1 Alimento balanceado para aves fase inicial	28
Figura 3-2 Maíz Amarillo Nacional	30
Figura 3-3 Pasta de Soya.....	32
Figura 3-4 Laboratorio y su relación con nutrición y producción	36

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 3-1 Consumo de Maíz por industria.....	23
Gráfico 3-2 Consumo de Soya por Industria	24
Gráfico 3-3 Producción Junio-Agosto Fábrica Guayas	25
Gráfico 3-4 Diagrama de Flujo de Elaboración de Alimento Balanceado.....	26
Gráfico 4-1 Histograma Porcentaje de Humedad.....	41
Gráfico 4-2 Gráfica de Probabilidad Porcentaje de Humedad	42
Gráfico 4-3 Histograma-Porcentaje de Grasa	44
Gráfico 4-4 Gráfico de Probabilidad-Porcentaje de Grasa	45
Gráfico 4-5 Histograma-Porcentaje de Cenizas	47
Gráfico 4-6 Gráfico de Probabilidad-Porcentaje de Cenizas.....	48
Gráfico 4-7 Histograma-Porcentaje de Proteína	50
Gráfico 4-8 Gráfico de Probabilidad-Porcentaje de Proteína	51
Gráfico 4-9 Histograma-Porcentaje de Fibra.....	52
Gráfico 4-10 Gráfico de Probabilidad-Porcentaje de Fibra.....	53
Gráfico 4-11 Capacidad de Proceso (%) Humedad	54
Gráfico 4-12 Capacidad de Proceso (%) Grasa	55
Gráfico 4-13 Capacidad de Proceso (%) Proteína	56
Gráfico 4-14 Capacidad Proceso datos revisados (%) Humedad	57
Gráfico 4-15 Capacidad de Proceso datos revisados (%) Grasa	58
Gráfico 4-16 Capacidad de Proceso datos revisados (%) Proteína	59
Gráfico 4-17 Gráfico Multivariado T Hotelling.....	61
Gráfico 4-18 Gráfico Ishikawa para problema central	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Tabla de Tipo de Errores en Pruebas de Hipótesis	17
Tabla 3-1 Materias primas en Balanceados para Aves	30
Tabla 3-2 Composición Maíz Nacional	31
Tabla 3-3 Composición Pasta de Soya.....	32
Tabla 3-4 Composición Polvillo de Arroz	33
Tabla 3-5 Composición Afrechillo de Trigo	33
Tabla 3-6 Composición Trigo Suave.....	34
Tabla 3-7 Recomendaciones nutricionales aves	35
Tabla 3-8 Requisitos bromatológicos Aves Engorde	37
Tabla 4-1 Estadísticos Descriptivos (%) Humedad.....	40
Tabla 4-2 Estadísticos Descriptivos (%) Grasa.....	43
Tabla 4-3 Estadísticos Descriptivos (%) Ceniza	46
Tabla 4-4 Estadísticos Descriptivos (%) Proteína.....	49
Tabla 4-5 Estadísticos Descriptivos (%) Fibra	52
Tabla 4-6 Prueba de Normalidad Multivariada de Humedad y Grasa.....	60
Tabla 4-7 Matriz de Varianzas y Covarianzas estimada para variables	62

ABREVIATURAS O SIGLAS

LC	Línea central
USL (LCS)	Límite de control superior
LSL (LCI)	Límite de control inferior
C_p	Índice De capacidad potencial del proceso. Relación entre la tolerancia específica y la tolerancia natural del proceso
C_{pk}	Índice de Capacidad potencial real de un proceso, puede verse como el ajuste del índice de C _p , para tomar en cuenta el centro del proceso.
MR_i	Rango móvil, para gráficos de control
ARL	Average Run Lenght, promedio de número de puntos que son graficados antes que un punto indique condición fuera de control
MVN	Paquete de software R studio, Multivariate Normality Tests.
H₀	Hipótesis nula
H₁	Hipótesis alterna
PROLAB	Software de Laboratorio utilizado en empresa estudio
AOAC	Association of Official Agricultural Chemists. Métodos oficiales de análisis.
MINITAB	Software estadístico

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

La empresa en donde se realiza el estudio, está ubicada en la provincia del Guayas, produce alimentos balanceados, contando con líneas para aves, cerdos, productos acuícolas, y mascotas. Posee un laboratorio de análisis bromatológico donde se realiza el seguimiento del contenido nutricional de las materias primas que van a ser usadas en la formulación, así como del producto terminado resultante.

Actualmente una gran parte de los datos generados sólo se almacenan o se reportan en informes específicos pero no se ha implementado ningún tipo de técnica estadística para el análisis de los mismos ni acciones correctivas ante posibles desviaciones.

Está claro que el concepto de variación es una ley de la naturaleza. La variación está presente en todo el proceso, debido a una combinación de equipo, materiales, ambiente y operador. Cuando las variaciones son muy pequeñas, parecerá que los elementos son idénticos, sin embargo con instrumentos de precisión se detectarán las diferencias (Besterfield, 2009). El control de un proceso, se refiere al hecho de que éste se encuentre fabricando sus productos dentro de ciertos límites de proceso, los cuales, pueden ser iguales a los límites de especificaciones del producto o bien, pueden ser todavía más cerrados que lo límites anteriormente mencionados, con el fin de evitar productos rechazados. El diagrama o gráfico de control, también conocido como diagrama de Shewhart, carta de control o diagrama de comportamiento de proceso, es una de las 7 herramientas de calidad definidas por Ishikawa.

En él establecemos una línea central o valor nominal, que suele ser el objetivo del proceso o el promedio histórico, junto a uno o más límites de control, tanto superior como inferior, usados para determinar cuándo es necesario analizar una eventualidad.

Se comenzará la implementación de la herramienta en el laboratorio de bromatología específicamente para control nutricional de producto para Aves en fase inicial.

1.2 Planteamiento del problema

El problema radica, en que los distintos análisis realizados quedan como un simple número, es decir, puede presentarse una desviación de calidad y el producto ya está en las granjas avícolas, esto debido a que no existe una metodología para monitorear los resultados y tomar acciones correctivas a tiempo. La data generada por el laboratorio es almacenada en el software Prolab. Desfases en los nutrientes pueden resultar en problemas fisiológicos en el ave que se describen posteriormente. Las técnicas de laboratorio implican inversión de mano de obra, materiales costosos, horas de trabajo, que podrían ser aprovechados para abarcar otro tipo de análisis en los demás productos fabricados. O bien, se podrían analizar si las características de calidad se mantienen para así eliminar análisis innecesarios, reducir frecuencias de muestreo y reducir costos.

1.3 Revisión bibliográfica

Las cartas de control son métodos muy utilizados en los laboratorios de ensayo para realizar el control de los resultados de los análisis de las muestras.

Gómez, C. (2002), indica que dentro del proceso de calidad total de la empresa de balanceados que tomó en su estudio, se determinó la aplicación del control estadístico del proceso, como método que permitiría estabilizar y mejorar los procesos, dando como consecuencia la reducción de los costos del alimento y de crianza y la satisfacción del cliente. Asegura además que el control estadístico de proceso permite estar seguros del futuro proceso con condiciones actuales.

Permite además, distinguir entre los tipos de variación, y por lo tanto modificar el proceso sólo cuando es necesario (presencia sólo de variaciones comunes) y no

cuando estamos frente a situaciones especiales, en cuyo caso sólo debemos eliminar la causa específica que genera esa situación. Señala que, no existe otro método objetivo que nos permita realizar dicha distinción

Martínez et al. (2007), cita que son representaciones gráficas de datos de acuerdo con determinadas reglas de construcción que permiten; entre otras cosas, demostrar el estado del control estadístico del sistema analítico, realizar el seguimiento de un proceso de medición, aportar información sobre aspectos críticos del muestreo y tener un control de la reproducibilidad y repetibilidad del análisis

Además, Trujillo et al. (2015), aplicó una Metodología Integral para el mejoramiento de la calidad mediante la reducción de la variabilidad funcional, en un caso de estudio de una empresa de alimentos. En su artículo presentó el diseño y aplicación de una metodología que integra y aprovecha las ventajas de tres enfoques, para mejorar la calidad de los productos reduciendo su variabilidad funcional. Los enfoques según el autor son: la función de pérdida de la calidad (QLF), el control estadístico multivariante de procesos (MSPC) y el control ingenieril de procesos (EPC).

Como lo explica Besterfield, D. (2009), las gráficas de control para variables proporcionan información para: mejorar la calidad, determinar la capacidad del proceso, tomar decisiones con respecto a las especificaciones del producto, decisiones del momento respecto al proceso de producción o los artículos producidos y tomar decisiones con respecto a las especificaciones de un producto.

Sánchez, O. (2015), utilizó los indicadores de Capacidad C_p y C_{pk} para determinar la conformidad de la variable porcentaje de proteína en una industria de balanceados para camarones; el autor, obtuvo información sobre la producción con entrevistas a expertos del tema, luego con data histórica del contenido de proteína del alimento, empleó ANOVA de una vía, prueba de hipótesis, análisis de correlación y regresión.

Analizó las causas por las que se presentaron las variaciones y propuso un sistema de monitoreo de la diferencia entre la proteína real y la formulada en el proceso de rociado utilizando la carta de control X-barras, para reducir la producción concesionada y los costos que implica.

1.4 Justificación

La alimentación adecuada de las aves, especialmente de aquéllas bajo explotación comercial, requiere que las raciones contengan las cantidades necesarias, pero no excesivas de los nutrientes básicos (Cuca, 1963).

El control estadístico de la composición de los alimentos elaborados en las fábricas de alimentos balanceados es una técnica importante en manos de los fabricantes, un adecuado análisis de la composición de los alimentos terminados permite a la fábrica identificar cuanto se aleja la calidad de su producción de la calidad planificada así como los cambios o irregularidades en el proceso; esto permite tomar acciones correctivas cuando se detectan productos no conformes.

Con los grandes desafíos que presentan en la actualidad las empresas ecuatorianas, es de suma importancia aprovechar los recursos y plantear el uso de técnicas estadísticas, para que se puedan optimizar los recursos presentes y así abarcar la mayor cantidad de análisis con la mínima inversión.

La dieta que consume el pollo tiene mucha influencia sobre la conversión alimenticia (alimento consumido/ ganancia en peso). La empresa con su formulador tiene el control sobre los niveles de energía, proteína y calidad del alimento. Una dieta balanceada contiene todos los nutrientes en la cantidad, calidad y proporción adecuadas.

Se tomaron las variables Proteína y Grasa para el análisis multivariado debido a que las proteínas son los constituyentes indispensables en todos los tejidos del animal, y la grasa es fuente concentrada de energía, indispensable para que el ave desarrolle sus funciones. (Cuca, 1963).

Se incluyó la variable humedad, ya que optimizar ésta característica es clave desde el punto de vista económico y preservación de calidad.

Es importante controlar que el porcentaje humedad en el producto terminado no esté bajo especificación para poder compensar las mermas que ocurren durante los procesos de fabricación del mismo, y por otro lado un contenido muy alto aumenta la probabilidad de desarrollo de microorganismos. (Heijden, 2012)

Entre otras razones, podemos mencionar que la deficiencia de proteínas y de grasas en la dieta de los animales puede provocar disminución de la capacidad de resistencia corporal, insuficiente formación de proteínas corporales con la consiguiente pérdida y desgaste muscular. Además, deficiencia en el crecimiento, una actividad enzimática disminuida, produciendo un retraso de los procesos metabólicos, disminución de las fases productivas y menor resistencia a las infecciones.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

- Aplicar metodologías basadas en técnicas estadísticas para garantizar el cumplimiento de contenido nutricional del alimento para aves producido en una industria de balanceados.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Realizar un análisis mediante estadística descriptiva de las variables: porcentaje de humedad, porcentaje de grasa, porcentaje de ceniza, porcentaje de proteína, porcentaje de fibra, para tener una idea general del comportamiento de los datos.
- Evaluar por medio un gráfico de control multivariante el cumplimiento de parámetros establecidos en producto terminado para variables Humedad, Grasa y Proteína
- Analizar el indicador de Proceso C_{pk} en las variables Humedad, Grasa y Proteína para determinar si el producto está cumpliendo las especificaciones.
- Determinar las posibles causas de incumplimiento de contenido nutricional en el producto terminado.

1.6 Hipótesis

La aplicación de herramientas de calidad para el tratamiento de datos en el laboratorio bromatológico permitirá detectar desviaciones en los componentes nutricionales y tomar acciones correctivas ante éstas.

1.7 Metodología

Las fases de éste estudio se detallan de la siguiente manera: Definición del problema, recogida de datos entre Enero y Julio de 2018, uso de los software Minitab y R studio para la caracterización de las variables Humedad, Grasa, Ceniza, Fibra y Proteína, elaboración de gráficas de control de las variables Humedad, Grasa y Proteína, elaboración de carta T² Hotelling, determinación de causas de desviaciones mediante gráfico causa-efecto, implementación y finalmente se indican algunas conclusiones pertinentes.

1.8 Alcance

El análisis estadístico del presente estudio se realizó con data recolectada entre Enero y Julio de 2018, en el laboratorio bromatológico de la planta de balanceados ubicada en la provincia del Guayas. La fase 2 de monitoreo es aplicable en el mencionado laboratorio a partir del año 2019.

A pesar de que esta empresa elabora más de 10 productos para aves, como punto inicial este proyecto se enfocará en el análisis de Alimento para Aves en fase inicial (7 a 21 días de vida). El estudio de capacidad y el gráfico multivariado se realizará en los nutrientes humedad, grasa y proteína.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Las gráficas de control y el diagrama de Ishikawa son dos de las siete herramientas de la calidad definidas por Ishikawa.

Las cartas de control son métodos muy utilizados en los laboratorios de ensayo para realizar el control de los resultados de los análisis de las muestras. (Martínez, Correa, & Oropesa, 2007)

A continuación se detalla el uso de éstas herramientas las que ayudan a tener un control de la reproducibilidad y repetibilidad del análisis, además de tomar acciones correctivas oportunas para no tener futuros eventos de desviaciones.

2.1 Las 7 herramientas de la calidad definidas por Ishikawa

Las siete herramientas básicas de la calidad permitirán resolver el 95 % de los problemas a pie de fábrica, si se utilizan de forma adecuada. En otras palabras, sólo en el 5% de los casos necesitaremos herramientas estadísticas más avanzadas. (Cano, Moguerza, & Prieto, 2014)

Estas herramientas han tenido éxito debido a que pueden ser aplicadas para la resolución de varios problemas, desde el área de control de la calidad hasta producción, marketing, administración, y no sólo en el ámbito industrial sino también en empresas dedicadas a dar servicios.

Las 7 herramientas de la calidad son:

1. Diagramas de Causa - Efecto
2. Planillas de inspección
3. Gráficos de control
4. Diagramas de flujo
5. Histogramas
6. Gráficos de Pareto
7. Diagramas de dispersión

El presente proyecto consistió en aplicar tres de las siete herramientas descritas y son: Histogramas, Diagrama de Causa-Efecto y Gráficos de control.

2.2 Diagrama de Causa-Efecto

Una vez que un error, defecto o problema ha sido detectado y aislado para su posterior estudio, debemos comenzar a analizar las posibles causas de este efecto indeseable.

Montgomery (2009), indica que en situaciones donde las causas no son obvias (a veces lo son), la causa y efecto el diagrama es una herramienta formal frecuentemente útil para desencadenar las causas potenciales.

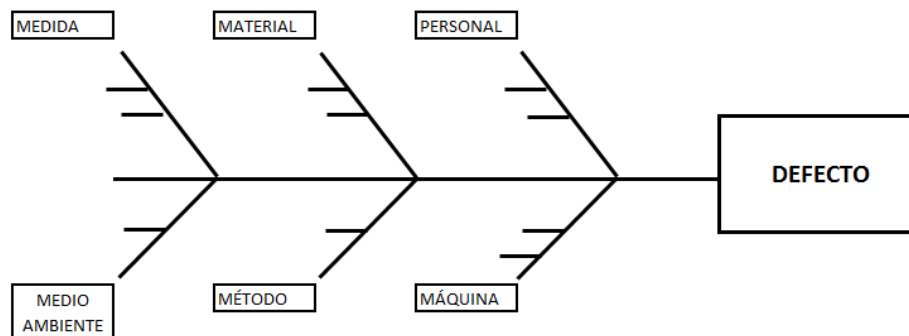
Los pasos para construir un diagrama de éste tipo son:

1. Definir el problema o efecto a ser analizado
2. Formar el grupo para llevar a cabo el análisis. A menudo pueden aportar con una lluvia de ideas para encontrar las causas del problema
3. Dibujar en una caja el efecto y una línea central
4. Especificar las mayores causas potenciales y colocarlas en cajas unidas con líneas a la línea central
5. Identificar las causas posibles y clasificarlas en las categorías del punto 4 o nuevas categorías de ser necesario
6. Ordenar las causas de tal manera que se identifiquen aquellas que más impactan al problema
7. Tomar medidas correctivas

El análisis de causa y efecto es una herramienta extremadamente poderosa.

Además de las ventajas descritas cabe añadir que la experiencia de un equipo tiende a involucrar a las personas en el ataque de un problema en lugar de culpar a alguien o algún área específica.

Figura 2-1 Diagrama Causa-Efecto



Elaborado por: La autora

En el presente estudio, el ramal “Materiales” se refiere a las materias primas usadas para la elaboración de balanceados.

2.3 El método de la gráfica de control

Producir artículos de buena calidad, a un bajo precio y en el menor tiempo posible, han llevado a la necesidad de desarrollar herramientas que permitan cumplir con dichos objetivos.

