

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMATICAS
DEPARTAMENTO DE POSTGRADO**

PROYECTO DE TITULACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

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

TEMA:

ESTUDIO ESTADÍSTICO DE LA RELACIÓN QUE EXISTE ENTRE
EL JABÓN BASE Y EL PRODUCTO TERMINADO (JABONES
BLANCOS) EN LA EMPRESA DE JABONES

AUTOR:

DIEGO FABRICIO CARRILLO PEÑAFIEL

Guayaquil - Ecuador

2019

Resumen

El presente trabajo de titulación consta de cinco capítulos, los cuales detallan el comportamiento de parámetros de laboratorio que deben ser medidos en dos etapas del proceso a las cuales se ha denominado etapa intermedia y etapa de producto terminado para asegurar cumplimiento de especificaciones en el producto final en la fabricación de jabones de lavar. La finalidad de este trabajo es evidenciar si existe probable correlación de las variables analizadas en estas dos etapas del proceso y de ser así, mediante las metodologías de mínimos cuadrados o máxima verosimilitud determinar modelos de predicción que ayuden a minimizar el uso de recursos a la industria de fabricación de jabones de la cual se extrajeron los datos, a su vez optimizar la operación de liberación del producto terminado.

Palabras claves: ácidos grasos, alcalinidad, humedad, título, cloruro, producto intermedio, producto terminado.

ABSTRACT

The present titration work consists of five chapters, which detail the behavior of the laboratory parameters that must be measured in the stages of the process, and that have been carried out in the intermediate stage and in the product stage. In the manufacture of washing soaps. The purpose of this work is to show if there is a correlation of the variables analyzed in these two stages of the process and if so, by means of minimum minimum or maximum likelihood methodologies. of manufacture of soaps from which the data were extracted, as well as the operation of releasing the finished product.

Keywords: fatty acids, alkalinity, humidity, title, chloride, intermediate product, finished product.

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a Dios, por darme la fuerza para seguir adelante y enseñarme el camino correcto a seguir; a mi mamá ya que con los constantes consejos y reprimendas me formó para un hombre de bien; a mi papá ya que con su ejemplo de ingenio y demostrar que siempre hay una solución me dio las fuerzas para seguir adelante; a mi esposa y a mi hijo que son mi soporte de lucha y dedicación.

AGRADECIMIENTO

Y es con la luz del señor que fui capaz de desarrollar este proyecto y es a Él a quien principalmente le doy las gracias.

A mis padres que con la ayuda del creador fueron y son, los pilares principales en mi vida y que por cuyos valores y principios estoy por el camino del bien.

A mi esposa por su paciencia y acompañamiento, al igual que mi hijo la luz de mi inspiración.

A mi director de tesis, PhD. Sandra García, darle el más sincero agradecimiento; puesto que con su guía y dedicación en este proyecto, ayudó a culminarlo de forma satisfactoria.

Gratitud a los docentes de la facultad, quienes mediante su instrucción lograron que obtengamos los conocimientos necesarios para la realización de este trabajo.


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 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.



Diego Fabricio Carrillo Peñafiel

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



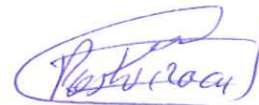
Mgtr. Alex Moreno Salazar
PRESIDENTE



Sandra García Bustos, PhD.
DIRECTOR



Mgtr. Sandra González Camba
VOCAL 1



María Nela Pastuizaca Fernández, PhD.
VOCAL 2

INDICE DE CONTENIDO

| | |
|---|----|
| 1. CAPÍTULO 1 | 1 |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1. Antecedentes | 1 |
| 1.1.1. Empresa productora de jabones de lavar (Proceso)..... | 3 |
| 1.2. Objetivos | 4 |
| 1.2.1. Objetivo General:..... | 4 |
| 1.2.2. Objetivos Específicos: | 4 |
| 1.3. Hipótesis | 4 |
| 1.4. Alcance de estudio | 4 |
| 2. CAPITULO 2 | 6 |
| MARCO TEORICO | 6 |
| 2.1. Estado del arte..... | 6 |
| 2.2. Regresión lineal Simple | 8 |
| 2.2.1. Estimación de los parámetros del modelo | 9 |
| 2.2.2. Supuestos del modelo de regresión lineal simple..... | 13 |
| 2.2.2.1. Especificación (Linealidad). - | 13 |
| 2.2.2.2. Valor esperado del término de error es cero, $E(\epsilon_i) = 0$ | 13 |
| 2.2.2.3. Homocedasticidad. -..... | 13 |
| 2.2.2.4. No autocorrelación. -..... | 13 |
| 2.2.2.5. Normalidad. - | 13 |
| 2.2.3. Validez del modelo de regresión estimado | 14 |
| 2.2.3.1. No normalidad de los residuos: | 14 |
| 2.2.3.2. Autocorrelación de los residuos: | 14 |
| 2.2.3.3. Heterocedasticidad:..... | 15 |
| 2.2.4. Test de pruebas de hipótesis para comprobación de supuestos | 15 |
| 2.2.4.1. Test de Jarque Bera..... | 15 |
| 2.2.4.2. Test de Durbin-Watson | 16 |
| 2.2.4.3. Función de autocorrelación ACF | 17 |
| 2.2.4.4. Test de Breusch-Pagan | 18 |
| 2.2.4.5. Prueba ANOVA | 18 |
| 2.3. Parámetros de control de laboratorio (variables de estudio): | 19 |
| 2.3.1. Ácidos grasos..... | 19 |
| 2.3.2. Alcalinidad | 20 |
| 2.3.3. Humedad | 20 |
| 2.3.4. Cloruro..... | 20 |

| | |
|--|----|
| 2.3.5. Título..... | 21 |
| 2.4. Proceso de elaboración del jabón. | 21 |
| 2.4.1. Materias primas: | 22 |
| 2.4.2. Saponificación de grasas/ jabón base: | 23 |
| 2.4.3. Aditivación crutcher..... | 23 |
| 2.4.4. Secado..... | 23 |
| 2.4.5. Compactación:..... | 24 |
| 2.4.6. Cortado y empacado: | 24 |
| 2.4.7. Paletizado y almacenamiento: | 24 |
| 3. CAPITULO 3 | 25 |
| METODOLOGÍA..... | 25 |
| 3.1. Establecimiento de datos y tabulación. | 25 |
| 3.2. Determinación de ácidos grasos en agentes tensoactivos | 26 |
| 3.3. Determinación de alcalinidad libre..... | 29 |
| 3.4. Determinación de contenido de cloruro | 33 |
| 3.5. Determinación de título | 36 |
| 3.6. Determinación de humedad..... | 39 |
| 4. CAPITULO 4 | 43 |
| RESULTADOS | 43 |
| 4.1. Correlación de las variables de análisis | 43 |
| 4.2. Análisis de regresión para la variable de ácidos grasos..... | 45 |
| 4.2.1. Predicción del intervalo estimado de un valor de Y dado un valor de X para la variable de ácidos grasos. | 48 |
| 4.2.2. COMPROBACION DE LOS SUPUESTOS DEL ERROR PARA LA VARIABLE DE ÁCIDOS GRASOS. | 49 |
| 4.2.2.1. Normalidad de los residuos del modelo de ácidos grasos | 49 |
| 4.2.2.2. Homocedasticidad | 50 |
| 4.2.2.3. No correlación de los Residuos..... | 50 |
| 4.3. Análisis de regresión para la variable de alcalinidad | 51 |
| 4.3.1. Predicción del intervalo estimado de un valor de Y dado un valor de X para la variable de alcalinidad | 54 |
| 4.3.2. COMPROBACION DE LOS SUPUESTOS DEL ERROR PARA LA VARIABLE DE ALCALINIDAD. | 55 |
| 4.3.2.1. Normalidad de los residuos del modelo de alcalinidad | 55 |
| 4.3.2.2. Homocedasticidad del modelo de alcalinidad | 56 |
| 4.3.2.3. No correlación de los Residuos del modelo de alcalinidad..... | 56 |
| 4.4. Análisis de regresión para la variable de título..... | 57 |

| | |
|--|----|
| 4.4.1. Predicción del intervalo estimado de un valor de Y dado un valor de X en la variable de título. | 61 |
| 4.4.2. COMPROBACION DE LOS SUPUESTOS DEL ERROR PARA LA VARIABLE TÍTULO..... | 62 |
| 4.4.2.1. No correlación de los Residuos en la variable de título..... | 63 |
| 5. CAPITULO 5 | 64 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 64 |
| 6. Referencias Bibliográficas | 66 |
| 7. ANEXOS | 68 |
| A1. BASE DE DATOS DE ACIDOS GRASOS..... | 68 |
| A2. BASE DE DATOS DE ALCALINIDAD | 68 |
| A3. ASE DE DATOS DE CLORUROS | 69 |
| A4. BASE DE DATOS TITULO..... | 69 |
| A5. BASE DE DATOS DE HUMEDAD | 69 |
| A6. PROTOCOLO DE ANALISIS DE JABONES..... | 70 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1-2 Diagramas de dispersión | 9 |
| Figura 2-2 Función de autocorrelación ACF..... | 17 |
| Figura 3-2 Diagrama de procesos en la elaboración de jabones | 22 |

LISTADO DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1-3 Encabezado de datos de ácidos grasos | 26 |
| Tabla 2-3 Estadísticos descriptivos básicos para ácidos grasos | 26 |
| Tabla 3-3 Test Jarque-Bera para A.G. en proceso intermedio y terminado..... | 29 |
| Tabla 4-3 Encabezado de datos de alcalinidad | 29 |
| Tabla 5-3 Estadísticos descriptivos básicos para alcalinidad. | 30 |
| Tabla 6-3 Test Jarque-Bera para alcalinidad en proceso intermedio y terminado | 32 |
| Tabla 7-3 Test Jarque-Bera para alcalinidad cuadrática. | 33 |
| Tabla 8-3 Encabezado de datos de cloruros | 33 |
| Tabla 9-3 Estadísticos descriptivos básicos para cloruros | 34 |
| Tabla 10-3 Test Jarque-Bera para cloruro en proceso intermedio y terminado | 36 |
| Tabla 11-3 Encabezado de datos de título | 36 |
| Tabla 12-3 Estadísticos descriptivos básicos para título | 36 |
| Tabla 13-3 Test Jarque-Bera para título en proceso intermedio y terminado. | 39 |
| Tabla 14-3 Encabezado de datos de humedad | 39 |
| Tabla 15-3 Estadísticos descriptivos básicos para humedad | 40 |
| Tabla 16-3 Test Jarque-Bera para humedad en proceso intermedio y terminado | 42 |
| Tabla 17-4 Detalle del modelo de ácidos grasos | 45 |
| Tabla 18-4 Detalle de análisis ANOVA para ácidos grasos | 47 |
| Tabla 19-4 Detalle de varianza individual | 48 |
| Tabla 20-4 Predicciones de intervalos de confianza para cada valor individual | 49 |
| Tabla 21-4 Test de Breusch-Pagan | 50 |
| Tabla 22-4 Detalle del modelo de alcalinidad | 52 |
| Tabla 23-4 Detalle de análisis ANOVA para alcalinidad | 53 |
| Tabla 24- 4 Detalle de varianza de alcalinidad | 54 |
| Tabla 25-4 Predicciones de intervalos de confianza para cada valor de alcalinidad | 55 |
| Tabla 26-4 Test de Breusch-Pagan | 56 |
| Tabla 27-4 Detalle del modelo de títulos | 58 |
| Tabla 28-4 Detalle de análisis ANOVA para título | 60 |
| Tabla 29-4 Detalle de varianza individual | 61 |
| Tabla 30-4 Predicciones de intervalos de confianza para cada valor individual | 62 |
| Tabla 31-4 Combinaciones de modelos para título..... | 62 |

LISTADO DE GRÁFICOS

| | | |
|----------------------|---|----|
| Gráfico 1-3 | Diagrama de cajas para la variable de ácidos grasos | 27 |
| Gráfico 2-3 | Histogramas para ácidos grasos en proceso intermedio y terminado ... | 28 |
| Gráfico 3-3 | Gráficos QQ para ácidos grasos en proceso intermedio y terminado ... | 28 |
| Gráfico 4-3 | Diagrama de cajas para la variable de alcalinidad | 30 |
| Gráfico 5-3 | Histogramas para alcalinidad en proceso intermedio y terminado | 31 |
| Gráfico 6-3 | Gráficos QQ para alcalinidad en proceso intermedio y terminado. | 31 |
| Gráfico 7-3 | Diagrama de cajas para la variable de cloruros | 34 |
| Gráfico 8-3 | Histogramas para cloruros en proceso intermedio y terminado | 35 |
| Gráfico 9-3 | Gráficos QQ para cloruro en proceso intermedio y terminado | 35 |
| Gráfico 10-3 | Diagrama de cajas para la variable de alcalinidad | 37 |
| Gráfico 11-3 | Histogramas para título en proceso intermedio y terminado. | 38 |
| Gráfico 12-3 | Gráficos QQ para título en proceso intermedio y terminado..... | 38 |
| Gráfico 13-3 | Diagrama de cajas para la variable de humedad | 41 |
| Gráfico 14-3 | Histogramas para humedad en proceso intermedio y terminado | 41 |
| Gráfico 15-3 | Gráficos QQ para humedad en proceso intermedio y terminado. | 42 |
| Gráfico 16-4 | Correlación de las variables del proceso intermedio y terminado con n iguales..... | 43 |
| Gráfico 17-4 | Correlación de las variables cloruros y humedad..... | 45 |
| Gráfico 18-4 | Recta de regresión de ácidos grasos | 46 |
| Gráfico 19-4 | Recta de regresión estimada con valores y punto sobre la recta | 46 |
| Gráfico 20 -4 | Histograma de Residuos AG y Prueba de Jarque Bera | 49 |
| Gráfico 21-4 | Función de autocorrelación ACF y Prueba de Durbin-Watson..... | 50 |
| Gráfico 22-4 | Recta de regresión de alcalinidad | 52 |
| Gráfico 23-4 | Histograma de Residuos alcalinidad y Prueba de Jarque Bera..... | 56 |
| Gráfico 24-4 | Función de autocorrelación ACF y Prueba de Durbin-Watson | 57 |
| Gráfico 25-4 | Recta de regresión de título | 58 |
| Gráfico 26-4 | Recta de regresión estimada con valores y punto sobre la recta | 59 |
| Gráfico 27-4 | Función de autocorrelación ACF y Prueba de Durbin-Watson | 63 |

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

La Estadística tiene un rol participativo muy importante en el análisis de datos de las empresas fabriles, en las cuales se tienen que utilizar herramientas que ayuden a mejorar y controlar los procesos.

En 1801, cuando muchos científicos astrónomos intentaron durante mucho tiempo estimar la trayectoria del planeta Ceres, descubierto por Giuseppe Piazzi, dado que este sólo pudo seguir su trayectoria por el lapso de 40 días; sale a la luz una metodología de estimación desarrollada en ese entonces por un joven de 24 años llamado Carl Friedrich Gauss, el método de mínimos cuadrados, el cual ha sido usado por muchos científicos en varios campos y aplicaciones, es así que hoy en día el argumento completo se lo conoce como teorema de Gauss-Márkov (**Gauss, 1777-1855**).