Para indicar cuando las variaciones observadas en la calidad son mayores que las que causaría la casualidad, se usa el método de análisis y presentación de datos llamado gráfica de control. El método de la gráfica de control para variables es un medio de visualizar las variaciones que se presentan en la tendencia central y en la dispersión de un conjunto de observaciones. Es un registro gráfico de la calidad de determinada característica. Muestra si el proceso está o no en un estado estable. (Besterfield, 2009).

Los gráficos de control involucran 2 fases de aplicación, con objetivos diferentes. La fase 1 la carta se construye con un análisis retrospectivo de la data, generando límites para determinar si el proceso ha estado bajo control en ese periodo determinado, y para determinar qué tan confiable son esos límites para monitorear futura producción. Luego que el proceso se estabiliza y se obtiene un conjunto “limpio” de datos, se implementa la fase 2 para monitorear futura producción. (Montgomery, 2009)

Según Rivera, (2011), mediante el uso de las cartas de control se pretende identificar las principales fuentes de variación del proceso, las cuales se identifican como:

Variabilidad debida a causas comunes: Variabilidad que aparece de manera natural en el proceso, debida al azar e inherente a la calidad. Nada se puede hacer sobre este tipo de variabilidad.

Variabilidad debida a causas especiales: Variabilidad originada por circunstancias o situaciones especiales ajenas al proceso. Este tipo de variabilidad a menudo puede ser identificada y eliminada del proceso.

Los elementos para construir una carta de control son:

-Línea central (LC): Esta línea representa el promedio de los valores medidos.
-Límites de control inferior (LCI) y superior (LCS): Estos límites definen el rango de variación del proceso, de tal manera que al estar el proceso bajo control estadístico haya una alta probabilidad de que los valores medidos se encuentren dentro de los límites de control. (Rivera, 2011)

Cabe mencionar que estos límites de control no corresponden a los límites de especificación, tolerancias o deseos del proceso. Estos son calculados a partir de la variación de los datos que se representan en la carta. La idea de su cálculo está en establecer los límites de forma que sea cubierto el mayor porcentaje de la variabilidad del proceso. Sin embargo, la elección de estos límites debe ser realizada con cuidado, ya que si se desea cubrir un alto porcentaje de variabilidad, los límites serán muy amplios. Esto dificultaría la detección de cambios; en cambio si el porcentaje es pequeño, los límites serán muy estrechos causando señales en falso. (Rivera, 2011)

2.3.1 Uso e interpretación del C_p y C_{pk}

Cómo lo indica Montgomery (2009), una manera cuantitativa de expresar la capacidad del proceso es utilizando el cálculo del C_p (Process Capability Ratio), la fórmula es la siguiente:

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma}$$

Donde USL y LSL son los límites superior e inferior de especificación respectivamente. El C_p y otros indicadores de capacidad son ampliamente utilizados en la industria.

La ecuación anterior asume que el proceso tiene ambas especificaciones, la realidad es que en muchos casos, incluido éste estudio sólo se cuenta con una. Utilizamos para el caso que solo haya especificación máxima:

$$C_{pu} = \frac{USL - \mu}{3\sigma}$$

Utilizamos para el caso que solo haya especificación mínima:

$$C_{pl} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma}$$

El cálculo de C_p no toma en cuenta que tan próximo se encuentra el promedio de los datos referente a la especificación, para éste existe el C_{pk}

$$\begin{aligned} C_{pk} &= \min(C_{pu}, C_{pl}) \\ &= \min\left(C_{pu} = \frac{USL - \mu}{3\sigma}, C_{pl} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma}\right) \end{aligned}$$

Generalmente si el $C_p = C_{pk}$, el proceso está centrado en el punto medio y cuando $C_{pk} < C_p$, el proceso no lo está.

Una importante suposición para utilizar estos indicadores es que los datos son normales.

Para éste estudio se tomó como indicador de capacidad el C_{pk} , para las variables Proteína, Grasa Humedad.

Según Besterfield, (2009) lo que hay que tener en cuenta acerca de éstos indicadores es:

1. El valor de C_p no cambia cuando cambia el centro del proceso.
2. Cuando el proceso está centrado, $C_p=C_{pk}$.
3. C_{pk} siempre es igual o menor que C_p
4. Un valor de $C_{pk} =1$ es una norma (o un estándar) de facto. Indica que el proceso está obteniendo un producto fabricado conforme a las especificaciones
5. Un valor de C_{pk} menos que 1 indica que el proceso obtiene producto que no está fabricado conforme a las especificaciones
6. Un valor de C_p menor que 1 indica que el promedio es igual a uno de los límites de especificación
7. Un valor de $C_{pk} =0$ indica que el promedio es igual a uno de los límites de especificación
8. Un valor negativo de C_{pk} indica que el promedio está fuera de las especificaciones.

2.3.2 Objetivos de las gráficas de control de variables

Señala Besterfield (2009), que las gráficas de control de variables proporcionan la información:

1. Para mejorar la calidad. Es una técnica excelente para obtener el mejoramiento de la calidad.
2. Para determinar la capacidad del proceso. La capacidad real del proceso sólo se puede alcanzar después de haber mejorado la calidad en forma sustancial.
3. Para tomar decisiones respecto a las especificaciones del producto. Una vez obtenida la capacidad real del proceso se pueden determinar las especificaciones efectivas.

4. Para decisiones del momento respecto al proceso de producción. Primero se necesita una decisión para juzgar si existe un control. Si no existe se usa la gráfica de control para obtenerlo. Una vez obtenido el control, se usa la gráfica de control para mantenerlo. Entonces, la gráfica de control se usa para decidir cuando existe un patrón natural de variación, y se debe dejar solo el proceso, y cuando esté sucediendo una pauta de variación no natural que requiere tomar acciones para encontrar y eliminar las causas asignables.
5. Para decisiones del momento respecto a artículos producidos recientemente. Se usa como una fuente de información para ayudar a decidir si uno o varios elementos deben liberarse a la siguiente fase de la producción, o si se debe ejecutar una disposición alternativa, como clasificarlo y repararlo.

2.3.3 Gráficas de control para mediciones individuales

En el caso estudiado el tamaño de muestra a analizar es 1, ($n=1$), esto significa que la muestra consiste en una medición individual, esto es debido a que tanto la toma de muestras como el análisis químico de los mismos toma tiempo, es decir los datos se obtienen de manera lenta.

Es por esto que usamos el gráfico de control para mediciones individuales. Utilizamos también el gráfico de rangos móviles, que consiste en dos observaciones bases para estimar el proceso de variabilidad. De acuerdo a Montgomery (2009), El rango móvil es definido como:

$$MR_i = |x_i - x_{i-1}|$$

Los límites para el gráfico de mediciones individuales son calculados de la siguiente manera:

$$UCL_{\bar{x}} = \bar{x} + 3 \frac{\overline{MR}}{d_2}$$

$$LC = \bar{x}$$

$$LCL_{\bar{x}} = \bar{x} - 3 \frac{\overline{MR}}{d_2}$$

Para el gráfico de rangos móviles la línea central es \overline{MR} , usamos $D_3=0$ y $D_4= 3.267$ para $n=2$, entonces los límites son

$$UCL_R = D_4\overline{MR}$$

$$LCL_R = D_3\overline{MR}$$

$$LCL_R = 0$$

Donde los factores d_2, D_3, D_4 , varían con el tamaño del subgrupo y se obtuvieron del apéndice VI: Factores para construir gráficos de control. (Montgomery, 2009).

2.3.3.1 Longitud Promedio de corrida (ARL)

Una manera para evaluar decisiones acerca de tamaño y frecuencia de muestra es el ARL (Average Run Length) del gráfico de control. Es el promedio de número de puntos que son graficados antes que un punto indique una condición fuera de control. Si las observaciones del proceso no están correlacionadas el ARL puede ser calculado de la siguiente manera:

$$ARL = \frac{1}{p}$$

Donde p es la probabilidad de que alguno de los puntos graficados exceda los límites de la carta de control. En general cuando no se posee mucha información del proceso, es recomendable usar un $p = 0,0027$ debido a que con este valor se tiene límites aproximados de 3σ .

2.3.4 Gráficas de control multivariadas

En los procesos de industriales de hoy en día, para controlar la calidad de los productos es necesario vigilar más de una característica la vez.

En primera instancia es común recurrir a desarrollar métodos estadísticos de control para cada una de las características, es decir de forma univariante. Sin embargo, sería imposible controlar el efecto de las interacciones entre las diversas variables, se deja a un lado la información de las covarianzas y su estabilidad. En muchas ocasiones el interés radica en saber que tan parecidas

son dos poblaciones en promedio, teniendo en cuenta varias características de cada población simultáneamente.

Los gráficos de control multivariable se basan en distancias cuadráticas multivariadas estandarizadas (generalizadas) de la media general.

El profesor Harold Hotelling (1947), propuso un gráfico de control multivariado basado en la distancia de Mahalanobis, utilizando el vector promedios y la matriz de covarianzas de una variable aleatoria con distribución normal multivariada, para realizar el gráfico de control multivariado T^2 de Hotelling. Éste gráfico monitoriza la distancia entre el vector de promedios esperado y el vector de promedios observados, considerando su matriz de covarianzas y que utiliza un límite de control (UCL) el cual indica si la distancia entre los dos vectores es suficientemente grande para declarar el proceso como fuera de control. (Ruiz, 2013).

Según Montgomery (2009), en el caso que existan m muestras, cada una de tamaño $n=1$, p es el número de características de calidad observadas en cada muestra. Entonces $\widehat{\mu}_0$ y S son el vector de medias y matriz de covarianzas de las observaciones respectivamente. El estadístico T^2 de Hotelling se detalla de la siguiente forma:

$$T^2 = (x - \widehat{\mu}_0)' S^{-1}(x - \widehat{\mu}_0)$$

El T^2 no es más que un estadístico univariado calculado a partir de datos multivariados y es una medida de la distancia estadística entre un vector de medias muestrales y el vector de medias poblacionales bajo la hipótesis nula, teniendo en cuenta la estructura de la covarianza. Depende del supuesto de normalidad de las poblaciones. (Zambrano & Zambrano, 2008)

Montgomery (2009) también cita a Tracy, Young y Mason (1992) quienes señalaron que si $n=1$, los límites en la fase I deben estar basados en una distribución Beta.

Definidos así.

$$UCL = \frac{(m-1)^2}{m} \beta_{\alpha, p/2, (m-p-1)/2}$$

$$LCL = 0$$

Donde $\beta_{\alpha, p/2, (m-p-1)/2}$ representa el percentil de la distribución beta con parámetros $p/2$ y $(m-p-1)/2$.

En dicha carta no tiene importancia la línea central; tampoco hace falta el límite inferior de control, ya que T^2 por ser un estadístico cuadrático nunca es negativo y además no se presenta ningún problema si es muy cercano a 0.

Según Montgomery (2009) , en la fase 2 cuando la carta es usada para monitorear producción futura, el límite de control es como sigue:

$$UCL = \frac{p(m+1)(m-1)}{m^2 - mp} F_{\alpha, p, m-p}$$

$$LCL = 0$$

Donde $F_{\alpha, p, m-p}$ representa el percentil de la distribución de Fisher con parámetros p y $(m-p)$.

2.3.5 Errores Tipo 1 y Tipo 2 en gráficas de control

Las gráficas de control no son herramientas perfectas para detectar los cambios en la distribución de procesos, por el hecho de que están basadas en distribuciones de muestreo. Se pueden presentar 2 tipos de errores cuando se utilizan éstas gráficas.

- Error tipo I: Se produce cuando la persona que hace el análisis, llega a la conclusión que la producción está fuera de control, basándose en un resultado de muestra ubicado fuera de los acotamientos de control, cuando en realidad se trataba de un efecto puramente aleatorio. En otras palabras, se rechaza un lote de buena calidad.
- Error tipo II: Se presenta cuando el empleado en cuestión concluye que el proceso está bajo control y que sólo se presentan discrepancias

aleatorias, cuando en realidad dicho proceso está fuera de control estadístico. Es decir aceptar un lote de mala calidad. (Paz & Gómez)

Tabla 2-1 Tabla de Tipo de Errores en Pruebas de Hipótesis

	H₀ es verdadera	H₀ es falsa
Rechazo H₀	Error de tipo I	Decisión correcta
No Rechazo H₀	Decisión correcta	Error de tipo II

*Fuente: Paz y Gómez
Elaborado por: La autora*

2.3.6 Normalidad en los procesos

La distribución de probabilidad normal y la curva normal que la representa, tienen las siguientes características:

1. La curva normal tiene forma de campana y un solo pico en el centro de la distribución. De esta manera, la media aritmética, la mediana y la moda de la distribución son iguales y se localizan en el pico. Así, la mitad del área bajo la curva se encuentra a la derecha de este punto central y la otra mitad está a la izquierda de dicho punto.
2. La distribución de probabilidad normal es simétrica alrededor de su media.
3. La curva normal desciende suavemente en ambas direcciones a partir del valor central. Es asintótica, lo que quiere decir que la curva se acerca cada vez más al eje X pero jamás llega a tocarlo. Es decir, las “colas” de la curva se extienden de manera indefinida en ambas direcciones.

Muchas variaciones de la naturaleza y en la industria siguen la distribución de frecuencia de las curvas normales.

2.3.6.1 Pruebas de Normalidad Univariante

Los resultados de la prueba indican si usted debe rechazar o no puede rechazar la hipótesis nula de que los datos provienen de una población distribuida normalmente.

Como se indica en Yap & Sim (2011), los siguientes son tipos de pruebas de normalidad que puede utilizar para evaluar la normalidad.

Prueba de Anderson-Darling (A^2)

Esta prueba compara la función de distribución acumulada empírica (ECDF) de los datos de la muestra con la distribución esperada si los datos fueran normales. Si la diferencia observada es adecuadamente grande, usted rechazará la hipótesis nula de normalidad de la población. La prueba de normalidad de Anderson-Darling se define de la siguiente manera:

H_0 : Los datos siguen una distribución Normal

H_1 : Los datos no siguen una distribución Normal

$$A^2 = -N - \frac{1}{N} \sum (2i - 1)(\ln F(Y_i) + \ln(1 - F(Y_{N+1})))$$

Notación

Término	Descripción
$F(Y_i)$	$\Phi\left(\frac{Y_i - \bar{x}}{s}\right)$, que es la función de distribución acumulada de la distribución normal estándar
Y_i	datos ordenados.

Prueba de normalidad de Ryan-Joiner

Esta prueba evalúa la normalidad calculando la correlación entre los datos y las puntuaciones normales de los datos. Si el coeficiente de correlación se encuentra cerca de 1, es probable que la población sea normal. El estadístico de Ryan-Joiner evalúa la fuerza de esta correlación; si se encuentra por debajo del valor crítico apropiado, usted rechazará la hipótesis nula de normalidad de la población. Esta prueba es similar a la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk.

El coeficiente de correlación se calcula de la siguiente manera:

$$R_P = \frac{\sum Y_i b_i}{\sqrt{s^2(n-1) \sum b_i^2}}$$

Donde:

Y_i , son las observaciones ordenadas

b_i , puntuaciones normales de los datos ordenados

s^2 , varianza de la muestra

Las pruebas de Anderson-Darling y Kolmogorov-Smirnov se basan en la función de distribución empírica. La prueba de Ryan-Joiner (similar a la prueba de Shapiro-Wilk) se basa en regresión y correlación. Se decide utilizar la prueba de Ryan-Joiner ya que es una prueba adecuada para muestras superiores a 30 observaciones. (Ukponmwan & Ajibade, 2017)

Prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov

Esta prueba compara la función de distribución acumulada empírica (ECDF) de los datos de la muestra con la distribución esperada si los datos fueran normales. Si esta diferencia observada es adecuadamente grande, la prueba rechazará la hipótesis nula de normalidad de la población. Si el valor p de esta prueba es menor que el nivel de significancia (α) elegido, usted puede rechazar la hipótesis nula y concluir que se trata de una población no normal.

La prueba de Kolmogorov-Smirnov se define como:

H_0 : Los datos siguen una distribución Normal

H_1 : Los datos no siguen una distribución Normal

El estadístico de la prueba de Kolmogorov-Smirnov se define como:

$$D = \max \{D^+, D^-\}$$

Notación	
Término	Descripción
D^+	$\max_i \left\{ \frac{i}{n} - Z_{(i)} \right\}$
D^{-+}	$\max_i \left\{ Z_{(i)} - \frac{i-1}{n} \right\}$
z	$F(X_{(i)})$
$F(x)$	Función de distribución de probabilidad de la distribución normal
$x_{(i)}$	Estadísticos de $i^{\text{ésimo}}$ orden de una muestra aleatoria, $1 \leq i \leq n$
n	Tamaño de la muestra

2.3.6.2 Normalidad Multivariada

Se utiliza cuando a un mismo individuo o muestra se le mide más de una característica de calidad.

La distribución Normal Multivariada es utilizada como supuesto de muchos análisis estadísticos paramétricos tales como: MANOVA, Análisis Discriminante Lineal, Análisis de Componentes Principales, Correlación Canónica, entre otras. Es importante verificar el cumplimiento de este supuesto para que se pueda tener confiabilidad en los resultados obtenidos. En la literatura estadística, existen diferentes pruebas que permiten verificar la normalidad multivariada. (Porras, 2016)

Para verificar si un conjunto de datos proviene de una distribución normal multivariada se puede hacer uso de gráficos (procedimientos descriptivos) o de pruebas estadísticas (procedimientos inferenciales). Si bien es cierto que los métodos gráficos son más fáciles de interpretar, las pruebas estadísticas nos permiten una mejor generalización de los resultados. (Porras, 2016)

El software Rstudio con su paquete "MVN" Multivariate Normality Tests, permite usar diferentes estadísticos como lo son Mardia, Henze-Zikler, Royston, entre

otros. Además implementa detección de valores atípicos multivariado y univariado de distribuciones normales marginales a través de gráficos y pruebas.

Mardia (1970), propuso algunos tests para contrastar si la asimetría y la curtosis multivariantes del conjunto de variables observables permite asumir o no la hipótesis de normalidad. Estos contrastes se construyen a partir de las siguientes medidas muestrales de asimetría y curtosis multivariantes:

Asimetría

$$G_{1,p} = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n [(x_i - \bar{x})' \hat{S}^{-1} (x_j - \bar{x})]^3$$

Curtosis

$$G_{2,p} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})' \hat{S}^{-1} (x_i - \bar{x})]^2$$

Donde n representa el número total de observaciones, x_i y x_j son vectores columna con los valores de todas las variables para las observaciones i –ésima y j –ésima , respectivamente, \bar{x} es el correspondiente vector columna de medias muestrales y \hat{S}^{-1} es la inversa de la matriz de varianzas y covarianzas muestral. (Porras, 2016)

Porras, J. (2016), indica que se ha demostrado que las pruebas mencionadas no presentan diferencias significativas en su potencia de prueba. Sin embargo, cabe resaltar que cuando se trabaja con una mayor cantidad de variables la potencia de la prueba de Mardia disminuye ligeramente mientras que la potencia de prueba de la prueba de Royston aumenta a medida que el tamaño de muestra aumenta. En éste caso el número de variables es 3, por lo que se puede usar Mardia sin inconveniente en el presente estudio.

CAPÍTULO III

PROCESO PRODUCTIVO Y ANÁLISIS BROMATOLÓGICO.

3.1 Producción de Balanceados

La elaboración de alimentos balanceados es un etapa imprescindible en la cadena productiva: ganadera, sea para carne o leche, avícola, acuicultura, entre otras. La industria de balanceados tiene una gran interrelación con el sector agrícola primario (materia prima producto de la naturaleza) y secundario (productos semielaborados o elaborados) puesto que gran cantidad de insumos provienen de este sector.

Los 2 mayores insumos utilizados dentro de este sector son el maíz duro y los granos de soya, el consumo de estos productos dentro de la industria de alimento para animales en el periodo 2017 a 2018, fue de 1'279.432,57 Toneladas para maíz y de 57.842,50 para soya distribuidos en las empresas fabricantes de la siguiente manera:

Gráfico 3-1 Consumo de Maíz por industria



Fuente: Asociación Ecuatoriana de Fabricantes de Alimentos Balanceados para Animales
Elaborado por: La autora

Gráfico 3-2 Consumo de Soya por Industria

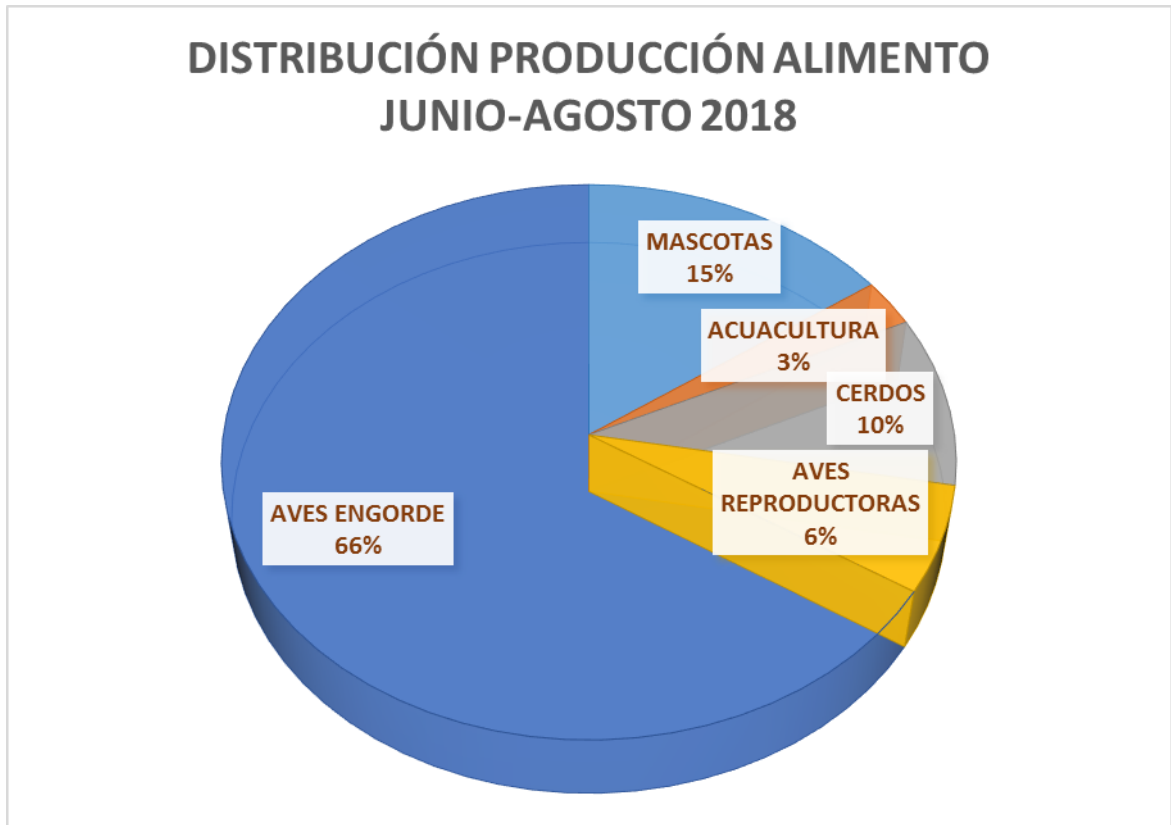


*Fuente: Asociación Ecuatoriana de Fabricantes de Alimentos Balanceados para Animales
Elaborado por: La autora*

Ecuador produjo una cantidad aproximada de 2,5 millones de toneladas de alimento animal, donde se destaca la producción de alimento para pollos de engorde, acuicultura y gallinas ponedoras, los cuales concentran el 80% de la producción nacional de estos productos.

En la empresa que se realizó el estudio la producción entre los meses de Junio y Agosto fue de 75.126,943 Toneladas y se divide de la siguiente manera:

Gráfico 3-3 Producción Junio-Agosto Fábrica Guayas



*Fuente: Departamento de Producción
Elaborado por: La autora*

3.2 Descripción del proceso

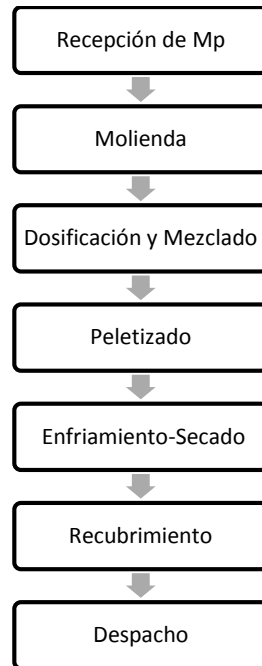
La planta de alimentos donde se realizó el estudio tiene una capacidad nominal de 75 tn/hr, los procesos de elaboración de alimento balanceado se inician con la recepción y almacenamiento de materias primas

En la elaboración del alimento para aves se realizan las siguientes etapas:

- Recepción de Materia Prima
- Molienda
- Dosificación y Mezclado
- Pelletizado
- Enfriamiento-Secado

- Recubrimiento
- Despacho

Gráfico 3-4 Diagrama de Flujo de Elaboración de Alimento Balanceado para Aves



*Fuente: Departamento de Producción
Elaborado por: La autora*

3.2.1 Recepción de materias primas.

Las materias primas al granel son transferidos desde los silos y bodegas hacia los bins de almacenamiento de la planta mediante equipos de elevación y transporte. Las materias primas ensacadas son abastecidas en una tolva.

En ésta etapa el departamento de Aseguramiento de la calidad realiza ensayos físicos de las materias primas para garantizar el cumplimiento de parámetros.

3.2.2 Proceso de molienda

Se utilizan molinos de martillos tipo vertical para disminuir el tamaño de partícula de las materias primas que no cumplen con los requisitos necesarios para su uso inmediato.

Con el molino se pretende conseguir la granulometría adecuada de las partículas en tamaño y forma según la presentación del alimento terminado: polvo o peletizado (granulado).

3.2.3 Proceso de Dosificación y Mezclado

El proceso de dosificación y mezclado consiste en pesar cada una de las materias sólidas y líquidas utilizadas en cada fórmula mediante balanzas de distintas capacidades para lo cual se emite una orden de mezcla en el sistema automático de bacheo. Una vez obtenido el peso correspondiente de cada ingrediente, y de acuerdo al porcentaje de inclusión, estas materias primas se depositan en una mezcladora, con el fin de homogenizar las materias primas y obtener una mezcla uniforme. La homogenización de las materias primas completa un tiempo de mezclado por batch de 120 segundos; 90 segundos de mezclado en seco y 30 segundos de mezclado en húmedo de donde se obtiene una masa de alimento denominada mezcla la cual ingresa al proceso de peletizado.

3.2.4 Proceso de peletizado.

El proceso de peletizado mejora las eficiencias del alimento, es un proceso donde se combinan, la humedad, la presión y el calor para gelatinizar o desglosar los componentes en los ingredientes de los alimentos. Se tiene una capacidad de peletizado de 40 tn/hr dividida en dos líneas. El peletizado reduce la segregación de los diferentes ingredientes dentro del alimento terminado haciendo que se consuma una ración equilibrada.

3.2.5 Proceso de Enfriamiento-Secado

Éste proceso se lleva a cabo en los enfriadores cuya misión es reducir la humedad y la temperatura del pellet para su conservación. El objetivo es alcanzar la temperatura ambiente. El mejor vehículo para reducir la humedad es el aire seco. Los pellets entran en el enfriador con una humedad de 14-16% y con una temperatura de 60-90° C. A la salida del enfriador habrá una humedad

de 10-12% y una temperatura de 20-30° C. La temperatura a la salida no será superior en más de 5-7° C a la ambiente.

Para el caso de alimento para pollos en fase inicial, luego de ésta etapa de enfriamiento, el alimento es pasado al Crumbler, equipo con 2 rodillos de trituración, donde se convierte en migajas.

Figura 3-1 Alimento balanceado para aves fase inicial



Fuente: Departamento de calidad

3.2.6 Etapa de recubrimiento

En esta etapa en el Enrober o tambor de rociado se agregan mediante aspersion aceites y las enzimas. El tambor de rociado es el mejor sistema de engrasado de un pellet en frío. Una vez el producto ha salido del enfriador, por razones de temperatura, la capacidad de absorción de grasa se reduce. En el tambor de engrasado puede llegar a añadirse hasta un 4-5% de grasa en al alimento balanceado de pollos. Es importante el regulador automático del caudal del alimento. El alimento llega al tambor tamizado, para evitar la formación de grumos. Hay que vigilar la limpieza de las boquillas y hacer controles de dosificación.

3.2.7 Proceso de despacho.

El proceso de despacho consiste en llenar camiones provistos de unos tanques llamados graneleros del alimento. Los mismos van a granjas donde se descargan en los comederos de las aves.

El producto resultante de éste proceso es un pellet constituido por materias primas de origen vegetal tales como maíz, pasta de soya, arrocillo y trigo. La empresa donde se realiza el estudio, fabrica dietas completas y balanceadas destinadas a pollos engorde desde el primer día hasta el faenamiento.

En cada etapa es primordial controlar la calidad para asegurar que el producto final cumpla con los requisitos de fabricación. Estos requisitos son definidos por nutricionistas quienes evalúan las necesidades del animal en cada etapa. La alimentación adecuada asegura en el pollo una buena constitución corporal en cuanto a músculos, huesos y grasas, que se traduce en buen peso y por lo tanto buena rentabilidad. Usualmente se utiliza el término conversión alimenticia para evaluar la eficiencia del alimento, este indicador relaciona el total de kilos de alimento consumido con el total de kilos de pollo vivo producido. Cuanto menor sea la conversión más eficiente es el ave

3.3 Descripción de Materias Primas

Los alimentos balanceados para las aves de corral buscan mantener la actividad metabólica de los animales y permitir que cumplan con su finalidad productiva, es por esto que se componen de una mezcla de materias primas que aportan diferentes componentes.

Básicamente se dividen en Materias Primas de Origen Vegetal y Animal, para el caso de aves se utiliza del primer tipo y se resumen de la siguiente manera:

Tabla 3-1 Materias primas en Balanceados para Aves

Materias Primas usadas en Alimentos para Aves
Maíz Nacional
Pasta de Soya
Polvillo de Arroz
Afrechillo de trigo
Trigo Duro
Aceites vegetales

Fuente: Departamento de Formulación
Elaborado por: La autora

3.3.1 Maíz Nacional como principal Materia Prima

En Ecuador, el maíz amarillo duro es uno de los productos agrícolas más importantes y la principal materia prima para la elaboración de alimentos balanceados.

Figura 3-2 Maíz Amarillo Nacional



Fuente: Departamento de calidad

Es el conjunto de granos procedentes de cualquier variedad o híbrido de la gramínea *Zea mays*.

Es por su alto valor energético, palatabilidad, escasa variabilidad de su composición química y bajo contenido en factores antinutritivos.

El maíz participa entre el 60 a 75% de las dietas y contribuye con un importante aporte de energía y un moderado aporte de proteína.

Su composición química es la siguiente:

Tabla 3-2 Composición Maíz Nacional

Humedad (%)	11,54
Grasa (%)	3,96
Proteína (%)	8,04
Ceniza (%)	1,31
Fibra (%)	2,06

*Fuente: Departamento de Calidad
Elaborado por: La autora*

En la tabla anterior se describen las principales características nutricionales de esta materia prima que es el principal insumo para la formulación de alimentos balanceados en el país, debido a su costo y al aporte nutricional llega a ser hasta el 61 % de la dieta.

3.3.2 Pasta de Soya

Es el producto que se obtiene al moler las hojuelas del grano de soya sin descascarillar o parcialmente descascarillado, luego de remover la mayor parte del aceite mediante un proceso de extracción por solvente (normalmente hexano).

Figura 3-3 Pasta de Soya



Fuente: Departamento de calidad

La soya está considerada como la fuente proteica de mejor elección para la alimentación de cerdos y aves en crecimiento y finalización por su alto contenido proteico, alta digestibilidad, buen balance de aminoácidos, calidad consistente y bajos costos comparada con otras fuentes proteicas.

Su composición química es la siguiente:

Tabla 3-3 Composición Pasta de Soya

Humedad (%)	11,12
Grasa (%)	1,66
Proteína (%)	46,46
Ceniza (%)	7
Fibra (%)	3,78

*Fuente: Departamento de Calidad
Elaborado por: La autora*

3.3.3 Polvillo de Arroz

Es un coproducto obtenido al pulir el grano de arroz (*Oryza sativa*), el cual ha sido previamente descascarillado. Está compuesto esencialmente por el pericarpio o salvado y el germen de arroz (no extraído); con la cantidad de

cascarilla, granillo de arroz que es inevitable en el proceso de pulido del arroz comestible.

Se la considera en la formulación de balanceados como materia prima de alto contenido energético.

Su composición química es la siguiente:

Tabla 3-4 Composición Polvillo de Arroz

Humedad (%)	9,31
Grasa (%)	16,6
Proteína (%)	13,35
Ceniza (%)	8,53
Fibra (%)	6,41

*Fuente: Departamento de Calidad
Elaborado por: La autora*

3.3.4 Afrechillo de trigo

Es un coproducto obtenido en la fabricación de harina de trigo (*Triticum sp.*), procedente del refinado del salvado de trigo, compuesto principalmente por escamillas más pequeñas provenientes de los tegumentos. Contiene partículas finas como pedazos pequeños de trigo entero, germen de trigo, escasa porción de harina y residuos varios del proceso de molienda.

Su composición química es la siguiente:

Tabla 3-5 Composición Afrechillo de Trigo

Humedad (%)	11,2
Grasa (%)	3,2
Proteína (%)	15,87
Ceniza (%)	5,67
Fibra (%)	10,2

*Fuente: Departamento de Calidad
Elaborado por: La autora*

3.3.5 Trigo Suave

Es el grano entero del trigo suave (*Triticum aestivum*). Este se usa en alimentación humana básicamente, cuando hay excedentes es utilizada para alimentación animal, el trigo es entre todos los cereales el que presenta mayor contenido proteico, es utilizado principalmente en alimentación de ganado, equinos, cerdos y aves de corral.

Su composición química es la siguiente:

Tabla 3-6 Composición Trigo Suave

Humedad (%)	10,58
Grasa (%)	1,49
Proteína (%)	9,34
Ceniza (%)	1,63
Fibra (%)	2,99

Fuente: Departamento de Calidad
Elaborado por: La autora

3.3.6 Aceites Vegetales

En el país de la palma africana se extrae el palmiste y el aceite crudo, este último es muy utilizado en dietas ya que provee un alto contenido energético y se conoce como aceite rojo por su alto contenido de beta-carotenos.

Los ácidos grasos insaturados que constituyen los triglicéridos (TG) del aceite de palma son el oleico (36-44%) y el linoleico (9-12%). También posee los ácidos grasos saturados palmítico (39,3-47,5%) y esteárico (3,5-6%). (Rincón & Martínez, 2009)

La grasa de Toco es utilizado como sustituto de la grasa de origen animal en los alimentos balanceados, contiene betacarotenos y tocoferoles como antioxidantes naturales.