El método de los mínimos cuadrados usado y publicado inicialmente con gran relevancia en 1805 por Adrien Legendre, empleado en la estimación de la recta de regresión lineal en estudio de los movimientos de los cometas (**Sheldon, 2007**), de igual manera en el año de 1877 el antropólogo y geógrafo inglés Sir Francis Galton planteó el término regresión al realizar el estudio de variables antropométricas, al comparar la altura de padres e hijos, se obtuvo un análisis particular que indicó, que en aquellos padres con estaturas muy bajas, la tendencia era reducir su diferencia respecto a la estatura media; es decir, "regresaban" al promedio (**Valderrama, 2009**).

Por su parte el término “lineal” se utiliza para diferenciarlo del resto de técnicas de regresión; siendo estos modelos lineales una explicación simplificada de la realidad, mucho más ágiles y con un soporte teórico mucho más extenso por parte de la matemática y la estadística. Y como se ha dicho, se puede usar el término “lineal” para distinguir modelos basados en cualquier clase de aplicación.

Por consiguiente, esta herramienta es fundamental tanto para modelar datos, interpretar información y hasta estimar valores bajo condiciones de operación estandarizadas y estables.

Se plantea analizar mediante estadística descriptiva, las características individuales de los resultados de análisis realizados al producto en su fase intermedia denominada “jabón base”, y los resultados de análisis realizados al producto terminado, para luego evaluar el nivel de correlación que existen entre los análisis realizados en estas dos etapas del proceso, a fin de obtener soporte suficiente de correlación de datos para poder desarrollar un modelo de regresión lineal que nos permita simplificar el número de análisis en el producto final logrando minimizar uso de recurso humano, material y tiempo de disponibilidad del producto terminado, lo cual se refleja en ahorro para la compañía en términos monetarios.

Adicionalmente la regresión lineal permite crear relaciones entre variables explicativas y una variable respuesta, esta técnica está basada en la metodología de mínimos cuadrados

El análisis de regresión radica en emplear métodos que permitan determinar la mejor relación funcional entre dos o más variables relacionadas.

Para el caso de una regresión lineal simple entre las variables dependiente (Y) e independiente (X) es una línea recta, y está dada por la ecuación:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon$$

Donde:

β_0 : El valor de la ordenada donde la línea de regresión se intersecta al eje Y.

β_1 : El coeficiente de regresión poblacional (pendiente de la línea recta)

ε : El error, el cual es una variable aleatoria normal con media 0 y varianza constante y no correlacionado.

Esta metodología resulta útil para estudiar las relaciones que pudiesen existir entre las características del jabón base y el jabón como producto terminado.

Descripción del problema

1.1.1. Empresa productora de jabones de lavar (Proceso).

En la fabricación de jabones de la Compañía ABC, se realizan los mismos análisis físico/químicos tanto en el producto terminado (empacado), como en el producto intermedio (proceso de saponificación jabón base); este doble análisis resulta porque el jabón base sirve como Materia Prima para la fabricación de todos los jabones que produce la compañía y es esencial comprobar sus características con análisis físico/químicos previo a ser usado en los diferentes jabones terminados, y luego en el producto terminado se realizan los análisis para comprobación de cumplimiento de requerimientos.

Para esta compañía se vuelve costoso por la inversión de sus recursos (Materiales, Mano de obra, Tiempo), al replicar estos análisis en el producto terminado, más cuando se tienen diferentes líneas de secado (último proceso) en donde se empaican varias marcas con diferentes presentaciones (varios tipos), todas utilizando el mismo jabón base, a los cuales se les tiene que realizar los mismos análisis físico/químicos para constatar que cumple los criterios establecidos en los controles internos y el producto pueda ser liberado.

Para el procesamiento de los diferentes tipos de jabones elaborados en esta planta, se usa la alimentación del mismo jabón base (proceso intermedio de saponificación), por lo cual nace la necesidad de levantar un estudio estadístico de la relación que pudiese existir entre los resultados de los análisis en el proceso intermedio (saponificación) y los análisis como producto terminado; y así poder levantar una herramienta que pueda minimizar el número de réplicas de análisis para un mismo producto, estimando el resultado del producto terminado en base a los resultados de análisis del proceso intermedio, y que como consecuencia pueda

servir a la compañía en la toma de decisiones de ahorros, evaluando la simplificación de análisis en el producto terminado.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General:

Analizar estadísticamente la relación existente entre los resultados de análisis de ácidos grasos, alcalinidad, cloruros, título y humedad, realizados al jabón base y al producto terminado, con el fin de obtener una herramienta que permita simplificar el número de análisis en el producto final.

1.2.2. Objetivos Específicos:

1.-Comprobar mediante técnicas estadísticas las relaciones de las características individuales del jabón base y del producto terminado para evaluar si es posible establecer una metodología que simplifique ciertos análisis en los productos terminados.

2.-Desarrollar un modelo mediante las metodologías de mínimos cuadrados o máxima verosimilitud en base a las relaciones encontradas del literal anterior para simplificar el número de análisis del proceso de jabón.

1.3. Hipótesis

Existe relación entre los resultados de análisis de ácidos grasos, alcalinidad, cloruros, título y humedad realizados al producto intermedio vs los resultados obtenidos en el producto terminado.

1.4. Alcance de estudio

El presente proyecto está orientado a la evaluación de las características individuales de los análisis de ácidos grasos, alcalinidad, cloruros, título y humedad realizados en el proceso intermedio en relación a los resultados de los jabones Blancos como proceso terminado ácidos grasos, alcalinidad, cloruros, título y humedad en la Compañía ABC, dedicada a la elaboración de jabones para lavar ubicada en la ciudad de Manta-Manabí- Ecuador.

Una vez estudiadas las características individuales de los análisis en las dos etapas del proceso, se creará un modelo relacional que permita estimar a partir de un análisis inicial, el valor final de los análisis Físico/Químicos en el producto terminado.

CAPITULO 2

MARCO TEORICO

1.1. Estado del arte

En la actualidad el estudio de variables cuantitativas a través de relaciones con otras variables predictoras es muy común. Los modelos predictivos o de regresión se denominan a la representación de la relación entre dos (o más) variables a través de un modelo formal, lo que supone contar con una expresión lógico-matemática que, aparte de resumir cómo es esa relación, va a permitir realizar predicciones de los valores que tomará una de las dos variables (la que se asuma como variable de respuesta, dependiente, criterio o Y) a partir de los valores de la otra (la que se asuma como variable explicativa, independiente, predictora o X); teniendo como representación la siguiente ecuación (Fernández, Econometría, 2005)

$$\hat{Y} = \beta_0 + \beta_1 X_1 \quad (2.1)$$

Existen varios trabajos relacionados, que van desde el medio ambiente, salud, robótica, etc., abarcando casi el total de los campos o áreas de aplicación; por ejemplo el de Mena y Montesinos (2006), quienes realizaron un trabajo comparativo del modelo de regresión lineal y Redes neuronales, para estimar la productividad de sitio en plantaciones forestales usando la metodología de mínimos cuadrados.

Otra aplicación la evidenciamos en el estudio de Sabogal, et al. (2015) quienes estimaron los tiempos de llegada de los buses usando técnicas de regresión lineal para un modelo de simulación del sistema de transporte masivo de la ciudad de Pereira, Colombia. Se presta especial atención a la validez de los supuestos de los modelos lineales en diferentes corredores bajo distintas condiciones.

De acuerdo a Olivieri (2003), en las clases referenciadas en el libro Regresión lineal en Química Analítica, la regresión lineal ha sido usada en varios estudios, principalmente para validar análisis en la exactitud de un método analítico y para la comparación de dos métodos analíticos diferentes.

De la misma manera en el evento Cuba Farmacia, según Betancourt, et al. (2002) se presentó el tema “Metodologías para garantizar la confiabilidad de los resultados analíticos en los Laboratorios de Ensayo de la rama Farmacéutica, en donde el método de regresión lineal fue la base en las actividades de validación de los métodos analíticos.

Otro trabajo se puede encontrar en Martínez et al. (2015), en donde se investiga una extensión del modelo denominado “potencia alfa” y que se especializa en modelos de regresión lineal y no lineal, con y sin errores correlacionados. La estimación de máxima verosimilitud se considera con derivación explícita de las matrices de información de Fisher observadas y esperadas. Las aplicaciones se consideran para el conjunto de datos de atletas australianos y también para un conjunto de datos de estudiantes en la que como conclusión principal es que el modelo propuesto puede ser una alternativa viable en situaciones en las que la distribución normal no es el modelo más adecuado.

Sin dejar de mencionar un trabajo de Cardona et al. (2013) en donde demuestran la aplicación del modelo de regresión lineal, en un problema de pobreza para una población de Colombia con datos reales extraídos de un comunicado de prensa que reveló el porcentaje de pobreza, pobreza extrema y el coeficiente de Gini en los años 2010 y 2011; explicando de una manera detallada la aplicación del modelo enfrentándose a los tres problemas cotidianos a enfrentarse al momento de hallar la función que describa las variables. Una vez concluido el trabajo exaltan los beneficios al momento de usar la estadística inferencial como, por ejemplo, si se utilizara este estudio y se concluye que los valores observados y estimados están por debajo de la media en América Latina o que están por debajo de la meta nacional; podría establecer un programa que disminuya en forma eficaz esos índices de pobreza.

2.2. Regresión lineal Simple

La regresión lineal Simple es una técnica que permite cuantificar la relación que puede ser observada cuando se grafica un diagrama de puntos dispersos correspondientes a dos variables, cuya tendencia general es rectilínea; relación que cabe compendiar mediante una ecuación (2.1) “del mejor ajuste” y que se modela con la siguiente expresión:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \varepsilon \quad (2.2)$$

Basados en la expresión anterior, podemos indicar que todos los factores al otro lado de la ecuación que influyen directamente en la variable de respuesta Y, pueden fraccionarse en dos conjuntos: el primero contiene a una variable explicativa X y el segundo contiene factores no controlados que se los conoce con el nombre de perturbación o error aleatorio, “ ε ”, que provoca que la relación lineal entre la variable de respuesta y la variable independiente no sea perfecta, sino que esté sujeta a incertidumbre; teniendo este modelo que cumplir los siguientes supuestos a) linealidad, b) normalidad, c) homocedasticidad y d) independencia de errores.

De otro modo, el “ ε ” es la variabilidad que existe en la variable Y que no se puede explicar con la relación lineal por efectos adversos del proceso. Por ejemplo, “en el consumo de gasolina de un vehículo (Y) influyen la velocidad (X) y una serie de factores como el efecto conductor, el tipo de carretera, las condiciones ambientales, etc, que quedarían englobados en el error” (Francisco, 1997). Al error se le relacionan los siguientes supuestos:

1. La expresión de error es una variable aleatoria con media o valor esperado igual a cero; $E(\varepsilon) = 0$
2. Homocedasticidad_ La varianza de ε , representada por σ^2 , es igual para todos los valores de X; por consiguiente, se indica que la varianza de Y es igual a σ^2 y debe ser la misma para todos los valores de X. donde: $Var(\varepsilon_j) = \sigma^2$
$$Var(Y_j) = \sigma^2 ; \quad j= 1,2,\dots,n$$
3. Los valores de X son independientes. El valor de Y para determinado valor de X no se relaciona con el valor de Y para cualquier otro valor de X
4. El término de error, ε , es una variable aleatoria con distribución normal.

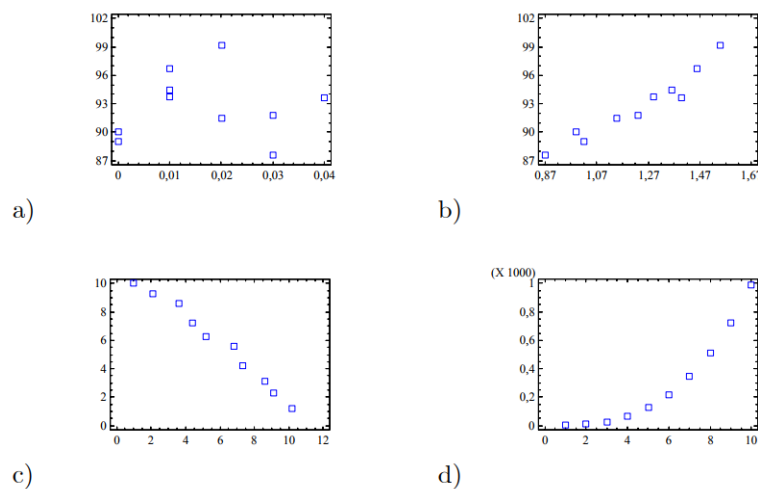
5. No autocorrelación_ independencia lineal de los errores

$$Cov(e_i, e_j) = 0 ; \quad i \neq j$$

De una manera gráfica, por medio de gráficos de dispersión podemos determinar si existe o no dependencia entre variables y de la misma manera, la clase de función que podría ajustarse a la curva, también llamado nube de puntos se muestran a continuación los más representativos (Francisco, 1997).

Ejemplos de casos que podrían darse:

Figura 1-2 Diagramas de dispersión



Fuente: (Francisco, 1997)

En a) hay ausencia de relación (independencia).

En b) existe asociación lineal positiva (varían en general en el mismo sentido).

En c) existe asociación lineal negativa (varían en sentido contrario).

En d) existe fuerte asociación, pero no lineal.

2.2.1. Estimación de los parámetros del modelo

Los valores de los parámetros β_0 y β_1 conocidos también como regresores, no se conocen y deben estimarse a partir de los datos de la muestra.

Básicamente existen tres métodos para estimar los coeficientes beta de la ecuación de regresión: el método de mínimos cuadrados, el método de máxima verosimilitud y el método generalizado de momentos (Hansen, 2018).

Se parte de una muestra de valores de X e Y medidos sobre n individuos:

$$(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots \dots \dots, (x_n, y_n) \quad (2.3)$$

y queremos estimar valores en Y según el modelo de la ecuación (2.1), donde β_0 y β_1 son por el momento desconocidos.

Se halla la recta que mejor se ajuste a los datos observados, debiendo buscar aquellos valores de los coeficientes β_0 y β_1 que hagan mínimos los errores de estimación.