3.4 Formulación de alimentos balanceados para aves

En la empresa en donde se realizó el estudio, cuando se reciben los ingredientes es necesario una inspección visual de cada uno de ellos, se realiza una adecuada toma de muestras y análisis simples de realización inmediata

(humedad, densidad, granulometría) y otros específicos para cada ingrediente, que se solicitan al proveedor o de acuerdo al caso se realizan internamente.

Los requerimientos del animal según la edad, sexo y tamaño, además del aporte de las materias primas disponibles en el mercado y su accesibilidad son variables cruciales en la formulación de balanceados.

Tabla 3-7 Recomendaciones nutricionales aves

	INICIO	CRECIMIENTO	FINALIZADOR 1	FINALIZADOR 2
CANTIDAD DE ALIMENTO/AVE	180 g 0,40 lb	700 g 1,54 lb	1350 g 3 lb	-
PERIODO DE ALIMENTACIÓN "DÍAS"	0-8	9-18	19-28	>28
TIPO DE ALIMENTO	Migaja	Migaja/Pellet	Pellet	Pellet
PROTEÍNA CRUDA	21-22 %	19-20%	18-19%	17-18%
CALCIO	0,9	0,84	0,76	0,76
FÓSFORO DISPONIBLE	0,45	0,42	0,38	0,38

*Fuente: Cobb 500
Elaborado por: La autora*

Para producir proteína de alta calidad para consumo humano, la industria avícola requiere de una cadena altamente tecnificada que comprende desde granjas de reproductoras, incubadoras, fábricas de alimentos balanceados, granjas comerciales, plantas procesadoras hasta empresas distribuidoras de los productos avícolas. Esta cadena busca garantizar cada uno de los procesos hasta que los productos lleguen, con calidad óptima, al consumidor final.

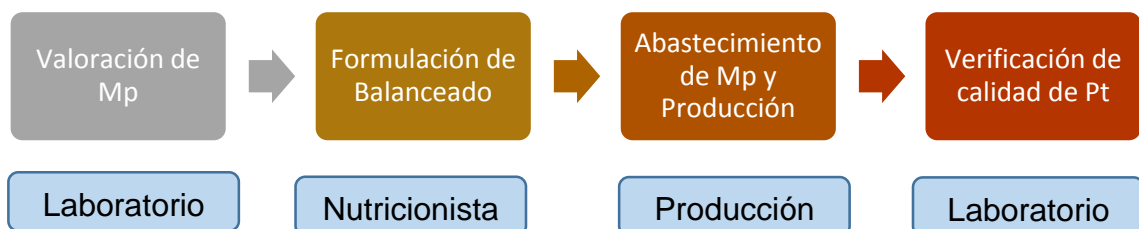
La dieta para los pollos de engorde debe ser elaborada con ingredientes de alta calidad y tener un buen balance de nutrientes dada la corta duración del ciclo completo

Como lo indica Zaviezo (2016), la producción adecuada del alimento implica una estrecha relación del nutricionista con el personal de la fábrica de alimento. Esta relación permite por un lado asegurar que el alimento sea fabricado de acuerdo con las especificaciones sugeridas en la formulación y por otro, para tomar decisiones en caso de alteraciones o errores durante la producción. No está de

más mencionar la labor del laboratorio bromatológico que verifica contenido nutricional de la materia prima y del producto terminado.

El orden de las actividades realizadas en la industria de alimentos balanceados para aves se puede resumir de la siguiente manera:

Figura 3-4 Laboratorio y su relación con nutrición y producción



Elaborado por: La autora

3.4.1 Proteína en la dieta de las Aves.

La importancia de las proteínas en la dieta de las aves se demuestra por las numerosas funciones que desarrollan en el organismo del animal. Son constituyentes indispensables de todos los tejidos del animal. Constituyen alrededor de la quinta parte del peso del ave y aproximadamente la séptima parte del peso del huevo.

La cantidad de proteína recomendada es de 20-22% en las primeras 6 semanas de vida del ave, para después reducirla de 16 a 18%. Las necesidades de proteína son mayores al principio debido a que los pollitos en las primeras semanas de vida necesitan una cantidad mayor para la formación de sus tejidos, pues es cuando crecen con mayor rapidez. (Cuca, 1963)

3.4.2 Grasa en la dieta de las Aves

La grasa proporciona la energía suficiente para que desarrollen sus funciones tales como: Movimiento de su cuerpo, conservación de la temperatura corporal, producción de grasa, huevo y carne. Una dieta baja en energía hace que se retarde el crecimiento y que la eficiencia alimenticia sea muy pobre.

3.5 Control de Calidad de Producto Final

Las tendencias en las reglamentaciones actuales y las exigencias del mercado hacen que las plantas de alimento terminado tengan que revisar y actualizar sus sistemas de control de calidad.

La variación en la calidad de un alimento está relacionada principalmente con variaciones en la calidad de los ingredientes, y en menor grado con variaciones en los parámetros de producción.

En el laboratorio de bromatología se realiza el análisis de las muestras tomadas en el área de producción, con el objetivo de verificar que el producto cumpla las especificaciones y logre satisfacer necesidades nutricionales de los pollos en las granjas.

3.6 Requisitos Alimentos Balanceados para Aves.

La norma ecuatoriana NTE INEN 1829 establece los requisitos que deben cumplir los alimentos compuestos destinados a la alimentación de pollos engorde.

Tabla 3-8 Requisitos bromatológicos Aves Engorde

REQUISITOS	UNIDAD	ALIMENTO INICIADOR		ALIMENTO FINALIZADOR	
		Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Humedad	%	-	13	-	13
Proteína Cruda	%	20	-	18	-
Fibra Cruda	%	menor que	5	menor que	5
Grasa Cruda	%	3	-	4	-
Cenizas	%	-	8	-	8
Calcio	%	0,9	1	0,8	1
Fósforo total	%	0,68	-	0,6	-

*Fuente: NTE INEN 1829
Elaborado por: La autora*

3.7 Análisis en laboratorio bromatológico

Un área de verificación muy importante dentro de la industria de alimentos balanceados es el control físico-químico de cada una de las materias primas y del producto terminado.

Se cuenta con hojas de especificaciones, las cuales reúnen estándares de calidad que se deben cumplir, basados en las normas INEN, se deben monitorear las características definidas y tomar decisiones de aceptación o rechazo de acuerdo a éstas.

En el momento de producción se toman muestras de cada alimento (lote) y se realizan análisis bromatológicos es decir fibra, proteína, humedad, cenizas, grasa con el objetivo de comparar con lo que inicialmente fue formulado, de esta manera se garantiza que el producto final cumpla con todas las especificaciones físicas como químicas todo esto antes de ser despachado, entre los principales análisis tenemos los siguientes:

- Determinación de Humedad-Pérdida por secado
- Determinación de Grasa Cruda
- Determinación de Ceniza
- Determinación de Proteína cruda
- Determinación de Fibra
- Determinación de Calcio
- Determinación de Fósforo

Los resultados de los análisis son almacenados en el software de laboratorio PROLAB.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

En este capítulo se empleó estadística descriptiva para así tener un análisis preliminar de los datos, también se recurrió a histogramas para graficar los datos. Se comprobó la distribución de los datos con el test de Ryan Joiner. Posterior a esto se realiza gráficas de control para mediciones individuales, se realiza cálculo de C_{pk} para medir la capacidad del proceso en los parámetros Humedad, Proteína y Grasa y de acuerdo a esto realizamos un diagrama de causa o efecto, o también conocido como Ishikawa.

La data fue recolectada de resultados de análisis de 61 muestras de alimento, realizados en un laboratorio de una empresa de balanceados ubicada en la provincia del Guayas, las cuales fueron tomadas mediante el plan de muestreo lote a lote entre los meses de Enero y Julio 2018 en la planta previo a ser despachadas. Se armaron muestras de 1 Kg aproximadamente cada una y en el laboratorio se proceden a moler 300 gramos los cuales entran a análisis. Se realizó en dichas muestras el análisis de humedad, grasa, ceniza, fibra y proteína mediante metodologías internas.

4.1 Análisis univariante

Como ya se mencionó en éste proyecto, la calidad del alimento depende de la calidad inicial de las materias primas, relacionada también con una correcta formulación y parámetros de producción estables.

En el laboratorio bromatológico cada variable es monitoreada individualmente mediante análisis químicos al producto terminado, todo esto con metodologías de ensayo internas. La deficiencia de algún nutriente puede deteriorar procesos fisiológicos del ave.

La estadística descriptiva univariante se centra en el análisis de una única característica o cualidad del individuo. En el presente estudio en primera instancia se realizó un análisis de cada una de las variables. Con medidas de posición y de dispersión. También se muestra histogramas.

4.1.1 Análisis de variable Porcentaje de Humedad

Mantener el contenido de humedad del alimento dentro de parámetros establecidos es clave desde el punto de vista económico así como para preservar estándares de calidad. Contenidos altos de humedad llevará al alimento al desarrollo de indeseable de hongos y levaduras los cuales constituyen riesgo de inocuidad.

El valor de humedad del producto terminado según normativa NTE INEN 1829 debe ser máximo 13%.

Calculamos los estadísticos descriptivos de las 61 muestras analizadas para la variable humedad.

Tabla 4-1 Estadísticos Descriptivos (%) Humedad

<i>n</i>	61
<i>Mínimo</i>	9,09
<i>Primer cuartil</i>	9,76
<i>Mediana</i>	10,09
<i>Media</i>	10,11
<i>Tercer cuartil</i>	10,42
<i>Máximo</i>	11,3

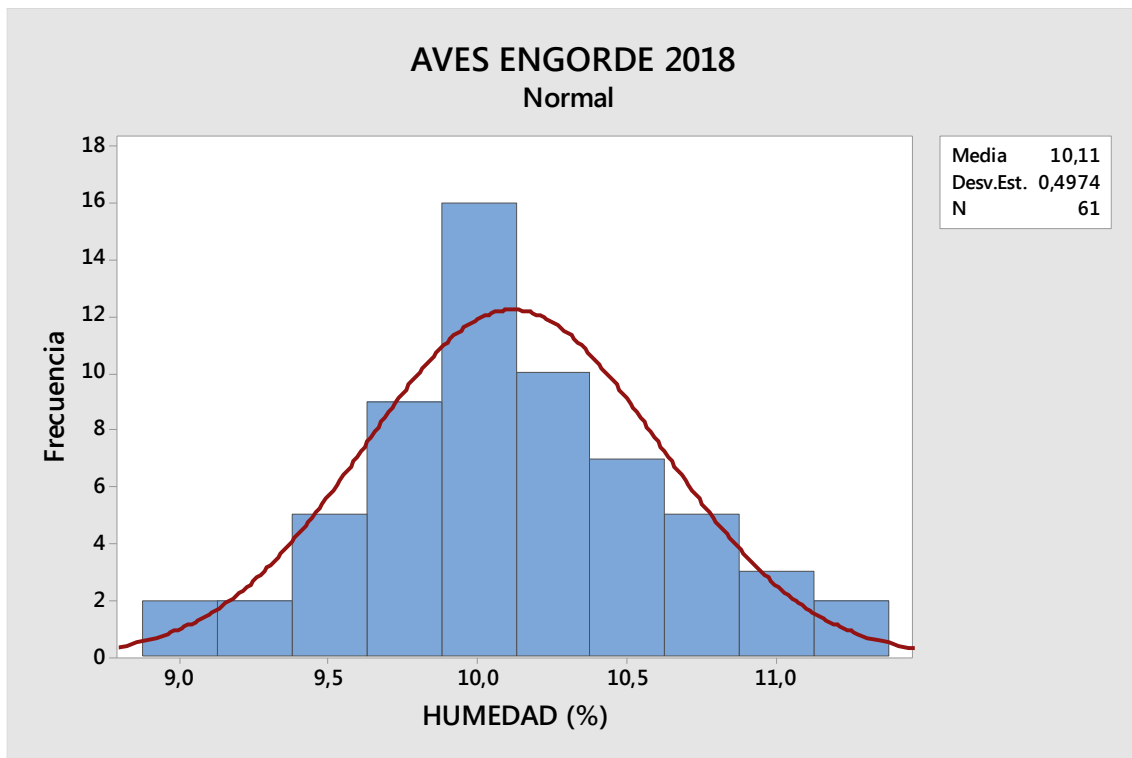
*Fuente: Departamento de Calidad
Elaborado por: La autora*

Según lo calculado el promedio de los datos es de 10,11% con un máximo de 11.3%, dentro del límite de especificación

4.1.1.1 Histograma de Variable Porcentaje de Humedad

En el histograma se observa que los datos se encuentran centrados y que no se supera la especificación máxima.

Gráfico 4-1 Histograma Porcentaje de Humedad



Elaborado por: La autora-Software Minitab-18 Español

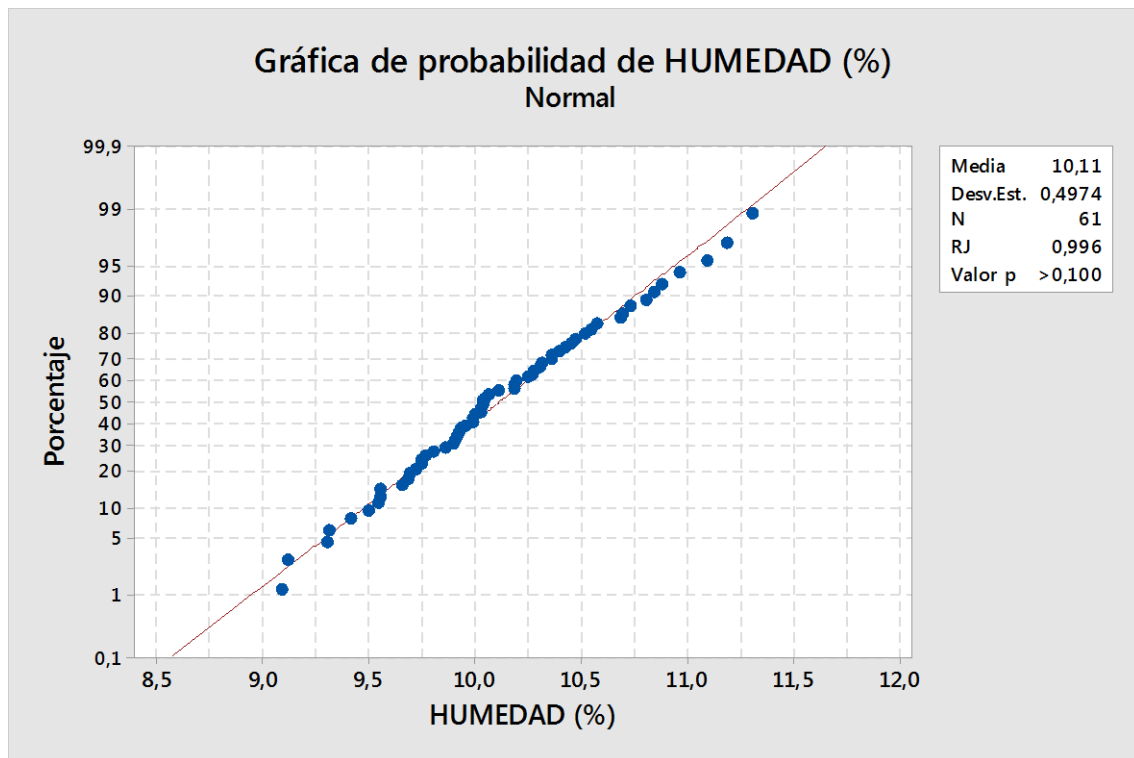
Observamos que no existen valores atípicos y que la mayor parte de los resultados se sitúan alrededor de la media.

4.1.1.2 Prueba de Normalidad de variable Porcentaje de Humedad

Antes del tratamiento estadístico posterior se analiza en primer lugar si los datos de la variable tienen una distribución normal. Para ello se utilizarán gráficos y pruebas de contraste de normalidad. Utilizaremos la prueba de Ryan Joiner.

Los resultados de la prueba indican si usted debe rechazar o no puede rechazar la hipótesis nula de que los datos provienen de una población distribuida normalmente.

Gráfico 4-2 Gráfica de Probabilidad Porcentaje de Humedad



Elaborado por: La autora-Software Minitab-18 Español

Los puntos se encuentran cerca de la línea de distribución ajustada. La distribución normal parece ajustarse adecuadamente a los datos.

Según la prueba de Ryan Joiner, con un $p > 0,05$ no existe evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula, es decir los datos de Humedad siguen una distribución normal

4.1.2 Análisis de la variable Porcentaje de Grasa

Desde el punto de vista de la nutricional, las grasas son una fuente concentrada de energía y de ácidos grasos esenciales

Calculamos los estadísticos descriptivos.