Para un valor x_i , el modelo estima un valor en Y igual a:

$$\hat{y}_i = \beta_0 + \beta_1 x_i \quad (2.4)$$

y el valor observado en Y es igual a y_i , con lo cual el error de estimación en ese caso sería:

$$e_i = y_i - \bar{y}_i = y_i - (\beta_0 + \beta_1 x_i) \quad (2.5)$$

Se tomará como estimaciones de β_0 y β_1 , aquellos coeficientes que notamos por $\hat{\beta}_0$ y $\hat{\beta}_1$, aquellos que hagan mínima la suma de los errores al cuadrado, que viene dada por:

$$SSE = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - (\beta_0 + \beta_1 x_i))^2 \quad (2.6)$$

Pues es por ello que al método de estimación se le llame método de mínimos cuadrados. La solución se obtiene por el mecanismo habitual, derivando SSE con respecto a β_0 y β_1 e igualando a 0. Los estimadores resultan:

$$\hat{\beta}_1 = \frac{SS_{xy}}{SS_{xx}} \quad (2.7)$$

$$\hat{\beta}_0 = \bar{y} - \hat{\beta}_1 \bar{x} \quad (2.8)$$

siendo:

$$SS_{xy} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) = \sum_{i=1}^n x_i y_i - n\bar{x}\bar{y} \quad (2.9)$$

$$SS_{xx} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2 = n\sigma_x^2 \quad (2.10)$$

Teniendo como recta de regresión lineal resultante de Y sobre X a la siguiente ecuación:

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x \quad (2.11)$$

En el modelo, finalmente se estima el parámetro de la varianza de los errores (σ^2), siendo su estimador la varianza residual (Francisco, 1997):

$$\hat{S}_R^2 = \frac{SSE}{n-2} = \frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n-2} = \frac{SS_{yy} - \hat{\beta}_1 SS_{xy}}{n-2} \quad (2.12)$$

Un estadístico que nos permite determinar la pertinencia de la ecuación de regresión hallada es el coeficiente de determinación R^2 , el cual es una medida de bondad de ajuste global de la recta del modelo, donde observaremos si existe relación estadísticamente significativa. (Gujarati & Porter, 2010)

$$R^2 = \frac{(SSR)}{(SST)} \quad (2.13)$$

En la expresión (2.13) el numerador representa una suma de cuadrados debida a la regresión para conocer cuánto se desvían los valores de \hat{y}_i medidos en la línea de regresión, de los valores de \bar{y} , y el denominador se representa el error ocurrido para estimar y_i . R^2 es un valor que está entre 0 y 1, y mientras más se acerque a 1, el modelo estimado explica mejor a la variable dependiente Y.

Como complemento, a continuación, se detalla el desarrollo de las tres ecuaciones de sumas cuadráticas; en la ecuación de determinación fueron llamadas dos de las ecuaciones, faltando la SSE, que es la suma de los cuadrados debidos al error.

$$SSE = \sum (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (2.14)$$

$$SSR = \sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2 \quad (2.15)$$

$$SST = \sum (y_i - \bar{y})^2 \quad (2.16)$$

El coeficiente de determinación crece al ampliar el número de variables independientes del modelo, por lo que se define el coeficiente de determinación corregido que ajusta el valor por la inclusión de más variables dependientes al modelo, su expresión es (Fernández, Econometría, 2005):

$$\bar{R}^2 = 1 - \frac{(n-1)}{(n-p-1)} (1 - R^2) \quad (2.17)$$

donde n es el tamaño de la muestra y p es el número de variables explicativas.

La correlación es una técnica estadística usada para determinar la relación entre dos o más variables, o sea, que tan bien explica una variable a la otra; se conoce que el coeficiente de correlación se describe por la letra "R" y es descrita con su ecuación como la raíz cuadrada del coeficiente de determinación.

$$R = (\text{signo del } \beta_1) \sqrt{R^2} \quad (2.18)$$

La correlación puede ser de al menos dos variables o de una variable dependiente y dos o más variables independientes, denominada correlación múltiple (Sanchez, 2014).

Otra prueba importante para el desarrollo de un modelo de regresión es determinar la significancia de los coeficientes de regresión individuales β_k cuando el término de error sigue una distribución normal. Es preciso indicar que debe probarse la hipótesis nula (Hansen, 2018):

$$H_0: \beta_k = 0 \quad vs \quad H_1: \beta_k \neq 0; \quad k = 0, 1, 2, \dots, p \quad (2.19)$$

en donde p es el número de variables explicativas del modelo. La teoría econométrica ha demostrado que, bajo la hipótesis nula, el estadístico:

$$t = \frac{\hat{\beta}_k}{\hat{S}_{\beta_k}} \quad (2.20)$$

donde \hat{S}_{β_k} es el error estándar de $\hat{\beta}_k$, sigue una distribución t de Student con $(n - p - 1)$ grados de libertad, para un nivel de significancia α , se rechaza H_0 si $|t| > t_{\alpha/2, n-p-1}$, de lo contrario no se rechaza H_0 . Utilizando el criterio del p -value, se rechaza H_0 si p -value es menor que α , de lo contrario no se rechaza H_0 .

2.2.2. Supuestos del modelo de regresión lineal simple

Se muestra a continuación los supuestos que debe cumplir una ecuación de regresión lineal (Court & Rengifo, 2011).

2.2.2.1. Especificación (Linealidad). -

En el modelo de regresión lineal existe el supuesto de la relación existente entre la variable dependiente Y frente a los coeficientes de regresión betas (β) son lineales; adicional que el modelo está cabalmente especificado, esto quiere decir que no se incluyen variables irrelevantes en el modelo, y que se han incluido solo las variables relevantes.

2.2.2.2. Valor esperado del término de error es cero, $E(\epsilon_i) = 0$

2.2.2.3. Homocedasticidad. -

La varianza del término de error es constante para todas las observaciones,

$$\text{Var}(\epsilon_i) = \sigma^2$$

2.2.2.4. No autocorrelación. -

La covarianza entre los errores de observaciones diferentes, es cero,

$$\text{cov}(\epsilon_i, \epsilon_j) = 0 \quad i \neq j$$

2.2.2.5. Normalidad. -

Este supuesto no es obligatorio para un modelo de regresión, comúnmente se conoce que el término de error sigue una distribución normal. Sin embargo, es importante para la validez de las pruebas de hipótesis de significancia del modelo y para la estimación adecuada de intervalos de confianza.

2.2.3. Validez del modelo de regresión estimado

En esta sección serán examinados los posibles problemas existenciales de naturaleza muestral o aquellas que presenten incumplimiento de los supuestos del modelo, con el fin de asegurar que el modelo de regresión sea válido. De acuerdo a lo indicado anteriormente, se presentan a continuación, cuáles son estos problemas y sus posibles soluciones:

2.2.3.1. No normalidad de los residuos:

Dado que las inferencias relacionadas con los coeficientes de regresión están relacionadas con la normalidad del término de error del modelo, se realiza un examen de los residuos ($Y - \hat{Y}$) y probar la normalidad de éstos. Suele utilizarse un gráfico QQ-Normal y las pruebas formales de normalidad de Kolmogorov-Smirnov, Shapiro-Wilk, Jarque-Bera o Anderson-Darling, usando la prueba de Shapiro-Wilk cuando el tamaño de la muestra es grande (mayor que 30) y compara dos estimaciones diferentes de la varianza mediante una división.

De darse el caso de que los residuos no sean normales, se puede probar con alguna transformación de la variable respuesta y realizar la regresión con dicha variable transformada, para luego comprobar la normalidad de los residuos.

2.2.3.2. Autocorrelación de los residuos:

Otro de los supuestos del modelo de regresión es que los errores no están correlacionados. A continuación se detalla una forma de revelar problemas de autocorrelación la cual es realizada por medio del gráfico de la función de autocorrelación de los residuos, y mediante las pruebas de Durbin-Watson (Maddala, 1977) o del test de Breusch-Godfrey (Fernández, Econometría, 2005). La prueba de Breusch-Godfrey esencialmente realiza una regresión complementaria de los residuos sobre las variables explicativas y los retardos de los errores hasta un orden dado, y luego prueba la significación de los coeficientes de los retardos de los errores

Frente a estos casos de problemas de autocorrelación, las posibles soluciones que se pueden aplicar, es realizar la regresión en diferencias generalizadas o utilizar

modelos de series de tiempo autorregresivo condicional heterocedástico (ARCH) o autorregresivo condicional heterocedástico generalizado (GARCH) (Gujarati & Porter, 2010).

2.2.3.3. Heterocedasticidad:

La heterocedasticidad se muestra cuando la varianza del término de error no es constante en las observaciones realizadas. Se puede mostrar de una forma gráfica la heterocedasticidad mediante el diagrama de residuos vs valores ajustados para determinar si existe algún patrón no aleatorio. También se puede usar pruebas formales como la de Breusch-Pagan o el test de Bartlett-White. Es usual contrarrestar la heterocedasticidad mediante (Novales, 1993) la transformación de Box-Cox o por medio de un modelo ARCH, con el fin de modelar el término de la varianza del error. La prueba de Breusch-Pagan realiza una regresión del cuadrado de los residuales sobre las variables explicativas y prueba la significación de los coeficientes de las variables explicativas para determinar si la varianza depende de las variables predictoras.

Luego de que se han descubierto y resuelto los posibles problemas que se presenten en el modelo de regresión estimado inicialmente, es ahí que recién podemos indicar que el modelo será válido para predicción, interpretación de los coeficientes, y obtener conclusiones partiendo del modelo que se está planteando.

2.2.4. Test de pruebas de hipótesis para comprobación de supuestos

2.2.4.1. Test de Jarque Bera

El test de J-B es una prueba asintótica para determinar normalidad de los residuos, que se caracteriza por el uso de grandes muestras para que su resultado sea potente; la misma está soportada en los residuos de MCO (mínimos cuadrados ordinarios). Este test radica en calcular primero la asimetría y la curtosis de los residuos para implantarlos en el cálculo del siguiente estadístico de prueba:

$$\lambda = n \left(\frac{s^2}{6} + \frac{(k-3)^2}{24} \right) \quad (2.21)$$

Donde n es el número de observaciones; S representa la asimetría y k la curtosis.

Y se contrasta con una distribución $\chi^2_{(2)}$ donde la hipótesis nula es Normalidad, se rechaza si $|\lambda| > \chi^2_{(2)}$. (Joaquín & Nieto Sánchez, 2008)

$H_0: \text{Existe Normalidad}$

$H_1: \neg H_0$

Para una distribución normal el valor de la asimetría es 0 y el valor de curtosis es 3, $(k-3)$ representa la curtosis excedente.

Cabe indicar que esta prueba es usada para comprobar que el termino error siga un distribución normal para usar con seguridad las pruebas t y F, de requerir comprobar la pertinencia de una variable adicional en un modelo múltiple; lo cual no es el caso del presente trabajo.

2.2.4.2. Test de Durbin-Watson

El Test de Durbin-Watson refleja si existe autocorrelación (relación entre los valores separados el uno del otro por un intervalo de tiempo dado) en una regresión lineal, tanto simple como múltiple; con el planteamiento de este test se pretende observar si los valores en función de las variables independientes es una disposición al azar o, si hay algún tipo de dependencia; de ser el caso, se estaría infringiendo una de las condiciones del modelo de regresión lineal simple (normalidad, homogeneidad de varianzas, independencia de los datos) y las estimaciones de los parámetros del modelo no tendrían los criterios de calidad que se suponen.

$$DW = \left(\frac{\sum_{t=2}^n (e_t - e_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^n e_t^2} \right) \quad (2.22)$$

Donde e_t son los residuos a tiempo t

El contraste de hipótesis tiene como Hipótesis nula que la autocorrelación es cero frente a la alternativa que afirma que es distinta de cero:

$H_0: \rho = 0$

$H_1: \rho \neq 0$

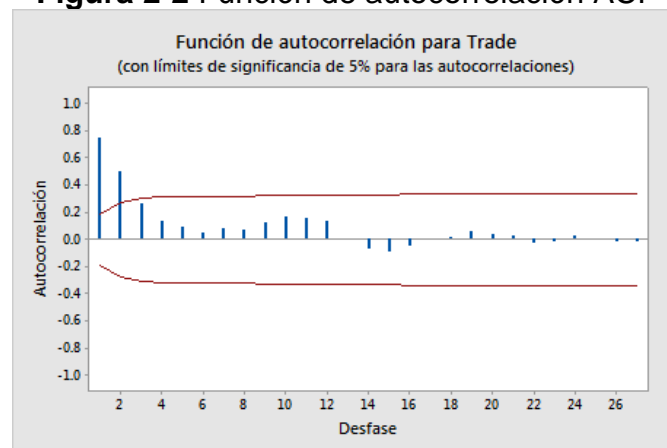
Por práctica, en el manejo de este test se suele usar la variable independiente tiempo, ya que por esto aparece el signo “t”; no obstante el planteamiento sirve para toda variable independiente o cualquier grupo de variables independientes. (Llopis Pérez, 2012)

2.2.4.3. Función de autocorrelación ACF

La función de auto correlación es una medida de la correlación versus los valores de una serie de tiempo separados por k unidades de tiempo (y_t e y_{t-k}).

Calcula el grado de asociación lineal que existe entre dos variables del mismo proceso estocástico. (Minitab.com, 2019)

Figura 2-2 Función de autocorrelación ACF



Fuente: support.minitab.com

En la figura 2-2, se muestra una correlación significativa en el desfase 1 que disminuye después de unos pocos desfases; este esquema indica un término autorregresivo.

La función de autocorrelación simple ACF se presenta con las siguientes propiedades: (Villavicencio, 2007)

- $\rho_0=1$
- $-1 \leq \rho_j \leq 1$
- *Simetria* $\rho_j = \rho_{-j}$

2.2.4.4. Test de Breusch-Pagan

El test de Breusch-Pagan es utilizado como una prueba potente para determinar la heterocedasticidad en un modelo de regresión lineal simple. Examina si la varianza estimada de los residuos de una regresión depende de los valores de las variables independientes.

Asume que:

$$\sigma_i^2 = a_1 + a_2 z_1 + a_3 z_3 + a_4 z_4 \dots \dots \dots a_m z_m \quad (2.23)$$

Donde z son todas variables independientes y pueden ser algunos o todos los regresores originales o algunas otras variables o alguna transformación de los regresores originales que crees que causan la heterocedasticidad. (Breusch & Pagan, 1979)

De confirmarse que en el test-F las variables independientes son significativas, entonces se puede rechazar la hipótesis nula de homocedasticidad.

$$H_0: \text{Existe homocedasticidad}$$
$$H_1: \neg H_0 \text{ (Existe Heterocedasticidad)}$$

2.2.4.5. Prueba ANOVA

Analysis Of Variance, (ANOVA), es un análisis que prueba la hipótesis de que las medias de dos o más poblaciones son iguales. Los ANOVA valoran la importancia de uno o más factores al contrastar las medias de la variable de respuesta en los diferentes niveles de los factores. La hipótesis nula establece que todas las medias de la población (medias de los niveles de los factores) son iguales mientras que la hipótesis alternativa establece que al menos una es diferente.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$
$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

Los procedimientos de ANOVA marchan muy bien incluso cuando no cumple el supuesto de normalidad, a menos que una o más de las distribuciones sean muy asimétricas o si las varianzas son muy diferentes; para ello existe los artificios de transformación de los datos, los cuales pueden corregir estas violaciones.

En la tabla ANOVA mostrada en este trabajo, serán llamados los valores de la suma cuadrática de los errores y la suma cuadrática de los residuos, descritas en las formulas 2.14 y 2.15 de este documento; adicionalmente se representa el valor del estadístico de prueba, F , que siendo significativamente distinto de 1 para cualquier nivel de significación se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medias.