Tabla 4-2 Estadísticos Descriptivos (%) Grasa

<i>n</i>	61
<i>Mínimo</i>	4
<i>Primer cuartil</i>	5,24
<i>Mediana</i>	6,24
<i>Media</i>	5,98
<i>Tercer cuartil</i>	6,64
<i>Máximo</i>	7,86

*Fuente: Departamento de Calidad
Elaborado por: La autora*

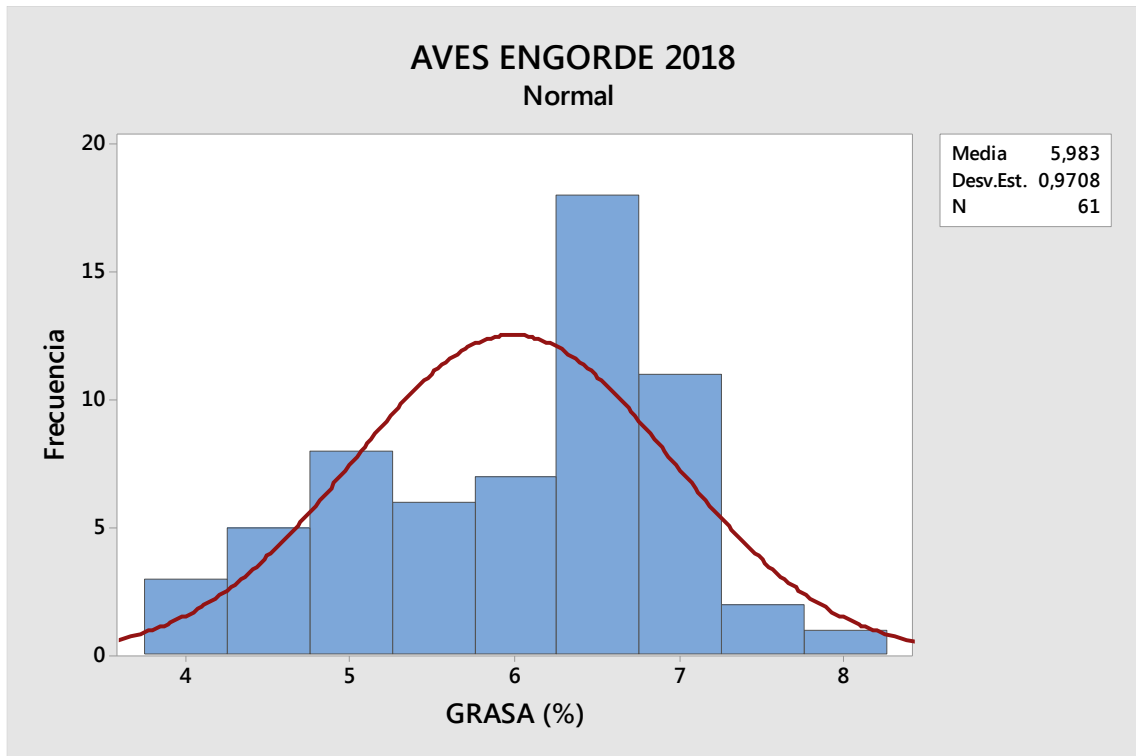
El límite de especificación es mínimo 3% de grasa en el producto terminado, según la normativa NTE INEN 1829.

Cómo vemos el promedio de los datos es 5,98% y tenemos un valor máximo de 7,86%

4.1.2.1 Histograma de la variable Porcentaje de Grasa

En el histograma observamos que se tiene una mayor frecuencia entre los porcentajes 6 y 7, y que no existen datos atípicos, además que el gráfico no es simétrico.

Gráfico 4-3 Histograma-Porcentaje de Grasa

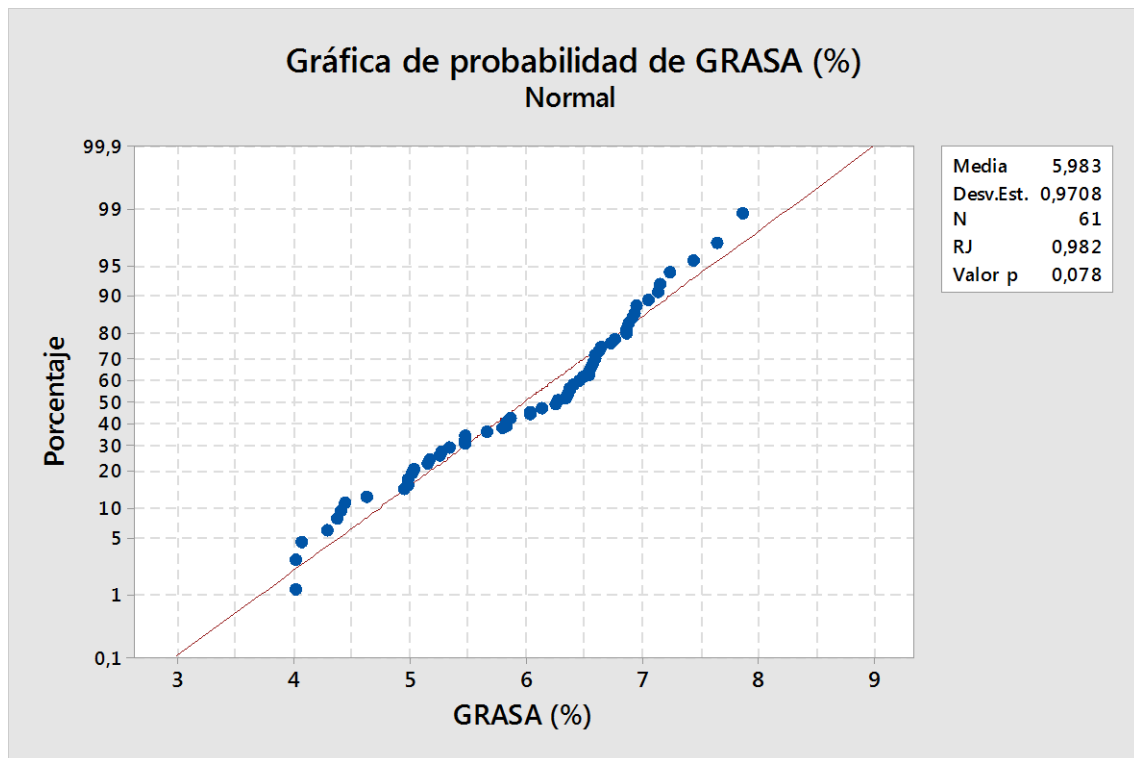


Elaborado por: La autora-Software Minitab-18 Español

4.1.2.2 Prueba de Normalidad de variable Porcentaje de Grasa

Utilizaremos la prueba de Ryan Joiner para determinar si los datos siguen una distribución normal.

Gráfico 4-4 Gráfico de Probabilidad-Porcentaje de Grasa



Elaborado por: La autora-Software Minitab-18 Español

Los puntos se encuentran cerca de la línea de distribución ajustada. La distribución normal parece ajustarse adecuadamente a los datos.

Según la prueba de Ryan Joiner, con un p de 0,078 $> 0,05$ no existe evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula, es decir los datos de Grasa siguen una distribución normal

4.1.3 Análisis de Variable Porcentaje de Ceniza

La ceniza es otro análisis que se realiza a productos terminados y materias primas para determinar básicamente y subsecuentemente la cantidad de calcio y fósforo presente en una muestra específica.

Tenemos como límite de especificación: Máximo 8%, según la normativa NTE INEN 1829.

Tabla 4-3 Estadísticos Descriptivos (%) Ceniza

<i>n</i>	61
<i>Mínimo</i>	4,96
<i>Primer cuartil</i>	5,37
<i>Mediana</i>	5,57
<i>Media</i>	5,72
<i>Tercer cuartil</i>	6,1
<i>Máximo</i>	6,94

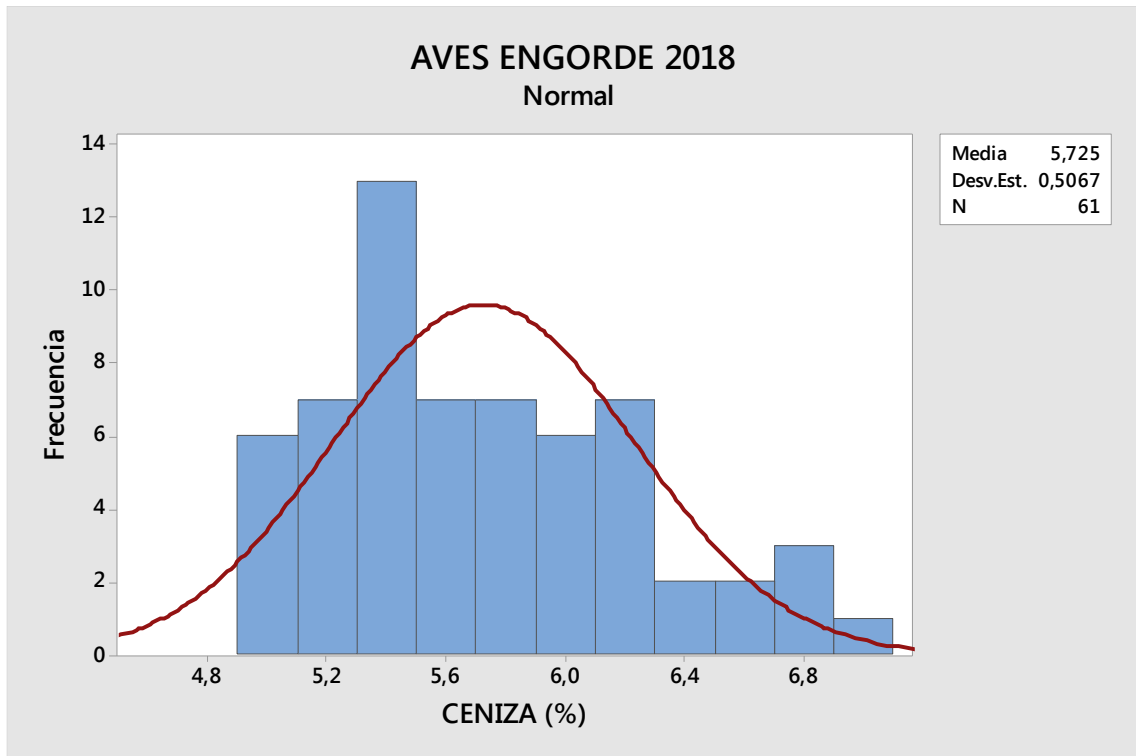
*Fuente: Departamento de Calidad
Elaborado por: La autora*

El promedio de los datos es 5,72%, muy cercano a la mediana y tenemos un valor máximo de 6,94%

4.1.3.1 Histograma de Variable Porcentaje de Cenizas

En el histograma observamos que se tiene una mayor frecuencia entre los porcentajes 5 y 6.

Gráfico 4-5 Histograma-Porcentaje de Cenizas

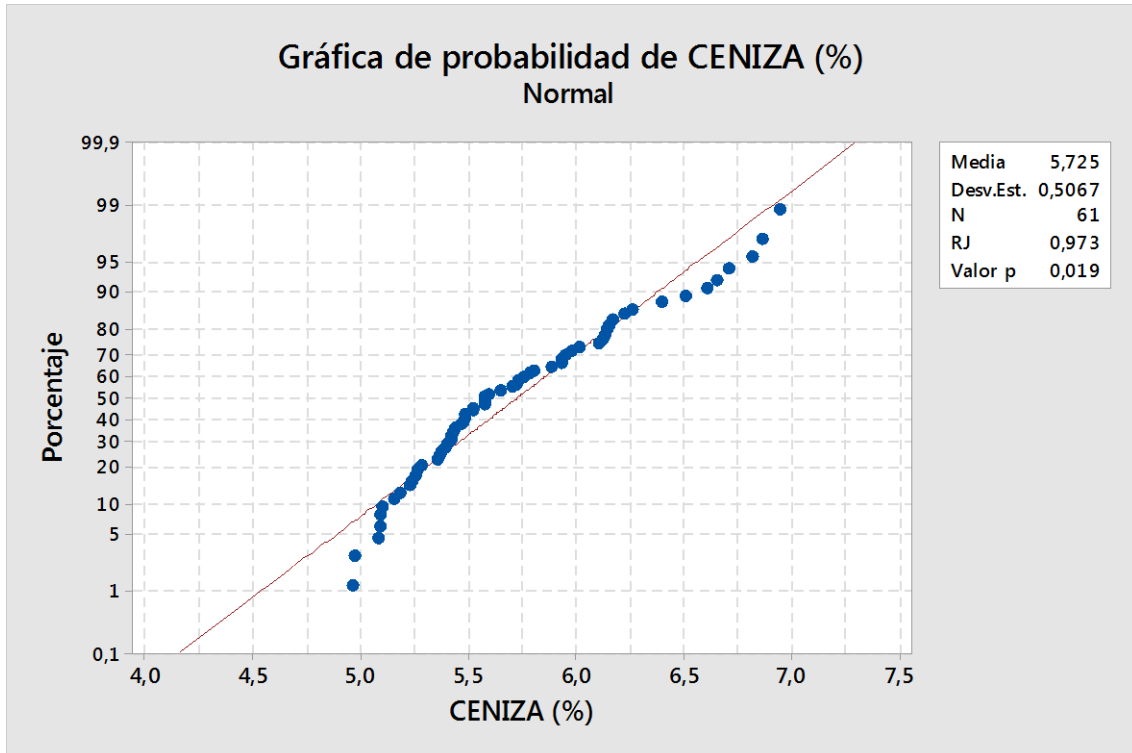


Elaborado por: La autora-Software Minitab-18 Español

Al igual como ocurrió en el análisis de la variable grasa, podemos observar que la distribución de los datos no es totalmente simétrica.

Si los datos provienen de una distribución normal cabe esperar que gráficamente no se obtenga asimetría, comprobamos normalidad con el estadístico de Ryan Joiner.

Gráfico 4-6 Gráfico de Probabilidad-Porcentaje de Cenizas



Elaborado por: La autora-Software Minitab-18 Español

Los puntos se alejan de la línea de distribución ajustada.

Según la prueba de Ryan Joiner, con un p de $0,019 < 0,05$ existe evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula, es decir los datos de Ceniza no siguen una distribución normal

4.1.4 Análisis de Variable Porcentaje de Proteína

La proteína contribuye en la formación de músculo –carne lo que se traduce en rentabilidad. Una dieta baja en proteína conlleva retrasos en la ganancia de peso del animal. Según normativa NTE INEN 1829, el límite de especificación es mínimo 20%.

Tabla 4-4 Estadísticos Descriptivos (%) Proteína

<i>n</i>	61
<i>Mínimo</i>	19,79
<i>Primer cuartil</i>	21,58
<i>Mediana</i>	21,95
<i>Media</i>	21,9
<i>Tercer cuartil</i>	22,41
<i>Máximo</i>	23,38

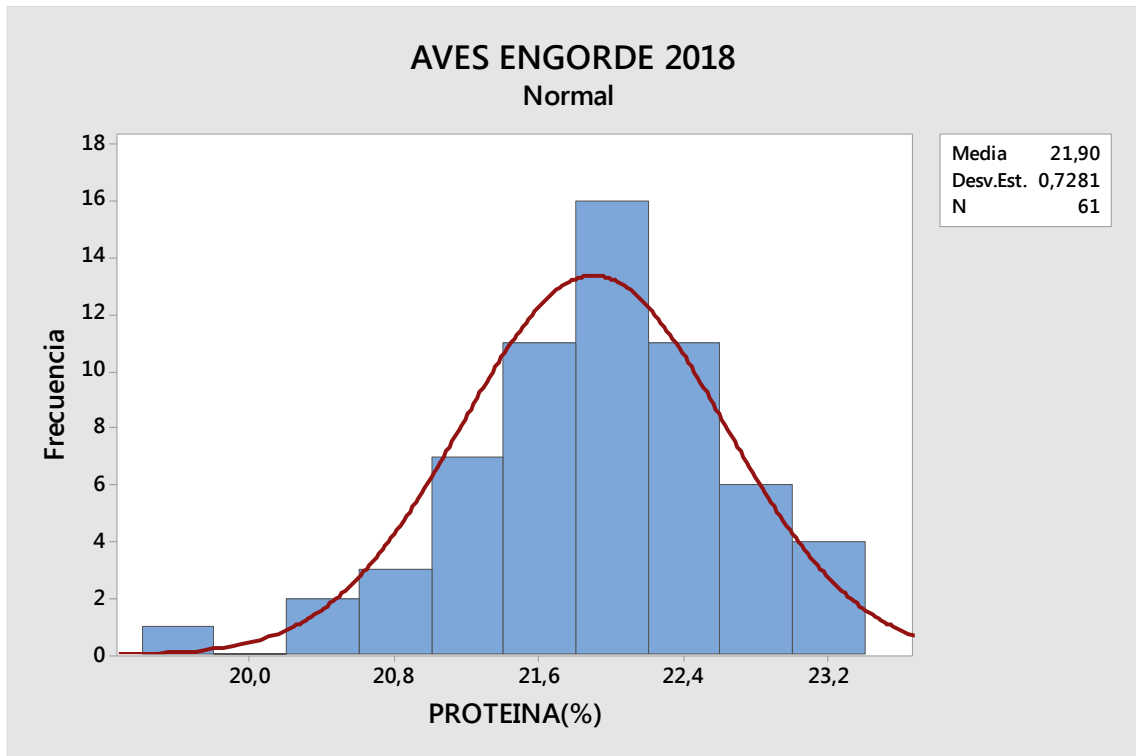
*Fuente: Departamento de Calidad
Elaborado por: La autora*

El promedio de los datos es de 21.9% cercano al límite de especificación, sin embargo si el mínimo valor es 19,79 inferior al límite de especificación.

4.1.4.1 Histograma de variable Porcentaje de Proteína

En el histograma observamos que la distribución de los datos es asimétrico hacia la izquierda.

Gráfico 4-7 Histograma-Porcentaje de Proteína



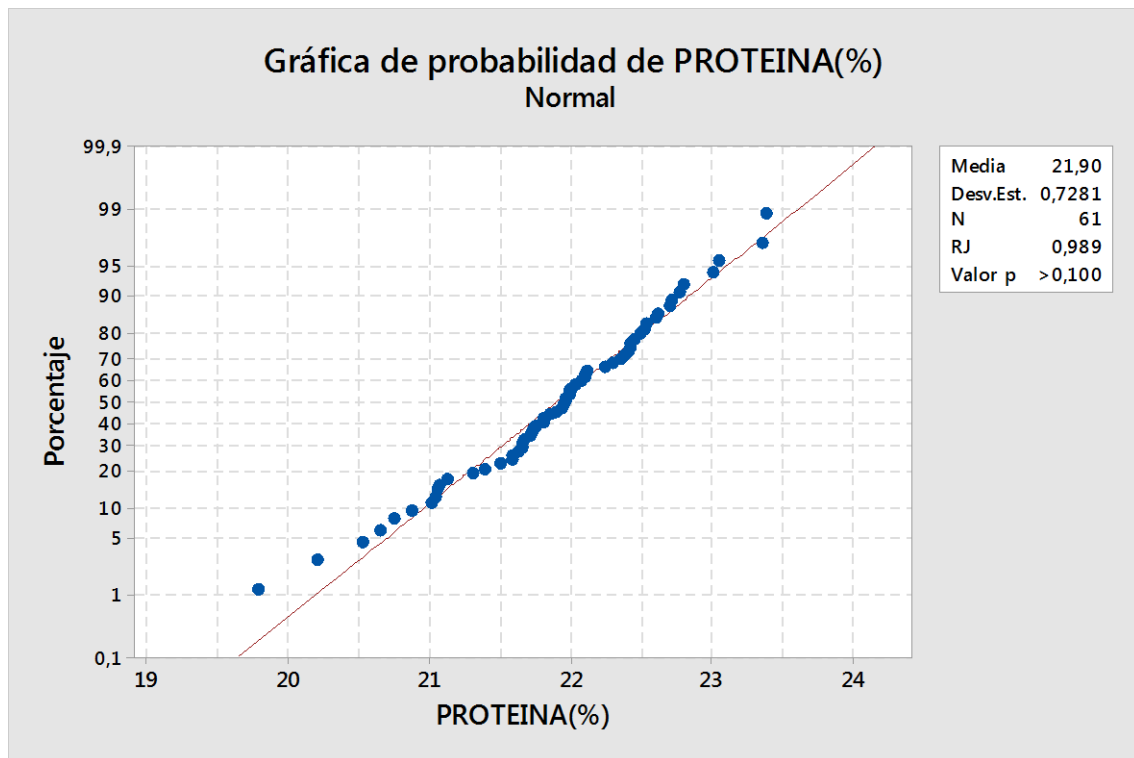
Elaborado por: La autora-Software Minitab-18 Español

Existen datos atípicos. Más adelante en éste estudio se identifica la causa de cualquier valor atípico.

4.1.4.2 Prueba de Normalidad variable Porcentaje de Proteína

Utilizaremos la prueba de Ryan Joiner para determinar si los datos siguen una distribución normal.

Gráfico 4-8 Gráfico de Probabilidad-Porcentaje de Proteína



Elaborado por: La autora-Software Minitab-18 Español

Los puntos se encuentran cerca de la línea de distribución ajustada. La distribución normal parece ajustarse adecuadamente a los datos.

Según la prueba de Ryan Joiner, con un $p > 0,1$, mayor que 0,05, no existe evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula, es decir los datos de Proteína siguen una distribución normal

4.1.5 Análisis de variable Porcentaje de Fibra

Según normativa NTE INEN 1829, el límite de porcentaje de fibra es Máximo 5%.

Podemos observar que la media se sitúa en 4,84% y que el valor máximo supera éste límite de especificación.

Tabla 4-5 Estadísticos Descriptivos (%) Fibra

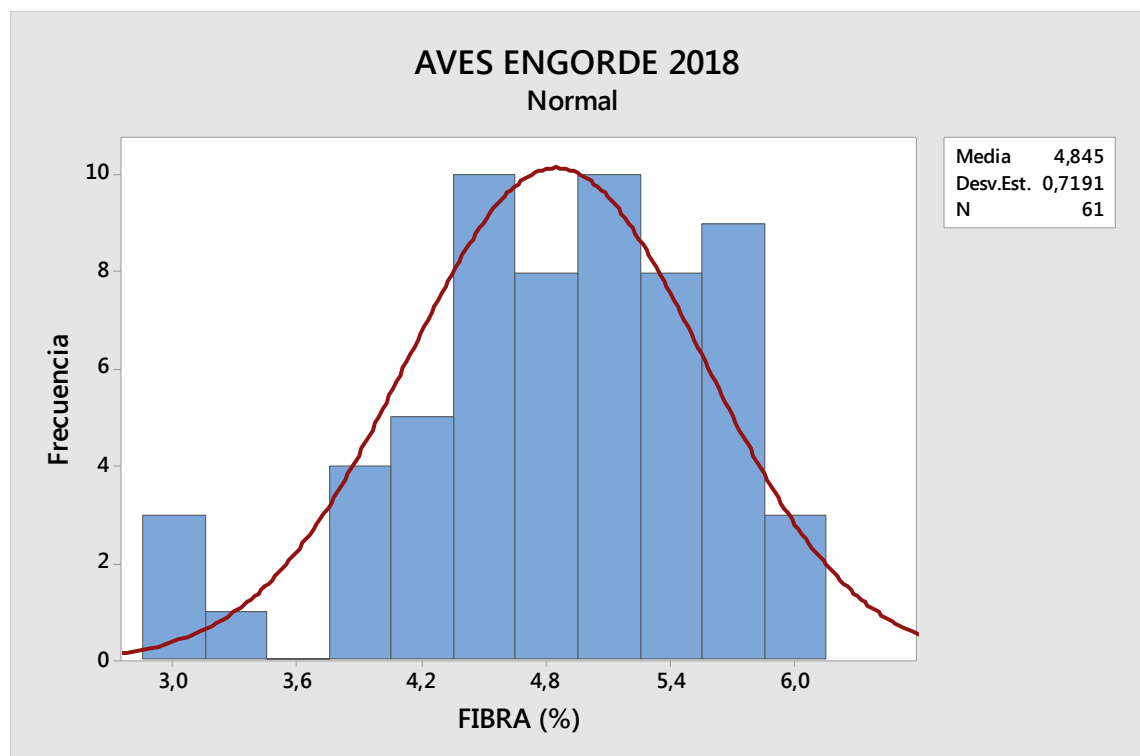
<i>n</i>	61
<i>Mínimo</i>	2,95
<i>Primer cuartil</i>	4,47
<i>Mediana</i>	4,94
<i>Media</i>	4,84
<i>Tercer cuartil</i>	5,39
<i>Máximo</i>	5,93

*Fuente: Departamento de Calidad
Elaborado por: La autora*

4.1.5.1 Histograma variable-Porcentaje de Fibra

Realizamos un histograma para verificar el comportamiento de los datos.

Gráfico 4-9 Histograma- Porcentaje de Fibra

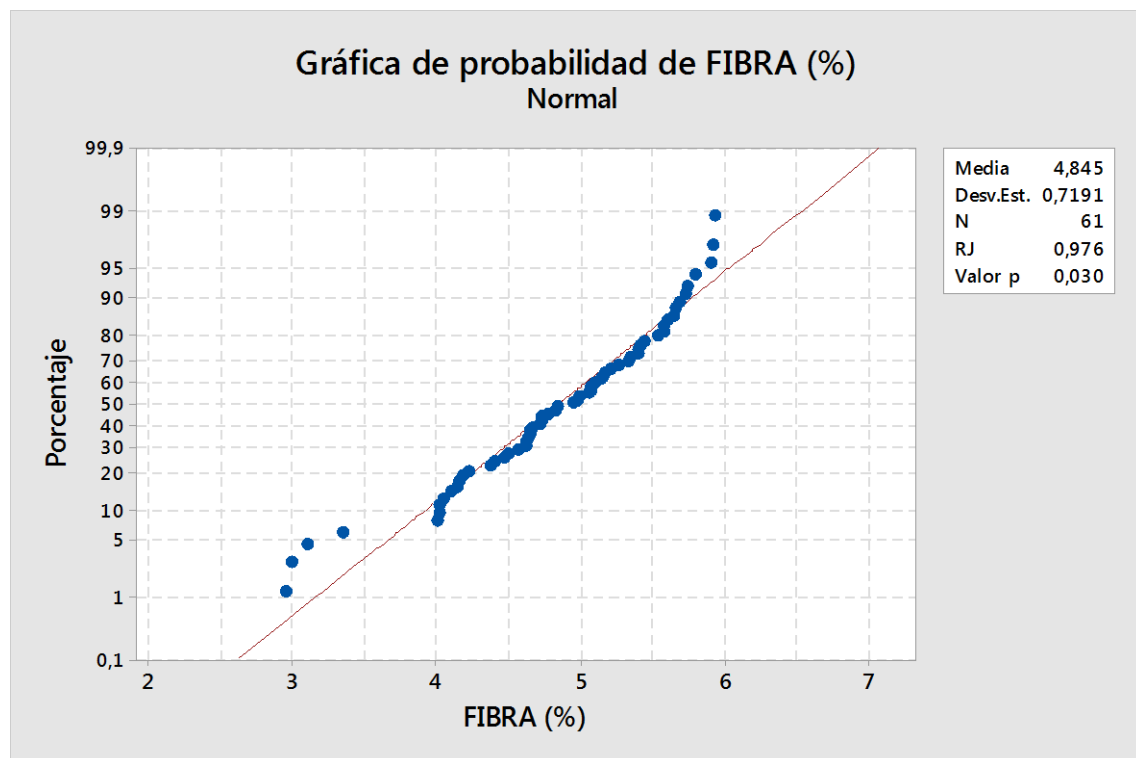


Elaborado por: La autora-Software Minitab-18 Español

Evidentemente en la gráfica anterior observamos que los datos se distribuyen de manera asimétrica. La mayoría de los datos se ubican en la parte derecha de la gráfica. La asimetría indica que los datos pueden no estar distribuidos normalmente, lo comprobamos con la prueba de Ryan Joiner

4.1.5.2 Prueba de Normalidad de variable- Porcentaje de Fibra

Gráfico 4-10 Gráfico de Probabilidad- Porcentaje de Fibra



Elaborado por: La autora-Software Minitab-18 Español

Los puntos se encuentran cerca de la línea de distribución ajustada. La distribución normal parece ajustarse adecuadamente a los datos.

Cómo habíamos mencionado con los estadísticos preliminares, según la prueba de Ryan Joiner, con un $p < 0,05$, los datos de Fibra no siguen una distribución normal

4.2 Análisis de Capacidad y Gráficas de control de Variables Porcentaje de Humedad, Grasa y Proteína.

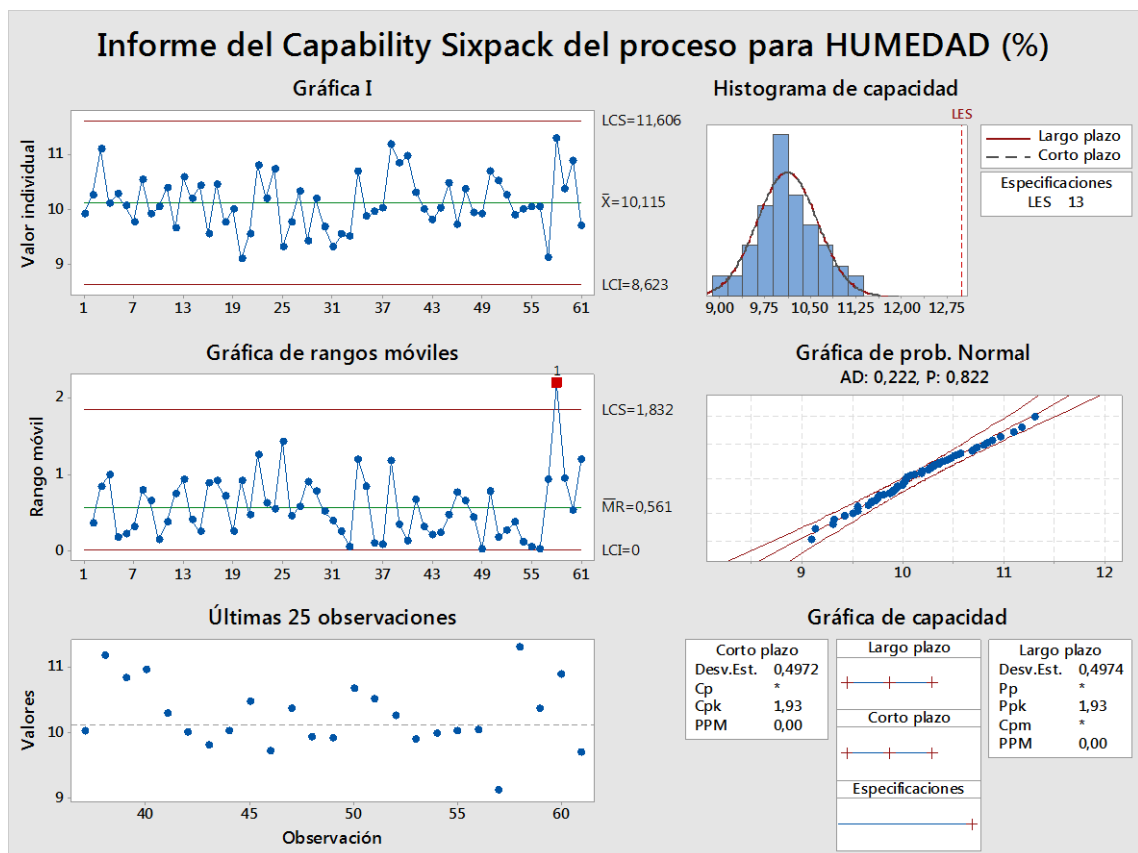
De acuerdo a lo expuesto anteriormente se construyeron gráficas de control univariantes para las variables Humedad, Grasa y Proteína para así observar si existen datos fuera de los límites de control.

Con el objeto de comparar la tolerancia especificada de los nutrientes con la variación potencial del proceso se podría calcular el C_p , sin embargo al no tener ambos límites en las variables, no se puede realizar el cálculo.

Para caracterizar la ubicación del proceso utilizamos el C_{pk} , que evalúa la distancia del promedio del proceso con la especificación más cerca de ella.

4.2.1 Análisis de Capacidad para variable Porcentaje de Humedad.

Gráfico 4-11 Capacidad de Proceso (%) Humedad

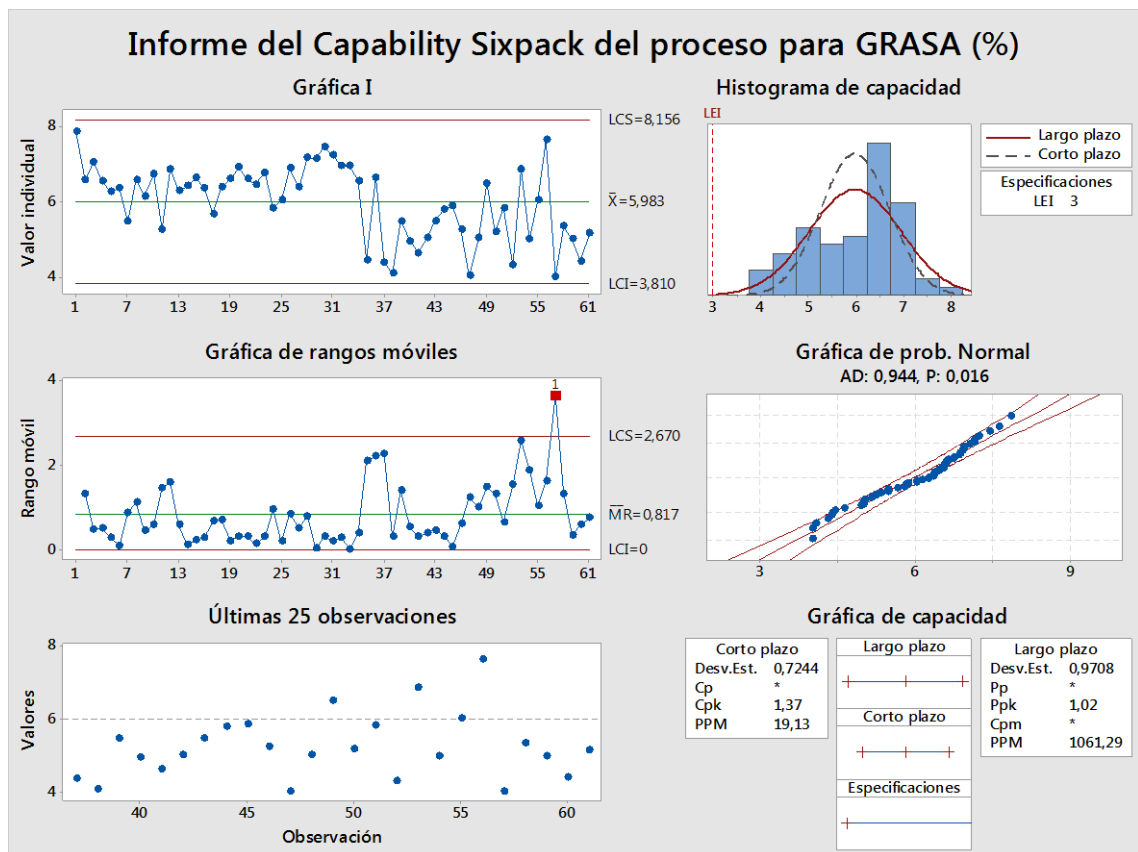


Elaborado por: La autora-Software Minitab-18 Español

Podemos observar que para el gráfico de Rangos Móviles la observación 58 sale de los límites de control, por lo que se procede a eliminar el dato.