El análisis que se puede determinar adicionalmente en la tabla de ANOVA, es determinar si el modelo de regresión es significativo o no con el valor de F de Fisher contrastándolo con la siguiente hipótesis:

$$\text{Si, } CME = \frac{(SSE)}{n-2} \quad \text{y} \quad CMR = \frac{(SSR)}{1} \quad \text{entonces:} \quad F_0 = \frac{(CMR)}{(CME)}$$

Se rechaza la hipótesis nula si $F_0 > F(\alpha, 1, n-2)$.

$$H_0: \beta_1 = 0$$

$$H_1: \beta_1 \neq 0$$

2.3. Parámetros de control de laboratorio (variables de estudio):

2.3.1. Ácidos grasos

La grasa en los agentes tenso activos como lo es el jabón, es la materia prima para su fabricación, por ello es necesario calcular el porcentaje de materia grasa (glicérido) en la composición del jabón a fabricar por medio de la extracción etérea de la materia grasa y valor de secado y pesado del residuo extraído (INEN821:1982, 2012). Se vuelve necesario indicar que existen los tres tipos de ácidos grasos los cuales son el ácido graso saturado (AGS), ácido graso poliinsaturado (AGP), ácido grasos monoinsaturados (AGM).

Se muestra en estado sólido, dado que predominan los ácidos grasos saturados (sólidos). Además de los glicéridos existen ácidos grasos libres y un residuo formado por compuestos de estructura compleja, llamados esteroides. En las grasas naturales prevalecen los ésteres, en los que intervienen tres ácidos grasos iguales o diferentes los cuales se los denomina triglicéridos (Carbajal Azcona, 2013).

2.3.2. Alcalinidad

La alcalinidad en agentes tensos activos es determinada por medio de titulación con una solución de ácido clorhídrico obteniendo como resultado la expresión en hidróxido de sodio en porcentaje de masa. (INEN821:1982, 2012)

La alcalinidad total muestra la cantidad de componentes alcalinos (carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos) disueltos en la masa de los agentes tenso activos tomados para la muestra de análisis.

2.3.3. Humedad

La humedad de una materia abarca aquellas sustancias que se volatizan por el proceso de calentamiento, por ejemplo: disolventes orgánicos volátiles, alcoholes, etc., que producen una pérdida de peso; aunque se asocia directamente con la pérdida de atributo peso, el contenido de humedad influye sobre otras las propiedades físicas del jabón, como densidad, tono, traslucidez, dureza, compactación, etc. Actualmente, la determinación del contenido de material volátil se realiza por medio de un equipo compuesto por una balanza de precisión que va midiendo continuamente el peso, mientras un radiador halógeno interno realiza el proceso de secado por medio del calentamiento, generando la evaporación del material volátil y dando como resultado una diferencia porcentual de peso, la misma que se interpreta como contenido de humedad (INEN818:2013, 2013).

2.3.4. Cloruro

La determinación de cloruro es un análisis físico químico para observar el contenido de cloruro en los jabones, el mismo que es asociado a la adición de cloruro de Sodio NaCl en el proceso de elaboración de jabones para la separación del glicerol, donde este análisis mide el desempeño en esta parte del proceso.

Existen procesos de elaboración de jabón en los que no se les adiciona ninguna sal, (como lo es este proceso en estudio), y se vuelve importante este análisis puesto que se lo asocia con la calidad de agua a ocupar en el proceso de jabón.

El resultado de esta determinación está expresado como porcentaje de NaCl, con una fracción masa igual o mayor que 0.1% (m/m), siendo el proceso usado la titulación argentométrica (INEN-ISO457:1983, 2014).

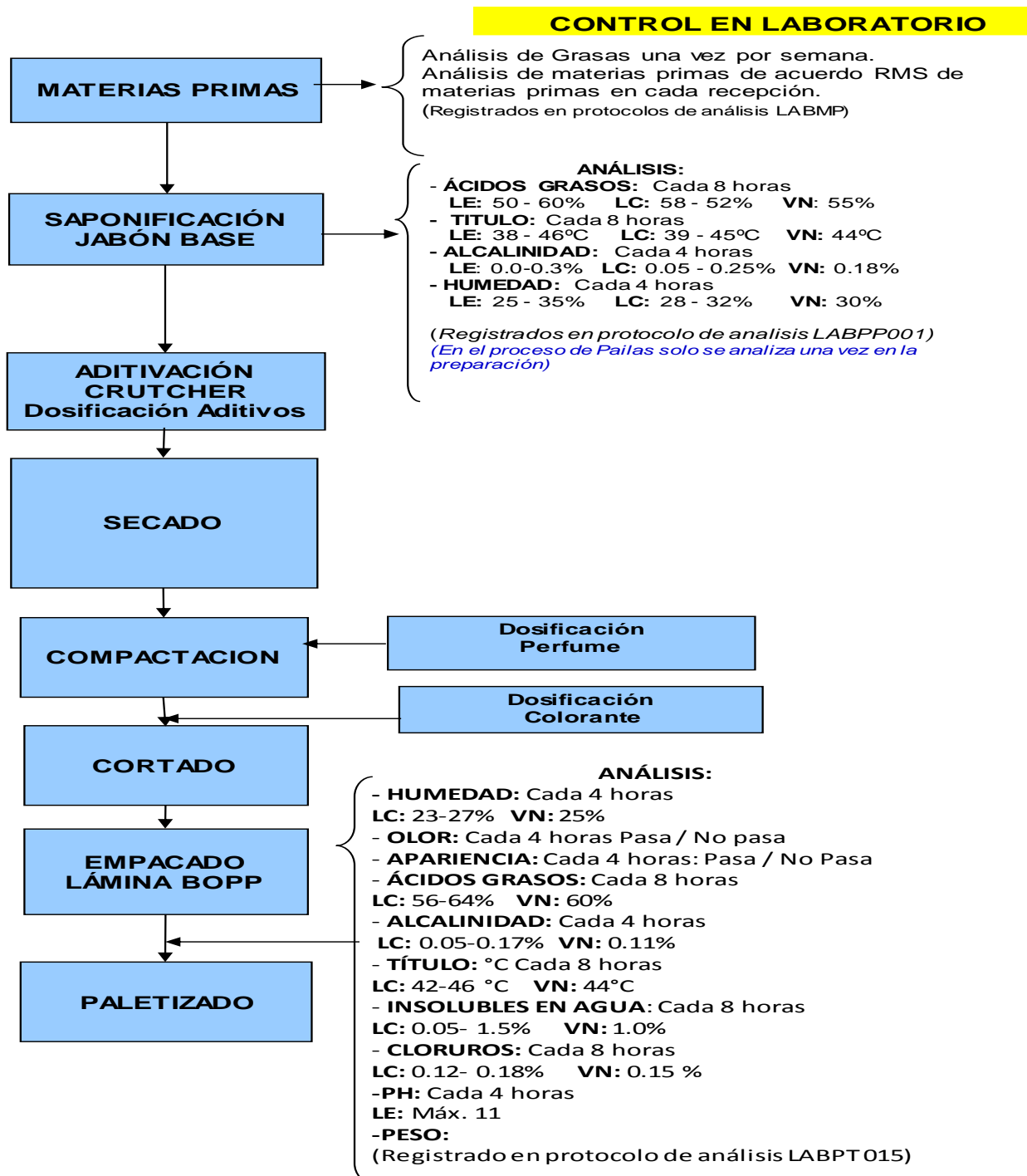
2.3.5. Título

El título, para agentes tenso activos como lo es el jabón objeto de este estudio, es un análisis físico químico donde como resultado se obtiene la temperatura de solidificación de la grasa, a lo cual convencionalmente se lo llama como el título de la grasa o del aceite. El resultado mostrado es en grados centígrados, tomado cuando la temperatura de la muestra se mantiene constante luego de haberse observado una caída lenta a medida que la cristalización iniciaba. (INEN-ISO935:1988, 2013).

2.4. Proceso de elaboración del jabón.

A continuación se muestra las etapas incurridas en el proceso de elaboración de jabones de lavar y junto a ellas los controles de laboratorio a realizarse, los cuales aseguran el cumplimiento de las especificaciones en la liberación del producto.

Figura 3-2 Diagrama de procesos en la elaboración de jabones



Fuente: Departamento de Aseguramiento de Calidad

2.4.1. Materias primas:

Las materias primas grasas: aceite de palma, estearina de palma y aceite de palmiste se obtienen de los procesos de refinación y fraccionamiento a partir de aceites crudos que llegan a la planta en tanqueros desde las extractoras. El hidróxido de sodio en solución al 50% se compra en tanqueros y se almacena en tanques de la bodega de materias primas. El agua de proceso se obtiene de la

planta desalinizadora que tiene la fábrica. Las materias primas deben cumplir con las especificaciones negociadas con el cliente y son periódicamente analizadas por el departamento de calidad tanto en su procesamiento como en el almacenamiento. Luego se transportan por bombeo hasta los tanques diarios de la jabonería.

2.4.2. Saponificación de grasas/ jabón base:

La fabricación de la base de jabón se inicia con la mezcla de las grasas antes mencionadas y la lejía (hidróxido de sodio y agua), a esta mezcla se la conoce como reacción de saponificación. La reacción de saponificación es realizada por medio de un turbo dispersor a altas revoluciones que continuamente mezclan la grasa con la lejía, en una planta de alta tecnología que es llamada “planta continua” en donde se fijan las cantidades de cada materia prima (por medio de cabezales graduados de acuerdo a cada formulación) y se las une en ambiente controlado de velocidad y temperatura, hasta 8 toneladas por hora pueden producirse. Se controlan periódicamente los parámetros humedad, alcalinidad libre, ácidos grasos totales, cloruros para ajustarse a los valores especificados en las normas nacionales e internas de calidad.

La base de jabón formada por **saponificación continua** se almacena a temperaturas cercanas a 100 grados centígrados.

2.4.3. Aditivación crutcher.

La base de jabón caliente se transporta en un tanque mezclador donde se incorporan cantidades pre-pesadas de aditivos y antioxidantes como: ácido cítrico, dióxido de titanio, BHT, entre otros, y se agitan para mezcla eficiente.

2.4.4. Secado.

La base de jabón con aditivos se transporta hacia la línea de secado para enfriar y retirar humedad. Se fijan los parámetros del proceso como grado de vacío, temperaturas y presiones. El secado inicial se realiza por acción del calentamiento en intercambiador de calor a temperaturas en rangos de 120°C a 140°C. Se termina el secado y enfriado en un secador atomizador al vacío que se obtiene mediante bomba de vacío y eyectores de vapor, con aproximadamente 3 bares de presión a vacío.

La base de jabón seca y fría tiene rangos de humedad de 12% a 14% y temperatura cercana a 45°C, la cual se transporta desde el atomizador mediante compactadoras que refinan la base de jabón y forman los pellets o virutas.

2.4.5. Compactación:

Esta etapa del proceso comprende de una extrusora de tres tornillos sin fines, que realizan la función de compactar el jabón en cada una de las tres cámaras, con la finalidad que el jabón tenga sus características de barra y no se cuartee durante su uso en el lavado.

En estas tres sub-etapas, se procede a adicionar colorante para el caso de los jabones de color, y las diferentes tipos de fragancias de acuerdo al producto a empacar.

2.4.6. Cortado y empacado:

La barra que emerge de las maquinas compresoras, son cortadas por medio de cuchillas a revoluciones de aproximadamente 150 jabones por minuto; luego pasan a ser empacadas por las envolvedoras de acuerdo a cada presentación programada. En esta etapa se toman muestras de laboratorio las cuales son analizadas de acuerdo a la frecuencia del diagrama anterior.

2.4.7. Paletizado y almacenamiento:

Las cajas son colocadas adecuadamente en pallets de acuerdo al número de planchas descrito en los estándares internos para cada producto. Durante todo el proceso, en frecuencias apropiadas, se realizan muestreos necesarios de atributos físicos para garantizar requisitos e integridad del producto especificada en los estándares internos.

Al liberarse el producto por calidad se almacena en la bodega de productos terminados en espera de su despacho en contenedores.

CAPITULO 3

METODOLOGÍA

Como soporte para realizar las operaciones estadísticas de este capítulo, se utiliza el software libre R; de la misma manera los datos que servirán como fuente para el modelo, corresponden a los resultados de los análisis de ácidos grasos, alcalinidad, cloruros, título y humedad, recopilados en un periodo de 6 meses para los jabones blancos, los mismos que mediante la estadística descriptiva se estudiarán las características individuales de los resultados en su fase intermedia denominada jabón base, y los resultados de análisis realizados al producto terminado, buscando luego determinar el nivel de correlación que existen entre los análisis de estas dos etapas del proceso, a fin de obtener soporte suficiente de correlación de datos para poder desarrollar un modelo de regresión lineal que nos permita minimizar el número de análisis en el producto final logrando disminuir uso de recurso humano, material y tiempo de disponibilidad del producto terminado, lo cual se refleja en ahorro para la compañía en términos monetarios.

1.1. Establecimiento de datos y tabulación.

La base de datos usada para el presente trabajo comprende a los valores resultantes desde enero del año 2017 a julio del mismo año, dado que la formulación del producto no ha variado dentro de los tres últimos años para los jabones blancos, y el proceso se ha mantenido constante; teniendo 117 datos a ser estudiados, tanto como producto intermedio como para producto terminado.

Es importante volver a enfatizar que el jabón resultante del proceso de saponificación continua jabón base, es el mismo tanto para los jabones blancos objetos de este estudio, como para el resto de las categorías de jabones; las

variables se comienzan a presentar en la formulación posterior con los aditivos y el proceso de secado post adivinación crutcher.

Los datos recopilados fueron tabulados en computadora, dado que los formatos utilizados por los analistas son físicos.

3.2. Determinación de ácidos grasos en agentes tensoactivos

Basados en la norma técnica ecuatoriana INEN (INEN823:1982, 2012); se determinan los resultados de análisis para Materia Grasa total en jabones mediante una extracción etérea de la materia grasa y determinación por secado y pesado del residuo extraído.

De los análisis recopilados para este estudio, se procede a aplicar estadística descriptiva con el fin de observar cómo se comportan los datos y tener un mejor panorama para ambas etapas del proceso; a continuación se muestra un resumen de los datos, donde la segunda columna pertenece a valores de ácidos grasos en la fase intermedia del jabón y la tercera columna es ácidos grasos en el producto terminado.

Tabla 1-3 Encabezado de datos de ácidos grasos

```
> head(jabonesAG)
  Acidos.Grasos.Intermedio Acidos.Grasos.PT
1                56.93905                60.71615
2                56.74924                60.52915
3                56.84978                60.60711
4                56.88803                60.74915
5                56.70987                60.30843
6                57.06025                60.87891
```

Elaboración: Diego Carrillo – Software R

A continuación, se aplicó la estadística descriptiva con el fin de soportar lo anteriormente señalado, en la tabla 2-3 se observa el resumen.