4.2.2 Análisis de Capacidad para variable Porcentaje de Grasa

Gráfico 4-12 Capacidad de Proceso (%) Grasa

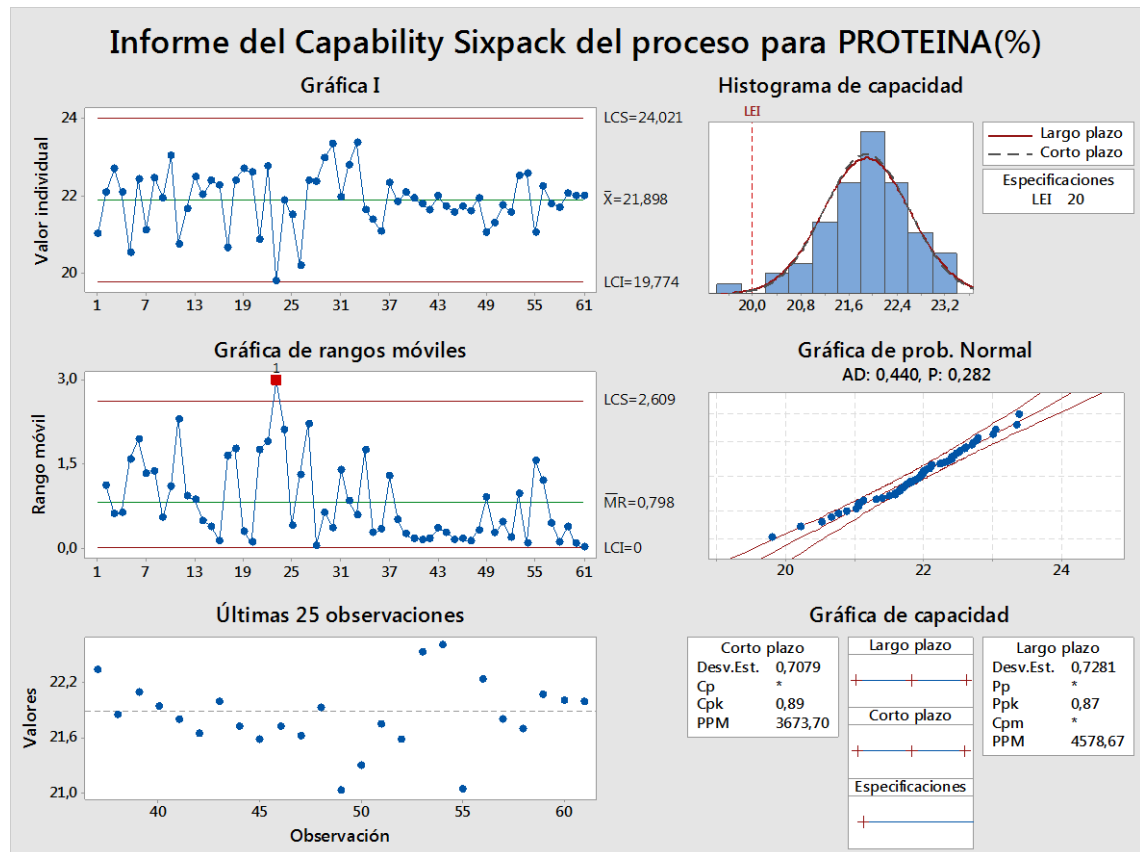


Elaborado por: La autora-Software Minitab-18 Español

Podemos observar que para el gráfico de Rangos Móviles la observación 57 sale de los límites de control, por lo que se procede a eliminar el dato.

4.2.3 Análisis de capacidad para variable Porcentaje de Proteína

Gráfico 4-13 Capacidad de Proceso (%) Proteína



Elaborado por: La autora-Software Minitab-18 Español

Podemos observar que para el gráfico de Rangos Móviles la observación 23 sale de los límites de control, por lo que se procede a eliminar el dato.

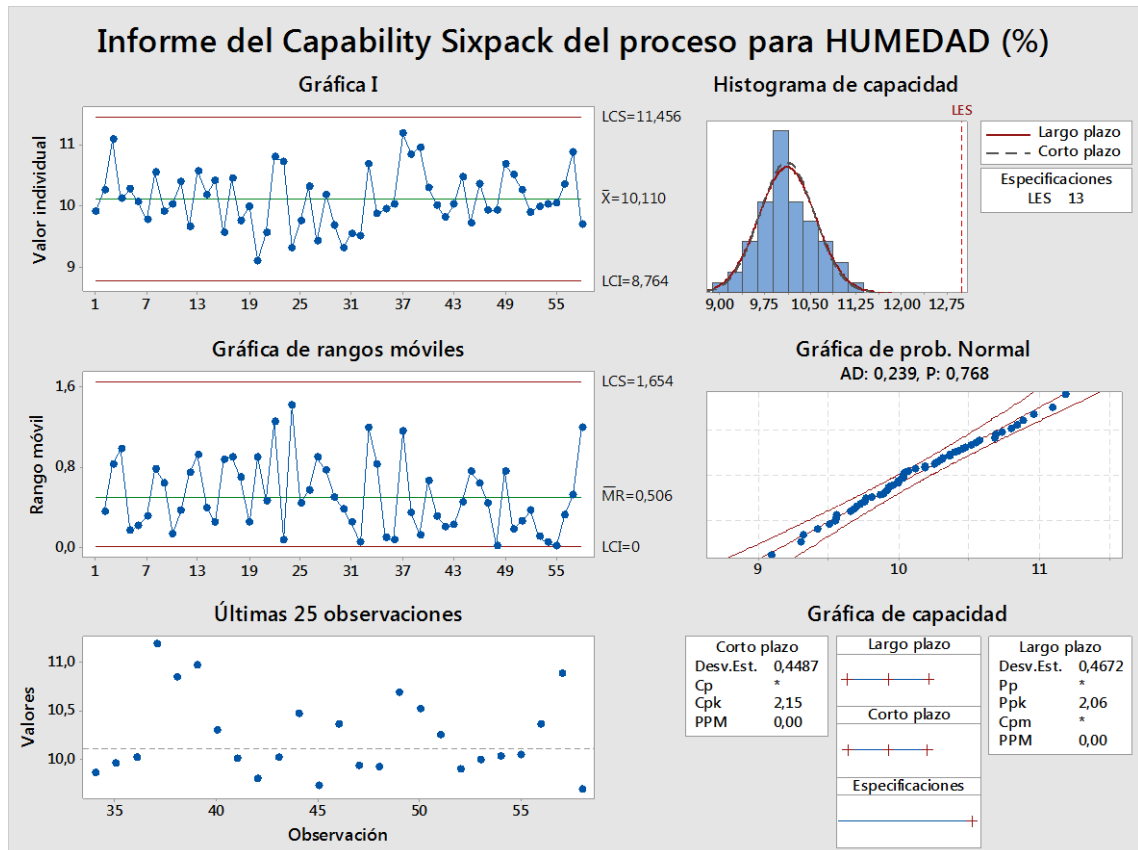
La eliminación se realiza en los gráficos para las 3 variables, ya que el punto fuera de control es en la gráfica de rangos móviles y se requiere una data “limpia” para las estimaciones posteriores.

4.2.4 Análisis de capacidad con datos revisados.

De acuerdo a lo anteriormente descrito, las variaciones encontradas para los tres casos en el gráfico de rangos móviles no son de gran magnitud, y podrían ser resultados de causas fortuitas en la medición. Procedemos entonces, luego de

la revisión, a eliminar dichas observaciones, y realizar los cálculos de capacidad con los gráficos.

Gráfico 4-14 Capacidad Proceso datos revisados (%) Humedad

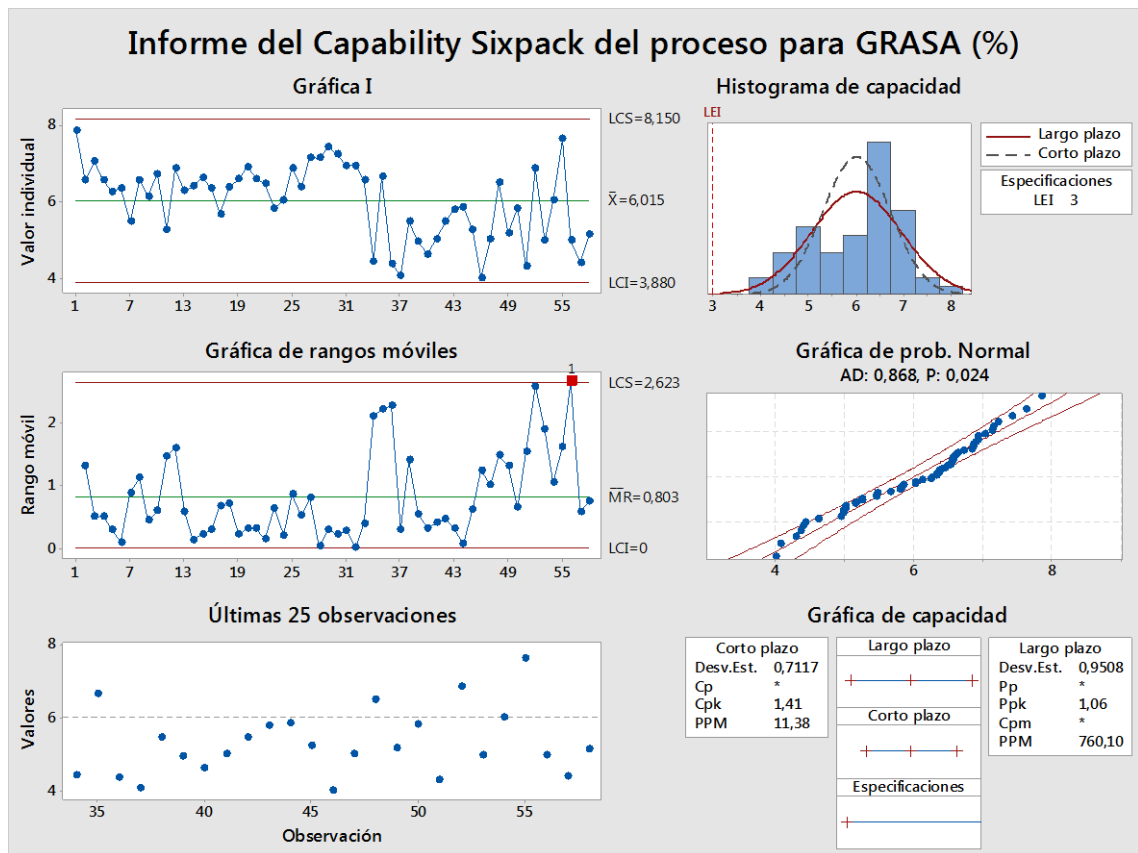


Elaborado por: La autora-Software Minitab-18 Español

Según el gráfico de mediciones individuales y rangos móviles nos muestran que el proceso es estable, sin valores fuera de los límites de control, el histograma muestra que el proceso está alejado del objetivo pero no lo sobrepasa, es decir los resultados de las mediciones están dentro del límite de especificación.

Esto es favorable solo hasta cierto punto, ya que un producto con mayor humedad, por ejemplo entre 11 y 12 %, se podría traducir en mayor rentabilidad. El índice de capacidad C_{pk} , es mayor a 1, indica que el proceso obtiene producto fabricado conforme a las especificaciones.

Gráfico 4-15 Capacidad de Proceso datos revisados (%) Grasa

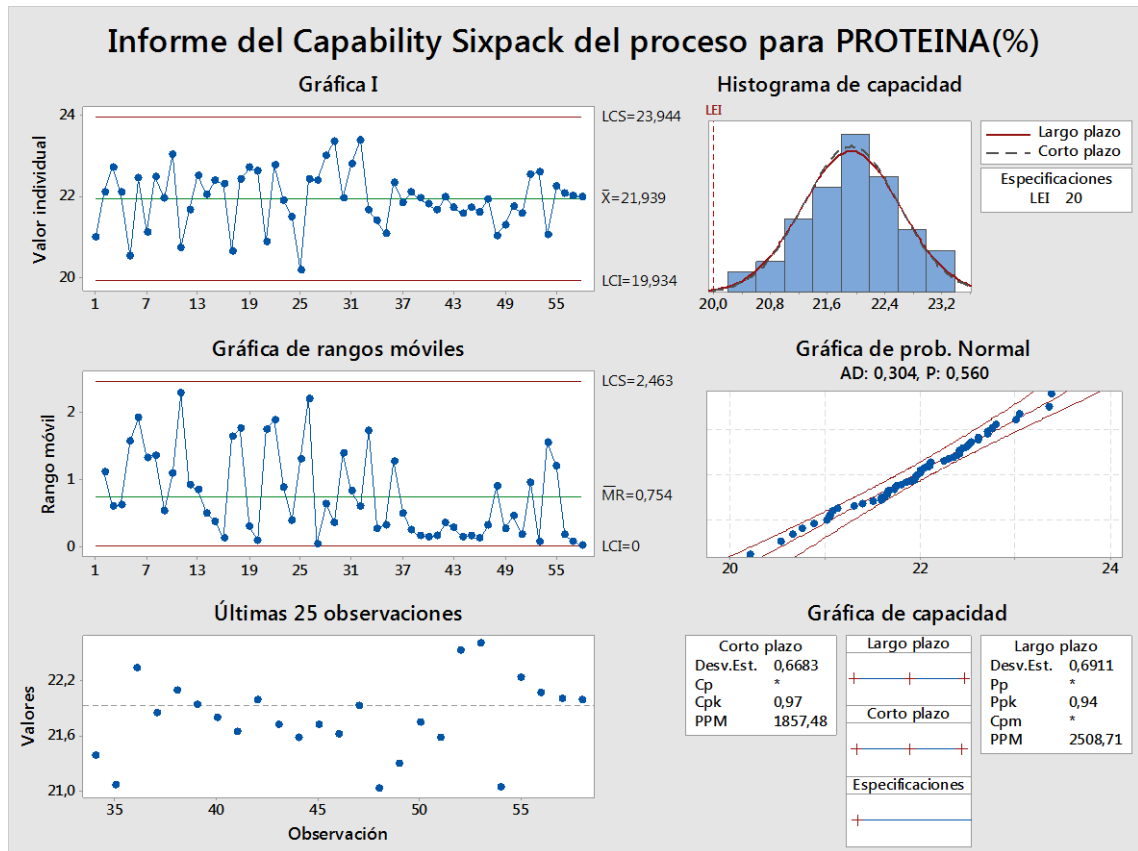


Elaborado por: La autora-Software Minitab-18 Español

Según el gráfico de valores individuales y rangos móviles nos muestran que el proceso es estable, sin valores fuera de los límites de control. Existe 1 punto muy cercano al límite superior que resulta sospechoso pero lo conservamos. El histograma muestra que el proceso está alejado del objetivo, los resultados de las mediciones están superior al único límite, el inferior. Con esto da una pauta para poder trabajar en llegar un poco más cerca de la especificación ya que un exceso de grasa es un desperdicio de recursos, y el pollo al consumir éste producto puede terminar con daños al hígado.

El índice de capacidad C_{pk} , es mayor a 1 siendo el proceso capaz.

Gráfico 4-16 Capacidad de Proceso datos revisados (%) Proteína



Elaborado por: La autora-Software Minitab-18 Español

Según el gráfico de valores individuales y rangos móviles nos muestran que el proceso es estable, sin valores fuera de los límites de control, el histograma muestra que el proceso está alejado del objetivo, los resultados de las mediciones están superior al único límite, el inferior. Al igual que en la variable grasa, un exceso de éste macronutriente incrementa el costo de la dieta innecesariamente, el desbalance y el nitrógeno producido podría dañar los riñones de las aves y causar diarreas.

El índice de capacidad C_{pk} , es menor a 1 indica que el proceso no está obteniendo producto fabricado acorde a las especificaciones.

Más adelante se realizará un estudio de causa-efecto para profundizar en las causas de éste problema encontrado.

4.2.5 Prueba de normalidad multivariada.

Con el objetivo de analizar si las variables de mayor relevancia como son Proteína, Grasa y Humedad se encuentran bajo control en la elaboración de alimento balanceado para aves, realizamos un gráfico de control multivariado.

La variable proteína no puede ser incluida en éste punto del estudio, debido a que el proceso según el C_{pk} no fabrica productos de acuerdo a las especificaciones.

Previo a la realización del gráfico de Hotelling, se debe verificar la normalidad de los datos.

Lo realizamos en el software Rstudio con la ayuda de la librería "MVN", Multivariate Normality Test.