Tabla 2-3 Estadísticos descriptivos básicos para ácidos grasos

```

> summary(jabonesAG)
Acidos.Grasos.Intermedio  Acidos.Grasos.PT
Min.      :55.27          Min.      :58.91
1st Qu.:56.23          1st Qu.:60.00
Median  :56.49          Median  :60.31
Mean    :56.53          Mean    :60.31
3rd Qu.:56.83          3rd Qu.:60.66
Max.    :58.00          Max.    :61.87

```

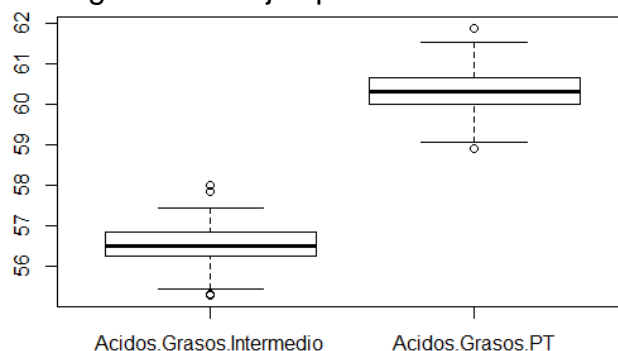
Elaboración: Diego Carrillo – Software R

De los datos observados en la **tabla 2-3** se puede constatar que para el proceso de ácidos grasos en la etapa de proceso intermedio tiene como mínimo un valor de 55.27% y como máximo un 58% de grasas totales, indicando la mediana adicionalmente que el 50% de las muestras analizadas tienen un porcentaje de ácido graso menor a 56.49%.

Basados en la misma tabla, para los resultados obtenidos en el proceso terminado, se muestra que se tiene como mínimo 58.91% y como máximo 61.87% con una mediana indicando que el 50% de las muestras observadas tienen valores por debajo del 60.31% de ácido graso total.

A continuación se muestra de muestra de manera general un gráfico de cajas visualizando la distribución de los datos en ambos procesos, mostrando que en las dos etapas se encuentran algunos valores aberrantes pero con buena simetría. Los valores de ácidos grasos en la etapa de producto terminado son mayores debido a la pérdida de humedad en la etapa de secado, esto hace que porcentualmente el valor de AG incremente en los resultados analíticos de laboratorio.

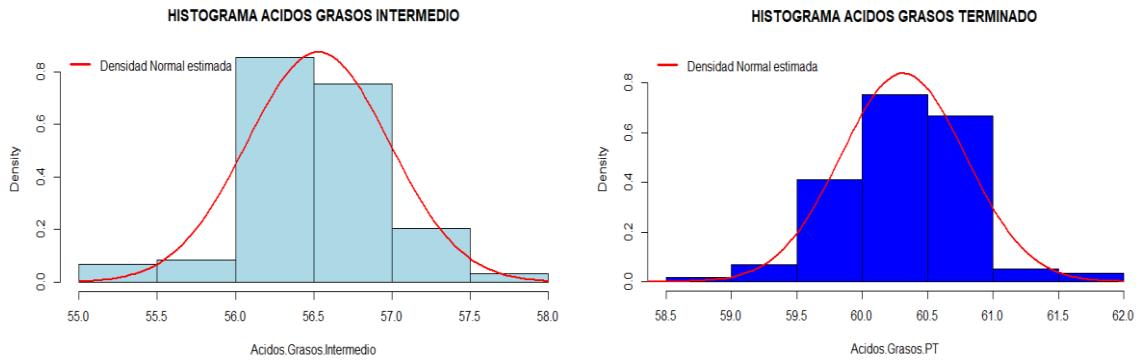
Gráfico 1-3 Diagrama de cajas para la variable de ácidos grasos



Elaboración: Diego Carrillo – Software R

Ahora se procede a dibujar en R un histograma y sobre el mismo, una línea para observar si nuestros datos se asemejan a una distribución normal.

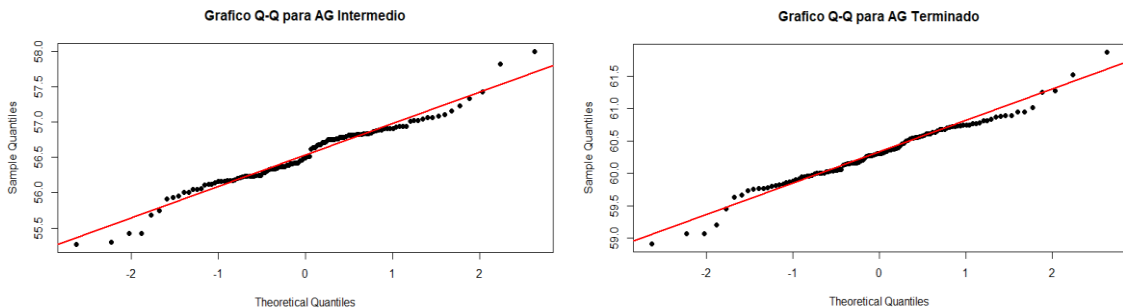
Gráfico 2-3 Histogramas para ácidos grasos en proceso intermedio y terminado



Elaboración: Diego Carrillo – Software R

Procedemos a reflejar mediante un gráfico la variable de ácidos grasos para cada proceso (intermedio y terminado) con la finalidad de visualizar si los datos tienen una distribución normal y siendo así, comprobar uno de los supuestos de regresión.

Gráfico 3-3 Gráficos QQ para ácidos grasos en proceso intermedio y terminado



Elaboración: Diego Carrillo – Software R

Como podemos observar en los gráficos 3-3, los ácidos grasos tanto como producto intermedio y terminado se ajustan a la normal; no obstante, a continuación, se procede a realizar la prueba de bondad de ajuste “Test de Jarque-Bera”, el cual nos ayudará a comprobar si nuestros datos tienen la simetría y la kurtosis de una distribución normal.

La prueba revela que los datos se ajustan a una distribución normal teniendo un P-value superior a 0.05, comprobando el supuesto de normalidad, por lo cual esta variable será analizada a profundidad en el próximo capítulo en donde se deba

levantar un modelo de predicción de existir correlación en el proceso intermedio y terminado

Tabla 3-3 Test Jarque-Bera para A.G. en proceso intermedio y terminado

```
> jarque.bera.test(Acidos.Grasos.Intermedio)

Jarque Bera Test

data: Acidos.Grasos.Intermedio
X-squared = 4.3331, df = 2, p-value = 0.1146

> jarque.bera.test(Acidos.Grasos.PT)

Jarque Bera Test

data: Acidos.Grasos.PT
X-squared = 5.0883, df = 2, p-value = 0.07854
```

Elaboración: Diego Carrillo – Software R

3.3. Determinación de alcalinidad libre

Los resultados de los análisis de alcalinidad libre, objeto del presente estudio, fueron realizados bajo los lineamientos de la norma técnica ecuatoriana INEN (INEN821:1982, 2012); en donde, por titulación con solución de ácido clorhídrico (Solución de 0.1N) se determina las alcalinidades.

Para esta variable de estudio, al igual que la anterior, se procede a aplicar estadística descriptiva y observar el comportamiento de los datos para definir si existe correlación de las dos etapas del proceso la cual evaluaremos en el próximo capítulo de existir.

Tabla 4-3 Encabezado de datos de alcalinidad

```
> head(jabonesAlca)
Alcalinidad.Intermedio Alcalinidad.PT
1 0.06830301 0.05803214
2 0.29973182 0.24775974
3 0.14962397 0.12435300
4 0.08344313 0.06273017
5 0.11770268 0.09051277
6 0.08654271 0.06586779
```

Elaboración: Diego Carrillo – Software R

Con los datos anteriormente indicados se busca con el uso de la estadística descriptiva, resultados que pueda ayudar a visualizar el comportamiento básico de esta variable, obteniendo la siguiente tabla.

Tabla 5-3 Estadísticos descriptivos básicos para alcalinidad.

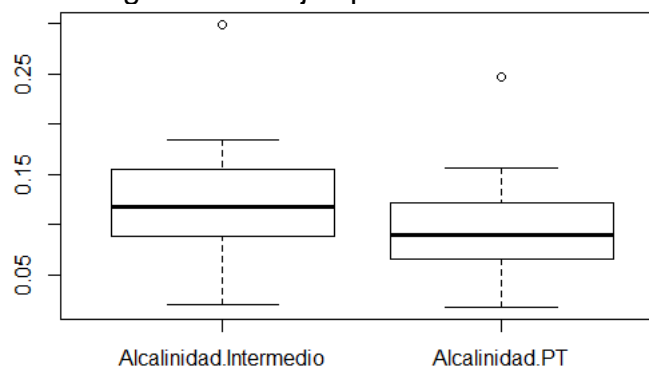
| <code>> summary(jabonesAlca)</code> | |
|--|-----------------|
| Alcalinidad.Intermedio | Alcalinidad.PT |
| Min. :0.02106 | Min. :0.01775 |
| 1st Qu.:0.08821 | 1st Qu.:0.06590 |
| Median :0.11745 | Median :0.09051 |
| Mean :0.11945 | Mean :0.09357 |
| 3rd Qu.:0.15496 | 3rd Qu.:0.12193 |
| Max. :0.29973 | Max. :0.24776 |

Elaboración: Diego Carrillo – Software R

Con los datos resultantes de la **tabla 5-3** se puede evidenciar que la variable alcalinidad, tiene como mínimo un valor de 0.021% y como máximo un 0.299% de masa de NaOH en la etapa intermedia, disminuyendo para el proceso terminado en 0.0177% y 0.2477% mínimo y máximo respectivamente, mostrando una mediana que indica que el 50% de las muestras analizadas presentan un porcentaje de alcalinidad menores a 0.117% y 0.091%, para las etapas de intermedio y terminado respectivamente.

Con la ayuda de un diagrama de cajas, se demuestra la dispersión de los valores de esta variable en ambas etapas del proceso, visualizando en el grafico que la variable presenta valores equilibrados y con un valor puntual aberrante.

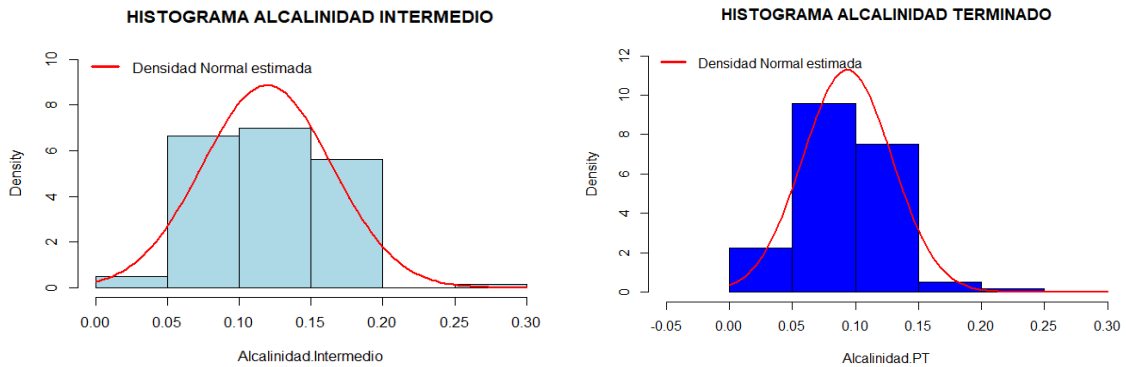
Gráfico 4-3 Diagrama de cajas para la variable de alcalinidad



Elaboración: Diego Carrillo – Software R

Para esta variable, al igual que la anterior se procede a dibujar un histograma con una línea de la densidad estimada para cada uno de los análisis en las dos etapas del proceso, observando visualmente que la línea de distribución se asemeja a la normal.

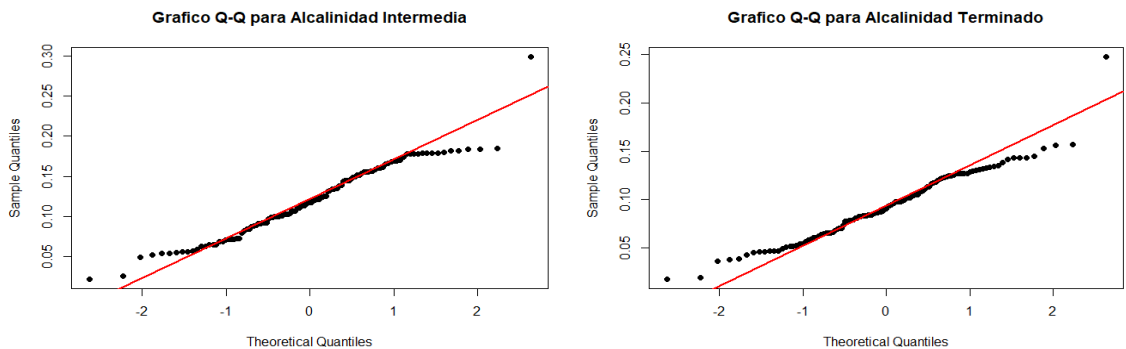
Gráfico 5-3 Histogramas para alcalinidad en proceso intermedio y terminado



Elaboración: Diego Carrillo – Software R

Para comprobar gráficamente la normalidad de nuestros datos, se representa por medio de un gráfico, los valores de alcalinidad en ambos procesos (intermedio y terminado), en el mismo se le adiciona una línea de normalidad enriqueciendo el gráfico.

Gráfico 6-3 Gráficos QQ para alcalinidad en proceso intermedio y terminado.



Elaboración: Diego Carrillo – Software R

Se observa en los gráficos 6-3 que la alcalinidad, tanto como producto intermedio y terminado se ajustan a la normal; pero al igual para la variable anterior y para todas las variables de estudio se procede a realizar la prueba de bondad de ajuste “Test de Jarque-Bera”, para comprobar si nuestros datos tienen la asimetría de una distribución normal.

Pese a que los valores se ajustaron gráficamente a una normal, con el Test de Jarque-Bera al tener valores igual e inferior de 0.05 en el resultado del P-Value para ambos procesos (intermedio y terminado) en esta variable, con valores de 0.059 y 3.55×10^{-5} respectivamente, no se puede comprobar el supuesto de normalidad, por lo cual esta variable no podría ser analizada en el próximo capítulo.

Tabla 6-3 Test Jarque-Bera para alcalinidad en proceso intermedio y terminado

```
> jarque.bera.test(Alcalinidad.Intermedio)

      Jarque Bera Test

data:  Alcalinidad.Intermedio
X-squared = 5.645, df = 2, p-value = 0.05946

> jarque.bera.test(Alcalinidad.PT)

      Jarque Bera Test

data:  Alcalinidad.PT
X-squared = 20.488, df = 2, p-value = 3.557e-05
```

Elaboración: Diego Carrillo – Software R

Dado que gráficamente los valores no tienen a una distribución normal, se tornó necesario buscar por medio de la raíz cuadrada de la variable alcalinidad la normalidad de los datos, con ello, y soportados con el test de Jarque- Bera, se muestra la siguiente tabla en donde se puede comprobar la normalidad de los datos ya que en ambas etapas del proceso se obtuvieron p- value mayor a 0.05, lo cual indica que al realizarlos cuadráticos los datos siguen una forma normal.

Tabla 7-3 Test Jarque-Bera para alcalinidad cuadrática.

```
> raiz_Alintermedio=sqrt(Alcalinidad.Intermedio)
> raiz_AlPT=sqrt(Alcalinidad.PT)
> jarque.bera.test(raiz_Alintermedio)

      Jarque Bera Test

data:  raiz_Alintermedio
X-squared = 1.1827, df = 2, p-value = 0.5536

> jarque.bera.test(raiz_AlPT)

      Jarque Bera Test

data:  raiz_AlPT
X-squared = 1.1084, df = 2, p-value = 0.5745
```

Elaboración: Diego Carrillo – Software R

3.4. Determinación de contenido de cloruro

Los resultados obtenidos de esta variable, fueron ejecutados bajo la norma técnica ecuatoriana (INEN-ISO457:1983, 2014); mediante una titulación argentométrica después de la descomposición de una porción de ensayo y separación de ácidos grasos por filtración. De la misma manera que en las dos variables anteriores, para este caso se procede a ejecutar la estadística descriptiva y valorar el comportamiento de los resultados. A continuación, se muestran los datos recopilados para las dos etapas del proceso.

Tabla 8-3 Encabezado de datos de cloruros

```
> head(jabonesCl)
  Cloruro.Intermedio Cloruro.terminado
1          0.1621671          0.1471921
2          0.1472421          0.1310704
3          0.1611072          0.1318700
4          0.1474217          0.1472950
5          0.1592722          0.1325443
6          0.1459162          0.1460926
```

Elaboración: Diego Carrillo – Software R

Luego, bajo estadísticos sencillos se visualizan el mínimo, máximo, cuartiles, media y mediana de esta variable para las dos etapas del proceso; en donde de una manera global se puede observar desde ya, que en ambas etapas, la media y la desviación estándar son muy similares.

Tabla 9-3 Estadísticos descriptivos básicos para cloruros

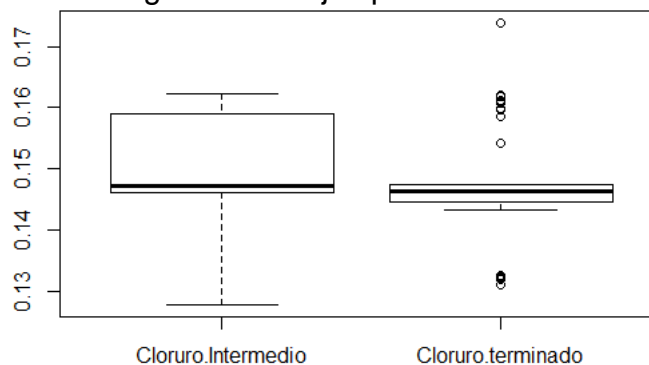
```
> summary(jabonesCl)
Cloruro.Intermedio Cloruro.terminado
Min.      :0.1278    Min.      :0.1311
1st Qu.  :0.1462    1st Qu.  :0.1446
Median   :0.1472    Median   :0.1462
Mean     :0.1491    Mean     :0.1452
3rd Qu.  :0.1590    3rd Qu.  :0.1474
Max.     :0.1622    Max.     :0.1739
```

Elaboración: Diego Carrillo – Software R

De los datos observados en la **tabla 8-3** se explica que para el proceso de cloruros en la etapa de proceso intermedio se tiene como mínimo un valor de 0.127% y como máximo un 0.162% de NaCl, mostrando valores muy similares en la etapa de proceso terminado, adicionalmente con una mediana que indica que el 50% de las muestras analizadas tienen un porcentaje de NaCl menor a 0.147% y 0.146% para las etapas de intermedio y terminado respectivamente.

Al realizar un diagrama de cajas, para la variable de cloruros en el gráfico 7-3 se observa gran cantidad de valores aberrantes en la etapa de producto terminado y no teniendo relación los valores en ambas etapas, estimando desde esta evaluación individual que va a ser baja la correlación existente en la etapa de intermedio y terminado para esta variable.

Gráfico 7-3 Diagrama de cajas para la variable de cloruros

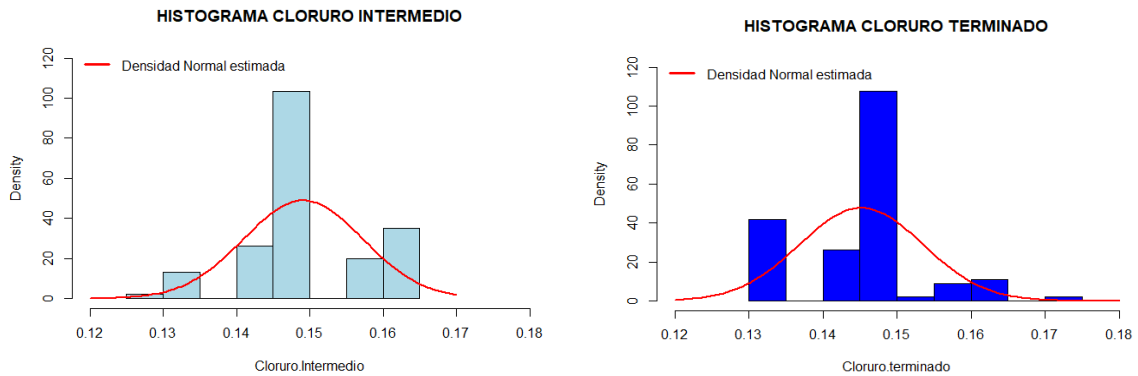


Elaboración: Diego Carrillo – Software R

Con la ayuda de los gráficos de histograma y una línea de densidad, se observa si nuestros datos para las dos etapas del proceso se asemejan a una distribución

normal; en los siguientes gráficos si bien es cierto el histograma no está distribuido de una forma uniforme, la línea de densidad toma una característica a una distribución normal, lo cual se comprobará a continuación:

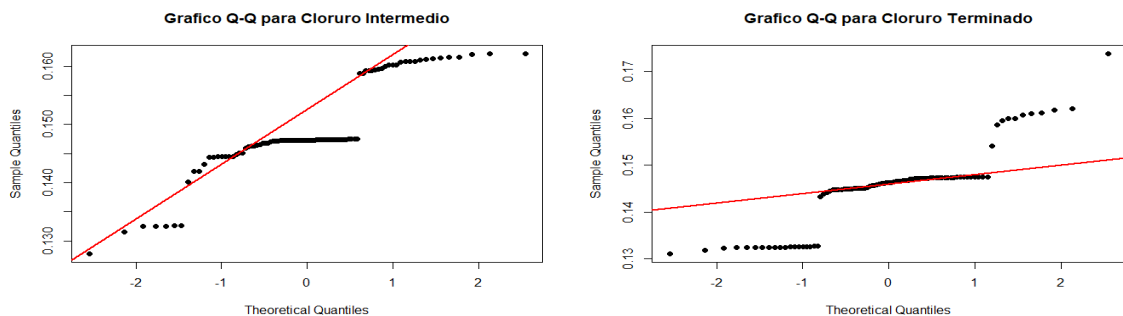
Gráfico 8-3 Histogramas para cloruros en proceso intermedio y terminado



Elaboración: Diego Carrillo – Software R

Por medio del gráfico la variable cloruros para cada proceso (intermedio y terminado), se observa al compararlos que ambos procesos tienen gran similitud en la distribución de sus datos al igual que lo observado en el histograma, pero al usar una línea de normalidad, los datos no se terminan ajustando por su agrupación característica que tienen.

Gráfico 9-3 Gráficos QQ para cloruro en proceso intermedio y terminado



Elaboración: Diego Carrillo – Software R

La prueba de bondad de ajuste “Test de Jarque-Bera”, realizada a continuación, demuestra que los datos tienen la asimetría de una distribución normal, ya que los resultados obtenidos del P-value para el proceso intermedio y terminado es de 0.939 y 0.0737 respectivamente; comprobando el supuesto de normalidad, por lo cual esta variable será analizada a profundidad en el próximo capítulo.

Tabla 10-3 Test Jarque-Bera para cloruro en proceso intermedio y terminado

```
> jarque.bera.test(Cloruro.Intermedio)

      Jarque Bera Test

data:  Cloruro.Intermedio
X-squared = 0.12402, df = 2, p-value = 0.9399

> jarque.bera.test(Cloruro.terminado)

      Jarque Bera Test

data:  Cloruro.terminado
X-squared = 5.2131, df = 2, p-value = 0.07379
```

Elaboración: Diego Carrillo – Software R

3.5. Determinación de título

El proceso para la determinación de título en grasas, está soportado bajo la norma técnica ecuatoriana (INEN-ISO935:1988, 2013); en donde por medio del enfriamiento con agitación continua de ácidos grasos preparados se puede observar la temperatura de solidificación denominado como título.

Al igual que las otras variables, a continuación, detallo los datos con los que se trabajó.

Tabla 11-3 Encabezado de datos de título

```
> head(jabonesTitu)
  Titulo.Intermedio Titulo.Terminado
1                45.1                44.9
2                45.0                44.5
3                44.2                44.8
4                44.5                44.9
5                44.0                44.7
6                42.5                44.5
```

Elaboración: Diego Carrillo – Software R

La tabla 12-3, muestra un resumen de los principales estadísticos descriptivos de la variable Título en donde se puede visualizar el comportamiento básico de esta variable.

Tabla 12-3 Estadísticos descriptivos básicos para título

```

> summary(jabonesTitu)
Titulo.Intermedio Titulo.Terminado
Min. :41.60      Min. :42.50
1st Qu.:44.80    1st Qu.:44.80
Median :45.00    Median :44.90
Mean :44.85      Mean :44.81
3rd Qu.:45.20    3rd Qu.:45.00
Max. :46.50      Max. :46.00

```

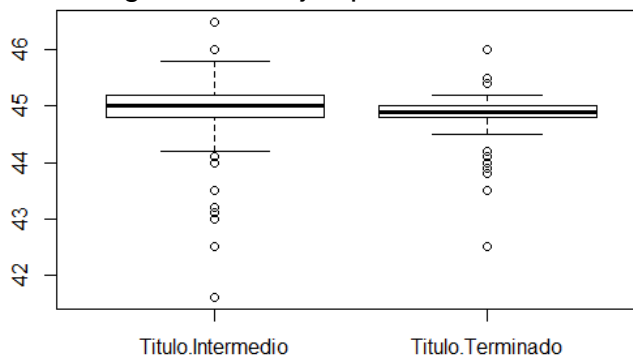
Elaboración: Diego Carrillo – Software R

Soportados en los datos de la tabla 12-3 se puede observar que para el proceso de título en la etapa de proceso intermedio, tiene como mínimo un valor de 41.6°C y como máximo un valor de 46.5°C en que existe cambio de fase, mostrando una mediana que indica que el 50% de las muestras analizadas presentan valores menores de 45°C.

En la misma tabla, se muestran los resultados obtenidos en el proceso terminado, que indican que se tiene como mínimo 42.5°C y como máximo 46°C con una mediana indicando que el 50% de las muestras observadas tienen valores por debajo del 44.9°C.

En el gráfico 10-3 podemos visualizar un diagrama de cajas, el cual demuestra la dispersión de los valores de la variable título en las dos etapas del proceso, observando que los valores tienen mucha dispersión y no se distribuyen en un solo rango, no obstante se observa que tienen relación ambas etapas en el comportamiento de sus datos.

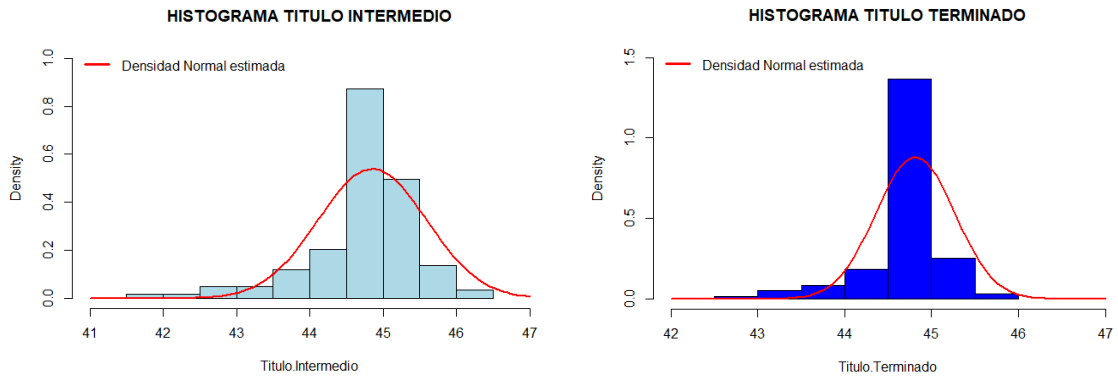
Gráfico 10-3 Diagrama de cajas para la variable de alcalinidad



Elaboración: Diego Carrillo – Software R

Por medio de un histograma, al igual que lo realizado al resto de variables de estudio y con ayuda de una línea de densidad, se observa el comportamiento de la distribución de los datos y tener la noción si estamos trabajando bajo una distribución normal.

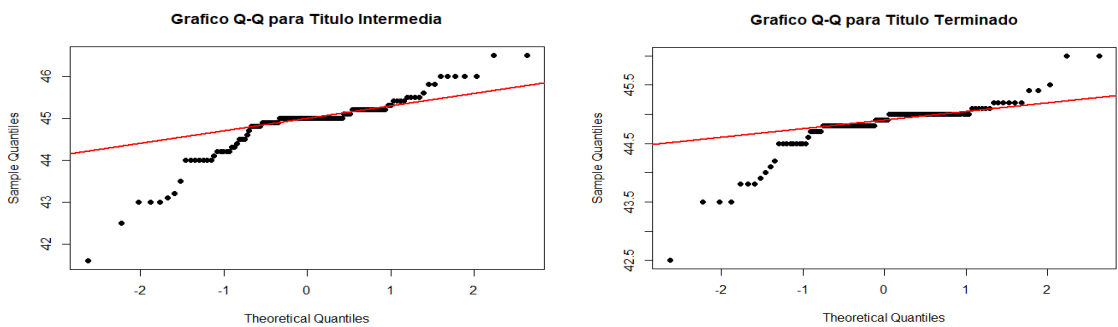
Gráfico 11-3 Histogramas para título en proceso intermedio y terminado.



Elaboración: Diego Carrillo – Software R

Por medio de un gráfico de la variable de título para cada proceso (intermedio y terminado), como lo hemos realizado en las variables anteriores, mostramos si los datos tienen una distribución normal.

Gráfico 12-3 Gráficos QQ para título en proceso intermedio y terminado



Elaboración: Diego Carrillo – Software R

Al observar el gráfico 12-3, denotamos que las curvas de la variable título no se ajustan a la distribución normal; pero para poder tener la certeza de aquello, es necesario utilizar la prueba de bondad de ajuste “Test de Jarque-Bera”, la cual la detallamos a continuación.

La prueba indica que la variable en ambos procesos, no tiene asimetría de una distribución normal, puesto que al tener un p-value inferior 0.05 se rechaza el FCNM

supuesto de normalidad, para esta situación, en el próximo capítulo se procederá a realizar un estudio exhaustivo, donde la correlación de estas dos etapas del proceso soporten el modelo de predicción lineal. Cabe indicar que también se realizaron modelos utilizando la forma cuadrática y logarítmica y no se portaron los datos de una forma normal.

Tabla 13-3 Test Jarque-Bera para título en proceso intermedio y terminado.

```
> jarque.bera.test(Titulo.Intermedio)

      Jarque Bera Test

data:  Titulo.Intermedio
X-squared = 101.59, df = 2, p-value < 2.2e-16

> jarque.bera.test(Titulo.Terminado)

      Jarque Bera Test

data:  Titulo.Terminado
X-squared = 285.82, df = 2, p-value < 2.2e-16
```

Elaboración: Diego Carrillo – Software R

3.6. Determinación de humedad

Los lineamientos normalizados que se utilizaron para obtener los resultados de los valores de humedad, figuran en la norma técnica ecuatoriana (INEN818:2013, 2013); en donde, por diferencia de peso resultante del secado y/o evaporación en estufa se determinar la pérdida de masa de sustancias volátiles.