Tabla 4-6 Prueba de Normalidad Multivariada de Humedad y Grasa

Test	Statistic	p value	Result
<i>Mardia Skewness</i>	2,9564	0,5651	YES
<i>Mardia Kurtosis</i>	-0,9608	0,3366	YES

Elaborado por: La autora-Software R Studio

Con un valor $p > 0,05$ no existe evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula es decir los datos siguen una distribución normal

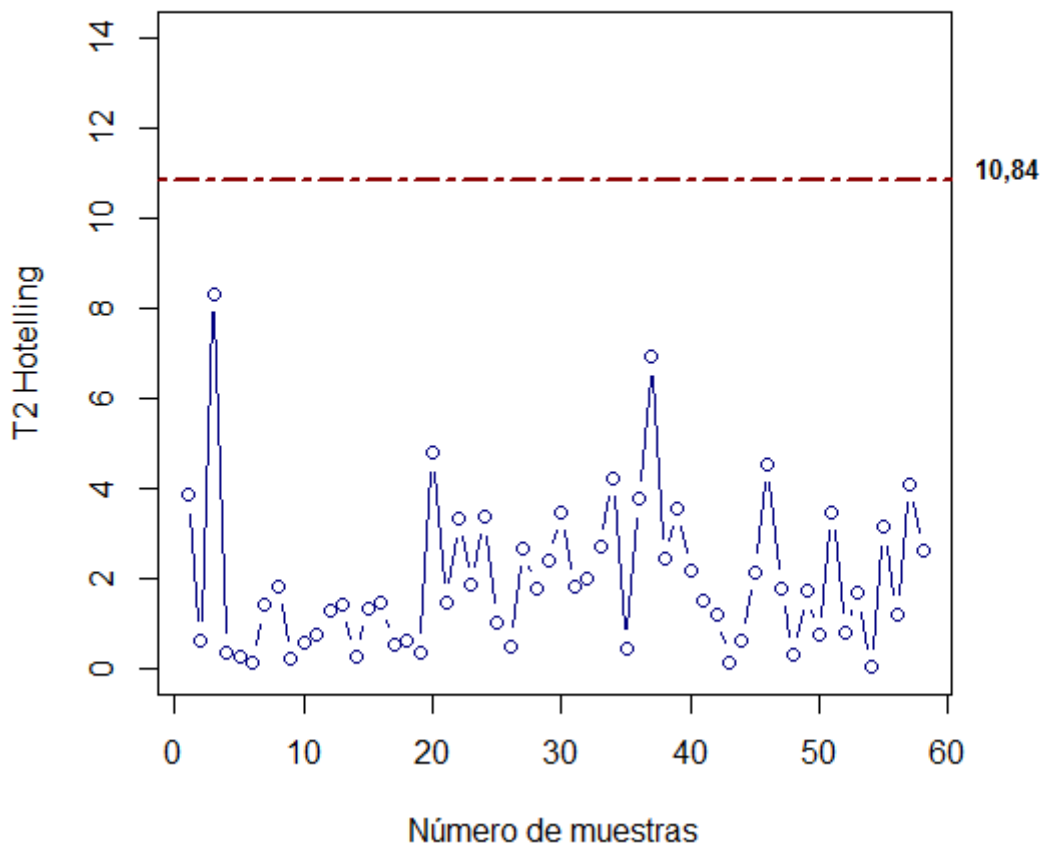
4.2.6 Gráfico de control multivariado

Se realizó el gráfico multivariado una vez los datos fuera de control fueron eliminados.

Debido a que el C_{pk} resultó menor a 1 para la variable Proteína, se toman las 2 variables restantes para realizar el gráfico multivariado, así también se realizó el cálculo del vector de medias y matriz de varianzas y covarianzas.

Gráfico 4-17 Gráfico Multivariado T Hotelling

Gráfico T cuadrado Humedad-Grasa



Elaborado por: La autora-Software R Studio.

Para éste caso el límite superior de control resultó 10,84. Controlando las dos características de calidad los datos se encuentran bajo control.

Para la fase 2, se realizó el cálculo del límite superior y resultó 13,63.

El vector de medias bajo control resultante para Humedad y Grasa es:

$$\hat{\mu}_0 = [10,11 \quad 6,01]$$

La matriz de varianzas y covarianzas estimada es.

$$S = \begin{bmatrix} 0,2182 & -0,1622 \\ -0,1622 & 0,9055 \end{bmatrix}$$

Tabla 4-7 Matriz de Varianzas y Covarianzas estimada para variables

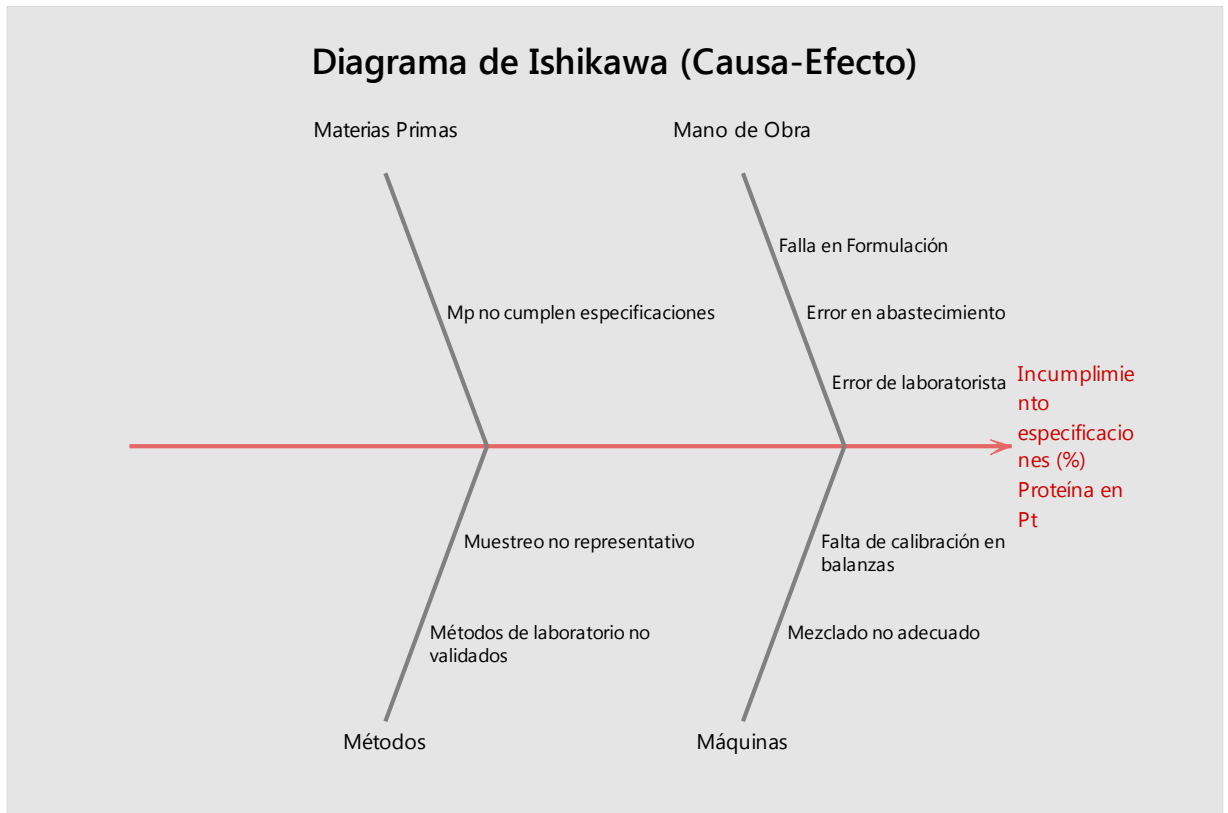
	HUMEDAD	GRASA
HUMEDAD	0,2182	-0,1622
GRASA	-0,1622	0,9055

Elaborado por: La autora-Software R studio

4.2.7 Análisis de Causa-Efecto incumplimiento de Parámetros

Para el análisis del problema detectado, según el cálculo del C_{pk} , se procedió a la determinación de las causas del problema central. Para esto se elaboró un diagrama de Ishikawa, en el cual se agruparon las causas en 4 grupos de acuerdo a la naturaleza.

Gráfico 4-18 Gráfico Ishikawa para problema central



Elaborado por: La autora-Software Minitab-18 Español

En el Gráfico 4-23 podemos observar que el efecto principal es que hay un incumplimiento de contenido nutricional especificado para Proteína.

Analizamos las causas encontradas y son:

- 1) Formulación no adecuada
- 2) Error en abastecimiento de Materias Primas en planta
- 3) Error de laboratorista al realizar el ensayo
- 4) Métodos de ensayo de laboratorio no validados
- 5) Muestreo no es representativo
- 6) Mezclado no adecuado
- 7) Falta de calibración en balanzas
- 8) Materias Primas no cumplen especificaciones

Mano de Obra

El personal juega un papel fundamental en la calidad del producto terminado. Mencionaremos al formulador, las laboratoristas y los operativos de la planta. El formulador o nutricionista crea la receta del producto terminado en base al reporte de calidad de materias primas que pasan las laboratoristas. Las laboratoristas no han recibido actualización de metodologías concernientes a análisis bromatológicos, por lo que pueden incurrir en error al momento de analizar materia prima y producto terminado. Con respecto a los operativos de planta, hay constante rotación de personal, entonces puede existir confusión, debido a la falta de práctica, al momento de abastecer las materias primas. Es por esto que alineados a políticas internas se está llevando a cabo actualización de conocimientos del personal según cargo que desempeñen.

Método

El método de muestreo utilizado no es suficiente, cuanto más precisión se requiere de mayor tamaño debe de ser la muestra. Actualmente en el producto terminado se toma una muestra de 1 Kg por cada lote producido de 23000 Kg, adicional a esto, se homogeniza y se coloca en frascos de 300 gramos para que entre a análisis de laboratorio por lo que habría revisar si ésta muestra es representativa.

Por otro lado, los métodos de laboratorio, están pasando una etapa de verificación, en donde se comparan los procedimientos internos con métodos oficiales AOAC, de haber diferencia se tiene que realizar una validación. El procedimiento de proteína no es realizado en base a la metodología oficial.

Maquinaria

Las balanzas se verificaron y están dentro de fecha de calibración, son calibradas internamente por medio de pesas patrones certificados.

En cuando al mezclado, para garantizar el mezclado óptimo se cuenta con un índice llamado cálculo de variación, resultante de la medición de un trazador

mineral. Este índice resulta superior a lo esperado en las 2 últimas mediciones y no se han tomado aún acciones correctivas ante esto.

Materias Primas.

La materia prima principal que es el maíz nacional, es proveniente de distintas provincias y productores agrícolas que no poseen la documentación técnica que respalde el cumplimiento de especificación de calidad. Cabe mencionar que el almacenamiento del grano, en muchas ocasiones se hace por varios meses y como consecuencia los insectos tienden a comerse el grano y afectar a su aporte nutricional. En el laboratorio se realiza una verificación del contenido nutricional de las materias primas antes de su uso.

La recepción de la pasta de soya importada se realiza con la documentación de calidad pertinente.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. Se establecieron límites de control superiores para los gráficos univariantes de las variables porcentaje de Humedad, porcentaje de Grasa, los cuales son 11,45 y 8,15, además de límites inferiores los cuales son 8,76 y 3,80 respectivamente luego de eliminar los puntos fuera de control obtenidos, éstos límites son apropiados de acuerdo a la norma NTE INEN 1829.
2. Se calculó el C_{pk} en las variables Humedad, Grasa y Proteína y resultó que para la variable Proteína con un C_{pk} de 0,97, el proceso no estaba obteniendo producto conforme a las especificaciones, por ello no se toma ésta variable en el gráfico multivariado.
3. Se calculó el límite de control en la gráfica T^2 de Hotelling resultando 10,84 para la fase 1, se usaron los parámetros $p=2$, $m=58$ considerando un α de 0,0027 lo que implica 370 muestras promedio bajo control hasta que se presente una señal, el vector de medias resultante fue $\bar{\mu}_0 = [10,11 \quad 6,01]$ y la matriz de varianzas y covarianzas estimada:
$$S = \begin{bmatrix} 0,2182 & -0,1622 \\ -0,1622 & 0,9055 \end{bmatrix}.$$
4. El monitoreo en el proceso de producción, ligado con laboratorio químico, permite detectar cuando el proceso se ha salido de parámetros, lo que conlleva identificar en qué punto del proceso las condiciones han sufrido cambios provocando anomalías. Una vez detectada las señales es posible corregirlas para mantener los estándares de calidad.

5. Según Ishikawa entre las causas para que el proceso haya resultado incapaz para la variable proteína, según el indicador C_{pk} tenemos: errores en operadores, laboratoristas, las metodologías de laboratorio inadecuadas, mezclado ineficiente y calidad no uniforme de materias primas.

Recomendaciones

1. Para el cálculo de los límites de control y análisis de capacidad de proceso de la variable Proteína, se debe seguir un plan correctivo según lo expuesto en el análisis Ishikawa. Una vez el proceso esté bajo control y resulte capaz, ésta variable puede ser incluida en el gráfico multivariado así como en la estimación del vector de medias y matriz de varianzas y covarianzas.

2. Para la fase 2, se calculó el límite de control en la gráfica T^2 de Hotelling resultando 13,63, con el vector de medias $\bar{\mu}_0 = [10,11 \quad 6,01]$ y la matriz de varianzas y covarianzas

$$S = \begin{bmatrix} 0,2182 & -0,1622 \\ -0,1622 & 0,9055 \end{bmatrix}$$

estas dos matrices pueden ser usadas como puntos de referencia para que en el laboratorio se implemente la fase 2 del monitoreo usando cartas de control.

3. El α usado en éste estudio es de 0,0027 lo que hace que la probabilidad de incurrir en el Error tipo 1 sea baja, por lo que es recomendable modificar el tamaño de la muestra para así también reducir la probabilidad de incurrir en Error tipo 2.
4. Debido a que las variables a controlar son pocas se sugiere usar el gráfico de control para mediciones individuales así como el multivariado para acelerar la detección de cambios en el proceso. El Gráfico de Hotelling permite observar desviaciones grupales, mientras que el de valores individuales permite detectar cual punto es el desviado. En primera

instancia se podría usar el software Minitab para este cometido, pero se propone incluir estas cartas en el software de laboratorio PROLAB.

5. Al ser Grasa y Proteína variables relevantes, una vez que se pueda controlar ésta última y pueda incluirse en el análisis estadístico, las variables (p) en la carta T^2 Hotelling, podrían ser modificadas y omitir Humedad ya que el riesgo de salir de especificaciones es bajo en ésta variable, el proceso ha resultado capaz, además se controla in situ en el momento de producción, con metodologías inmediatas.
6. Se podría mejorar la fórmula, optimizando ingredientes, para que el porcentaje de proteína y grasa en producto terminado resulte más cercano a la especificación y así reducir los costos de producción.
7. Según Ishikawa, se recomienda validar las metodologías de análisis de laboratorio antes de ejecutarlas, y guiarse por metodologías oficiales internacionales como la AOAC. Por experiencia en las labores, considero que se debe validar que las metodologías de laboratorio sean confiables para una posterior evaluación de las muestras.
8. Debido a políticas de la empresa el método de muestreo consiste en tomar 1 muestra de 1 kg por lote producido, se podría establecer un plan de muestreo en donde se tomen 3 muestras por lote producido, realizar los análisis y posterior a esto definir si las características se mantienen para así reducir la frecuencia, lo que es una forma de optimizar los recursos.

BIBLIOGRAFÍA

- Besterfield, D. (2009). *Control de calidad*. México: Pearson Education.
- Cano, E., Moguerza, J., & Prieto, M. (23 y 24 de Octubre de 2014). Las 7 herramientas básicas de la calidad con R. Santiago de Compostela, España.
- Cuca, M. (1963). La alimentación de Aves de Corral. México D.F., México. Obtenido de cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/index.php/Pecuarias/article/.../3440
- Gómez, C. A. (2002). Aplicación del Control Estadístico de Procesos en una Planta de Alimentos Balanceados. Lima, Perú. Obtenido de http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/7787/1/gomez_ac.pdf
- Heijden, M. (2012). Optimización de la Humedad del Alimento Manteniendo su Calidad. *Ergormix*. Obtenido de <https://www.engormix.com/balanceados/articulos/humedad-en-alimentos-t29431.htm>
- Herández, C., & Silva, F. D. (2015). Aplicación del control estadístico de procesos (CEP) en el control de su Calidad. Obtenido de <http://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v36n1/rtq10116.pdf>
- Martínez, D., Correa, M., & Oropesa, R. (2007). Aplicación de las cartas simples de control en el laboratorio antidoping. *CENIC Ciencias Químicas*, 307-310.
- Montgomery. (2009). *Introdution to Statistical Quality Control* . Arizona: John Wilery and sons.
- Paz, R. C., & Gómez, D. G. (s.f.). Control estadístico de Procesos. Obtenido de http://nulan.mdp.edu.ar/1617/1/12_control_estadistico.pdf
- Porras, J. (2016). COMPARACIÓN DE PRUEBAS DE NORMALIDAD MULTIVARIADA. *Anales Científicos*, 101-146. doi: <http://dx.doi.org/10.21704/ac.v77i2.483>

- Rincón, S., & Martínez, D. (2009). Análisis de las propiedades del aceite de palma en el desarrollo de su industria. *PALMAS*, 30(2).
- Rivera, D. (2011). *Cartas de Control para datos Funcionales (Tesis de Postgrado)*. Centro de Investigación en Matemáticas, Guanajuato.
- Ruiz, O. (2013). Gráficos de Control de Calidad Multivariantes con Dimensión Variable (Tesis de Doctorado) . VALENCIA, ESPAÑA.
- Sánchez, O. (2015). Aplicación del Control Estadístico de Procesos para la Reducción del Producto no Conforme en una empresa que proceso Alimento Balanceados para Camarones. Guayaquil, Ecuador. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/13444/1/TESIS%20OSCAR%20SANCHEZ%20C..pdf>
- Trujillo, M., Zapata, A., & Sarache, W. (2015). *Metodología Integral para el Mejoramiento de la Calidad Mediante la Reducción de la Variabilidad Funcional. Un caso de Estudio*. Manizales, Colombia.
doi:10.4067/S0718-07642015000600021
- Ukponmwan , N., & Ajibade , B. (2017). Evaluation of Techniques for Univariate Normality Test. *American Journal of Theoretical and Applied Statistics*. Warri, Nigeria. doi:10.11648/j.ajtas.s.2017060501.18
- YAP, B. W., & SIM, C. (2011). Comparisons of various types of normality tests. doi:10.1080/00949655.2010.520163
- Zambrano, A., & Zambrano, L. (2008). Evaluando la efectividad de la descomposición MYT para la interpretación de señales fuera de control en la carta T2. *Revista Tumbaga*, 141-156. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/242475849_Evaluando_la_efectividad_de_la_descomposicion_MYT_para_la_interpretacion_de_senales_fuera_de_control_en_la_carta_T_2
- Zaviezo, D. (2016). La fabricación de Alimentos desde el punto de vista del Nutricionista. Antigua Guatemala, Guatemala.