Los valores a ser estudiados en para esta variable, se detallan en el siguiente cuadro para los dos procesos de estudio.

Tabla 14-3 Encabezado de datos de humedad

```
> head(jabonesHu)
  Humedad.Intermedio Humedad.terminado
1             28.840             25.025
2             29.210             24.755
3             29.140             24.415
4             29.210             24.635
5             28.965             24.520
6             28.575             24.690
```

Elaboración: Diego Carrillo – Software R

Los valores resultantes de la estadística descriptiva desarrollada, se detallan en el siguiente cuadro.

Tabla 15-3 Estadísticos descriptivos básicos para humedad

```
> summary(jabonesHu)
Humedad.Intermedio Humedad.terminado
Min.      :27.92      Min.      :23.64
1st Qu.:28.59      1st Qu.:24.48
Median  :28.95      Median  :24.76
Mean    :28.97      Mean    :24.81
3rd Qu.:29.23      3rd Qu.:24.99
Max.    :30.82      Max.    :26.60
```

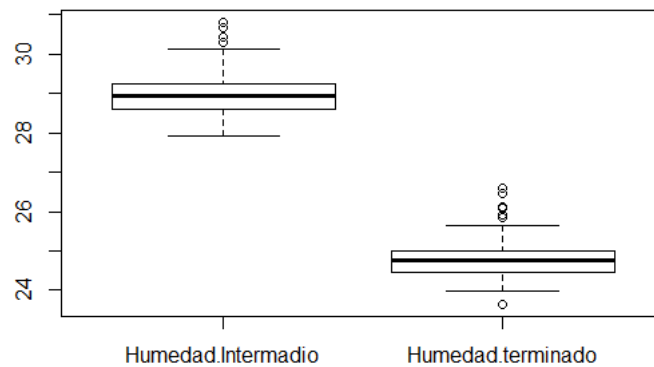
Elaboración: Diego Carrillo – Software R

Con los datos resultantes de la **tabla 15-3** se puede evidenciar que, para el análisis físico químico de humedad en la etapa de proceso intermedio, tiene como mínimo un valor de 27.92% y como máximo un 30.82% de material volátil, mostrando una mediana que indica que el 50% de las muestras analizadas presentan un porcentaje de material volátil menores a 28.95%.

Examinando la misma tabla, se muestran los resultados obtenidos en el proceso terminado, que indican que se tiene como mínimo 23.64% y como máximo 26.6% con una mediana señalando que el 50% de las muestras observadas tienen valores por debajo del 24.76%.

Mostrando los datos en un diagrama de cajas, para la variable de humedad en el gráfico 13-3, se observa que los valores en el proceso terminado son inferiores, esto se debe a que en la operación de secado, se elimina gran parte de su humedad. Para esta variable también podemos observar valores aberrantes, pero si se distribuyen en un solo rango cada etapa.

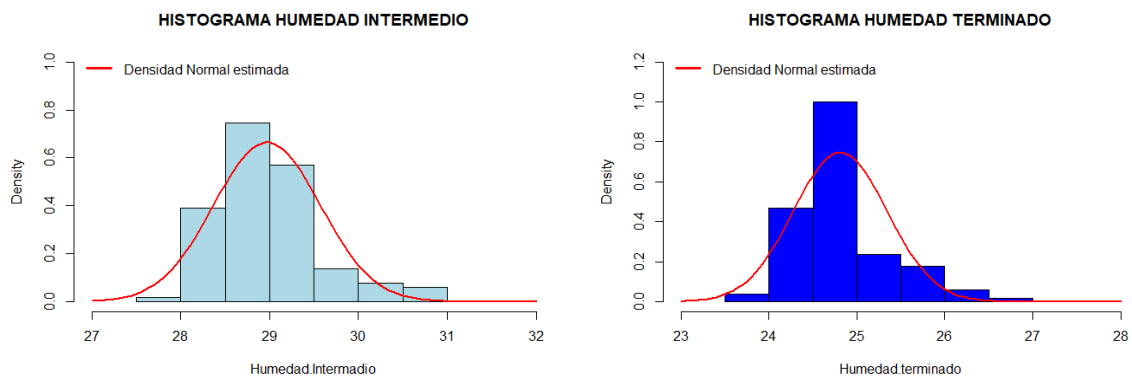
Grafico 13-3 Diagrama de cajas para la variable de humedad



Elaboración: Diego Carrillo – Software R

Con la finalidad de apreciar de mejor manera la distribución y comportamiento de los datos de esta variable, se postula un histograma junto con la línea de densidad, donde se observa que los datos no generan una distribución normal simétrica.

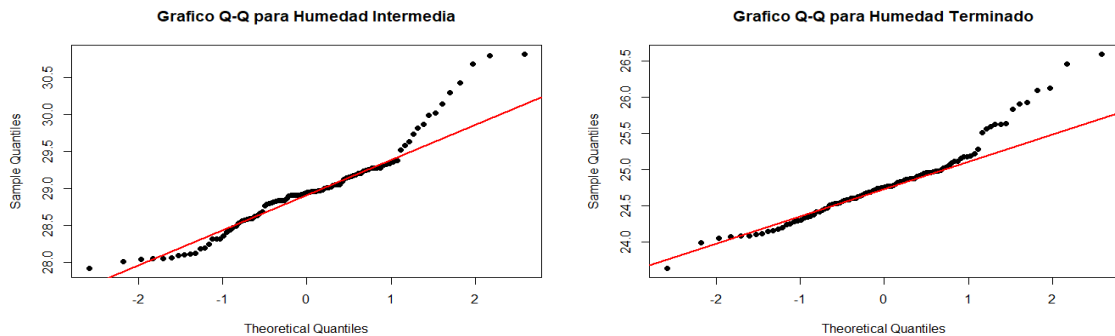
Gráfico 14-3 Histogramas para humedad en proceso intermedio y terminado



Elaboración: Diego Carrillo – Software R

Como soporte de lo anterior indicado, se visualizan los valores de humedad para cada proceso (intermedio y terminado) observando gráficamente si existe normalidad de nuestros datos, y siendo así, las líneas deben ajustarse.

Gráfico 15-3 Gráficos QQ para humedad en proceso intermedio y terminado.



Elaboración: Diego Carrillo – Software R

Como podemos observar en los gráficos 15-3 para el proceso intermedio y terminado no se ajustan visualmente a una distribución normal, por lo cual de la misma manera realizada con las otras variables, se procede a realizar la prueba de bondad de ajuste “Test de Jarque-Bera”, la cual nos indica si existiese asimetría de una distribución normal.

Los resultados de la prueba demuestran que los datos no se ajustan a una distribución normal teniendo un P-value en ambos procesos, inferior a 0.05 no aceptando el supuesto de normalidad.

Tabla 16-3 Test Jarque-Bera para humedad en proceso intermedio y terminado

```
> jarque.bera.test(Humedad.Intermedio)

Jarque Bera Test

data: Humedad.Intermedio
X-squared = 18.432, df = 2, p-value = 9.946e-05

> jarque.bera.test(Humedad.terminado)

Jarque Bera Test

data: Humedad.terminado
X-squared = 23.384, df = 2, p-value = 8.359e-06
```

Elaboración: Diego Carrillo – Software R

CAPITULO 4

RESULTADOS

En el capítulo 3 se realizó el estudio por cada variable con el fin de observar el comportamiento individual y adicionalmente determinar si tenían la condición de normalidad y así tener valores soportes que nos orienten en este capítulo para establecer una recta de regresión lineal simple que ayude al proceso, lo cual es el objetivo de este estudio.

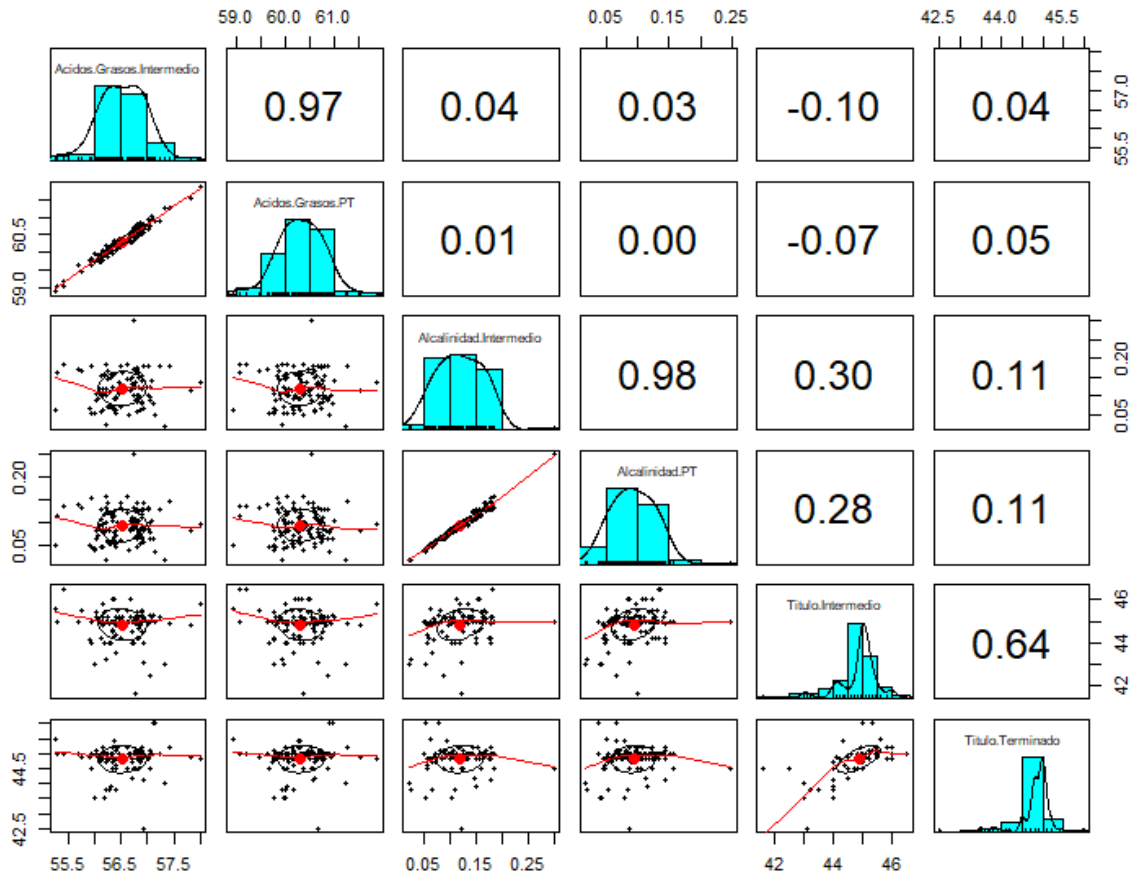
Pese a que para algunas variables no pudo comprobarse el supuesto de normalidad, en este capítulo se procederá a realizar una comparación entre las dos etapas del proceso (intermedio y terminado) de todas las variables para observar correlación existente entre sí.

2.1. Correlación de las variables de análisis

El coeficiente de correlación nos va a permitir medir la fuerza de asociación existente entre las variables del proceso intermedio con respecto al proceso terminado en una relación lineal. Para este caso serán analizadas de manera global todas las variables entre sí aquellas que tienen la misma cantidad de n observaciones; de la misma manera, se medirá la fuerza de asociación para cada variable independiente (variable en el proceso dependiente), frente al mismo análisis en el proceso de producto terminado.

Para conseguir el gráfico antes indicado se utiliza la herramienta en el software R, en el cual se muestran las variables con la misma cantidad de n observaciones, y para las otras dos variables se usa la misma herramienta de manera individual.

Gráfico 1-4 Correlación de las variables del proceso intermedio y terminado con n iguales.

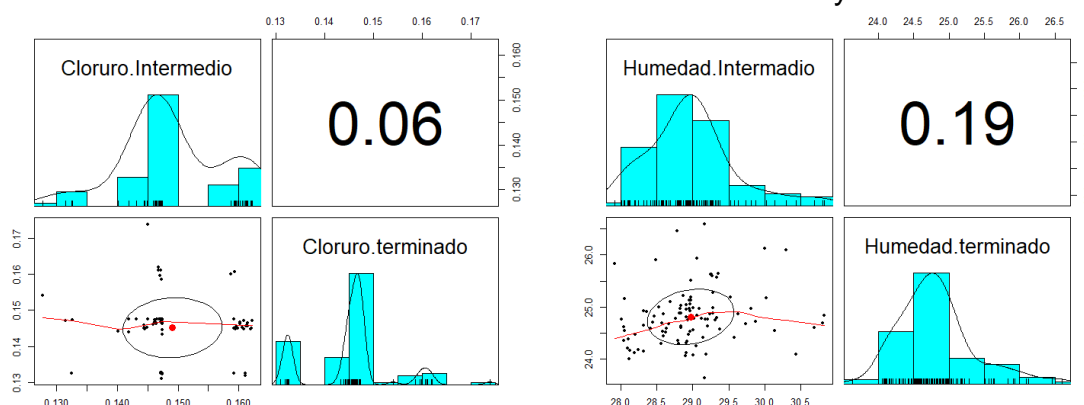


Elaboración: Diego Carrillo – Software R

En el gráfico 11-4 se puede observar la correlación que existe entre variables entre sí en las dos etapas del proceso; donde se pueden apreciar que existe un 97% de correlación en ácidos grasos, 98% de correlación en la variable alcalinidad y menor correlación en la variable del análisis de título con un 64% en las dos etapas de proceso, pero que aun así esta última puede ser analizada.

Mientras que el gráfico 12-4 nos muestra que no existe correlación entre en las etapa intermedia y terminada de las variables cloruros y humedad, por lo cual no se creará un modelo lineal de regresión predictorio para ellas.

Gráfico 17-4 Correlación de las variables cloruros y humedad



Elaboración: Diego Carrillo – Software R

4.2. Análisis de regresión para la variable de ácidos grasos.

Continuando con el análisis, a continuación se describe la ecuación de regresión lineal la cual es objeto de este estudio, en donde se crea un modelo de ácidos grasos llamado “modelo AG”, el mismo como resultante muestra los valores de beta cero (β_0) y beta uno (β_1) buscados.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \epsilon$$

Tabla 17-4 Detalle del modelo de ácidos grasos

```
> summary(modeloAG)

Call:
lm(formula = Acidos.Grasos.PT ~ Acidos.Grasos.Intermedio, data = jabonesTotal)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.187810 -0.078721  0.001955  0.090478  0.194552

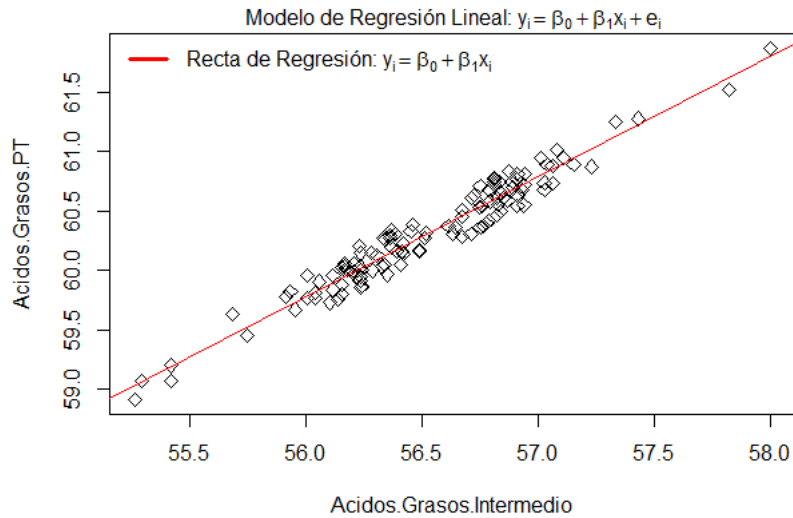
Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)    2.88472    1.24479    2.317  0.0222 *
Acidos.Grasos.Intermedio 1.01590    0.02202   46.136 <2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.1083 on 115 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.9487,    Adjusted R-squared:  0.9483
F-statistic: 2128 on 1 and 115 DF, p-value: < 2.2e-16
```

Elaboración: Diego Carrillo – Software R

A continuación, gráficamente se muestra la recta de regresión junto con los puntos de las observaciones alrededor de ella, en donde se comprueba que linealmente existe una línea recta ajustando los puntos de las observaciones de esta variable.

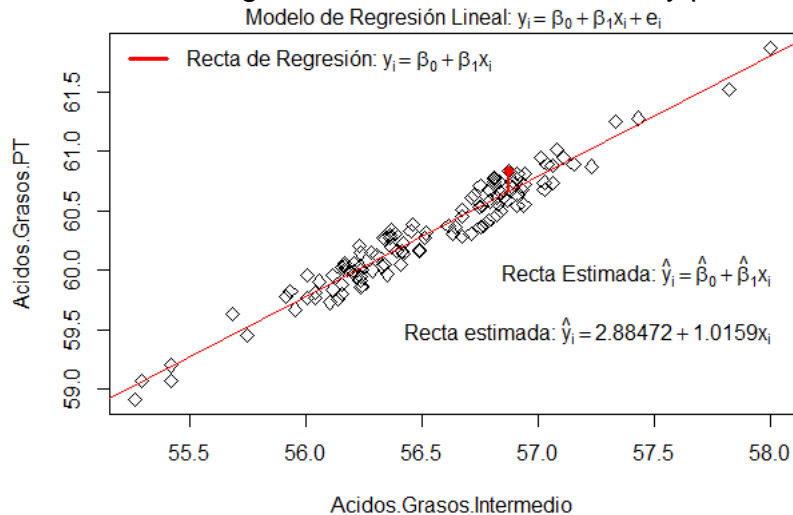
Gráfico 18-4 Recta de regresión de ácidos grasos



Elaboración: Diego Carrillo – Software R

Soportados en la tabla 17-4, en el siguiente gráfico podemos determinar los valores de la ecuación de regresión que nos permite predecir los valores de esta variable en el proceso de producto terminado; quedando un valor de β_0 de 2.8847 y de β_1 de 1.0159 teniendo como resultado la recta estimada con los valores antes mencionados.

Gráfico 19-4 Recta de regresión estimada con valores y punto sobre la recta



Elaboración: Diego Carrillo – Software R

Podemos observar a continuación el análisis de ANOVA (por sus siglas en inglés, ANalysis Of VAriance), dado que con el objetivo de determinar la pertinencia de la ecuación de regresión hallada, es necesario obtener valores que nos permitan

desarrollar un análisis de bondad de ajuste de la recta con el fin de demostrar estadística significativa entre los dos procesos con la misma variable.

Tabla 18-4 Detalle de análisis ANOVA para ácidos grasos

```

> anova(modeloAG)
Analysis of Variance Table

Response: Acidos.Grasos.PT

              Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
Acidos.Grasos.Intermedio  1 24.9527 24.9527  2128.5 < 2.2e-16 ***
Residuals                115  1.3482  0.0117
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

Elaboración: Diego Carrillo – Software R

Con el cuadro de análisis de ANOVA mostrado en la tabla 18-4, se puede analizar que el valor de F_0 es alto (2128.5) siendo mayor a $F(\alpha, 1, n-2)$, por lo cual se rechaza la hipótesis nula concluyendo que se tiene un β_1 significativo.

$$H_0: \beta_1 = 0$$

$$H_1: \beta_1 \neq 0$$

Por otro lado se puede visualizar los valores de la suma de los cuadrados de los errores (1.3482) y la suma de los cuadrados de la regresión (24.9527), los cuales sumados obtenemos la suma total de los cuadrados (26.3009).

$$\begin{aligned}
 &SSR=24.9527 \\
 &SSE=1.3482 \\
 &SST=24.9527+1.3482 =26.3009 \\
 &rcuadradoAG=SSR/SST \\
 &rcuadradoAG=0.9487394
 \end{aligned}$$

Siendo **rcuadradoAG** el coeficiente de determinación, lo cual nos demuestra que la ecuación de regresión planteada, explica un 94.87% los valores de ácidos grasos en la etapa de producto terminado de acuerdo a los valores planteados en el proceso intermedio; este mismo dato se puede visualizar en el summary realizado para esta variable (*Multiple R-squared*) de la tabla 17-4 .

4.2.1. Predicción del intervalo estimado de un valor de Y dado un valor de X para la variable de ácidos grasos.

Con la finalidad de estimar los posibles intervalos de predicción para cada valor individual de X, se presenta a continuación la siguiente ecuación, en donde el coeficiente de confianza es de $1-\alpha$ y $t_{\alpha/2}$ basado en una distribución t con $n - 2$ grados de libertad.

$$\hat{y} = t_{\alpha/2} * S_{ind}$$

Teniendo un estimado de la desviación estándar de un valor individual de \hat{y} de:

$$S_{ind} = S \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(X_0 - \mu)^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \mu)^2}}$$

Por consiguiente, se tiene de manera global la varianza asociada a la variable \hat{y} como estimador de un valor individual de y; en donde se visualiza la varianza de los valores individuales de y respecto al promedio, sumado a la varianza asociada al uso de \hat{y} para estimar y.

$$S_{ind}^2 = S^2 + S_{\hat{y}}$$

Soportados nuevamente el en software R, se procede a desarrollar la estimación de la varianza individual, tomando como referencia el valor de $x=56.939$

Tabla 19-4 Detalle de varianza individual

```
MEDIAAG=mean(Acidos.Grasos.Intermedio)
ABC=sum((Acidos.Grasos.PT-MEDIAAG)^2)

b0=2.88472
b1=1.01590
x=56.93905
y=b0+b1*x
y
[1] 60.7291
#estimacion de la varianza individual
S.ind=sqrt(SSE/115)*(sqrt(1+1/117+((x-MEDIAAG)^2/ABC)))
S.ind
[1] 0.1087421
```

Elaboración: Diego Carrillo – Software R

Soportados en el modelo encontrado de ácidos grasos, se procede a aplicar la fórmula para predecir los intervalos, manejándonos con el siguiente patrón: `predic.int.conf=predict(modeloAG,newdata=jabonesTotal,interval="prediction",level=0.95)`

el cual indica adicionalmente que trabajaremos con una confianza del 95%, obteniendo la siguiente tabla:

Tabla 20-4 Predicciones de intervalos de confianza para cada valor individual

```
> predic.int.conf
      fit      lwr      upr
1  60.72906 60.51293 60.94518
2  60.53623 60.32063 60.75183
3  60.63836 60.42252 60.85420
4  60.67723 60.46127 60.89318
5  60.49624 60.28071 60.71177
6  60.85218 60.63555 61.06881
7  60.53727 60.32167 60.75288
8  60.87261 60.65589 61.08934
9  60.02027 59.80452 60.23602
10 60.01461 59.79885 60.23037
11 59.68845 59.47141 59.90549
12 60.01461 59.79885 60.23037
n
```

Elaboración: Diego Carrillo – Software R

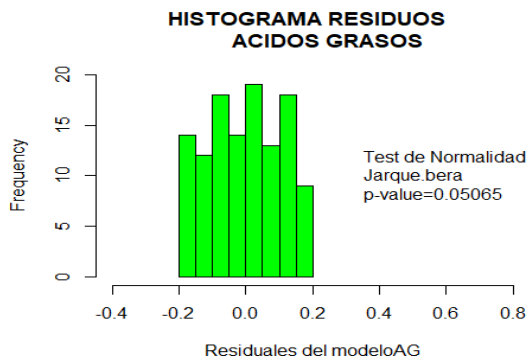
Se consigue revelar con una confianza del 95%, que cuando el valor de ácidos grasos en proceso intermedio está en 56.93%, en el proceso de producto terminado estará entre 60.51% y 60.94%.

4.2.2. COMPROBACION DE LOS SUPUESTOS DEL ERROR PARA LA VARIABLE DE ÁCIDOS GRASOS.

4.2.2.1. Normalidad de los residuos del modelo de ácidos grasos

En el gráfico 20-4, se muestra la prueba de Jaque Bera para los residuos del modelo planteado de esta variable (modeloAG), obteniendo inicialmente los valores de los residuos del modelo para luego tener el valor de p-value de 0.0506, el cual comprueba el supuesto de normalidad de los residuos. Adicionalmente un Histograma para observar la distribución de los residuos obtenidos.

Gráfico 20 -4 Histograma de Residuos AG y Prueba de Jarque Bera



```
> r_AG=residuals(modeloAG)
> jarque.bera.test(r_AG)

Jarque Bera Test

data: r_AG
X-squared = 5.9655, df = 2, p-value = 0.05065
```

Elaboración: Diego Carrillo – Software R

4.2.2.2. Homocedasticidad

Con el Test de homocedasticidad de Breusch-Pagan presentado en la Tabla 21-4, se obtiene un valor de p-value de 0.655 el cual permite concluir que los residuos son homocedásticos.

Tabla 21-4 Test de Breusch-Pagan

```
> bptest(modeloAG)

studentized Breusch-Pagan test

data: modeloAG
BP = 0.19938, df = 1, p-value = 0.6552
```

Elaboración: Diego Carrillo – Software R

4.2.2.3. No correlación de los Residuos

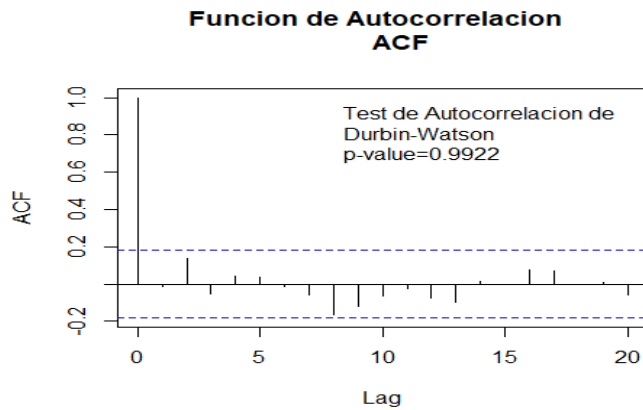
El gráfico 21-4 muestra la función de autocorrelación ACF de los residuos del modeloAG, en donde con ayuda de del test de Durbin-Watson, se puede apreciar un valor p-value de 0.992 el cual nos indica que no existe autocorrelación de los residuos. Con el cumplimiento de este último supuesto, comprobamos que el modelo planteado para ácidos grasos cumple y funciona como un modelo predictivo confiable.

Gráfico 21-4 Función de autocorrelación ACF y Prueba de Durbin-Watson

```
> dwtest(modeloAG,alternative="two.sided")

Durbin-Watson test

data: modeloAG
DW = 2.0031, p-value = 0.9922
alternative hypothesis: true autocorrelation is not 0
```



Elaboración: Diego Carrillo – Software R

4.3. Análisis de regresión para la variable de alcalinidad

Para el análisis de regresión lineal de esta variable, llamamos a la siguiente ecuación, para crear un modelo de alcalinidad llamado “modelo AL”, con el cual podremos apreciar los valores de beta cero (β_0) y beta uno (β_1) buscados y estimar la recta.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \epsilon$$

Como pudimos observar en el capítulo anterior, en esta variable se necesitó de buscar la raíz de los datos con la finalidad de comprobar la normalidad de los datos en las dos etapas del proceso, no obstante, para la creación del modelo, nos ayudaremos con la verificación de los supuestos de los errores (explicados más adelante) mediante la raíz de los residuos y el logaritmo de los mismos.

En la tabla 22-4, podemos observar un modelo ya mejorado el cual se ajustó de mejor manera a los supuestos de los residuos.

Tabla 22-4 Detalle del modelo de alcalinidad

```

> summary(modeloAL)

Call:
lm(formula = IAL_PT ~ IAL_inter, data = jabonesTotal)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.114762 -0.044969  0.003542  0.055204  0.098315

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -0.29988    0.02902  -10.33  <2e-16 ***
IAL_inter    0.97392    0.01291   75.43  <2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.06 on 115 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.9802,    Adjusted R-squared:  0.98
F-statistic: 5689 on 1 and 115 DF,  p-value: < 2.2e-16

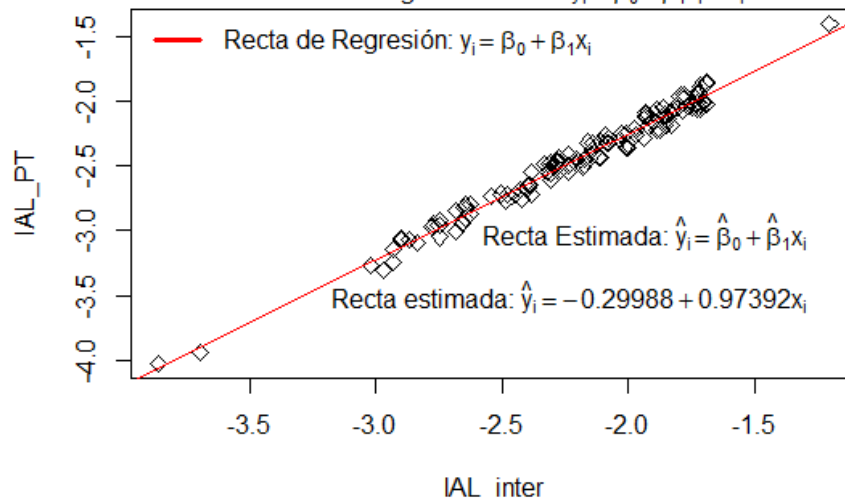
```

Elaboración: Diego Carrillo – Software R

Como se puede apreciar, se planteó el modelo con el logaritmo de ambas variables para poder tener el modeloAL, con ayuda del comando summary, no solo se aprecian los valores de los betas buscados, sino que se pueden apreciar varios estadísticos que nos ayudan a soportar la pertinencia o no de la ecuación hallada para esta variable; a continuación se representa mediante un gráfico la recta de regresión con los puntos de las observaciones alrededor de ella, en donde se comprueba que linealmente existe una línea recta ajustando los puntos de las observaciones.

Gráfico 22-4 Recta de regresión de alcalinidad

Modelo de Regresión Lineal: $y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + e_i$



Elaboración: Diego Carrillo – Software R

Basados en la tabla 22-4, se realiza un gráfico en donde son representados los valores de la ecuación de regresión que nos permite predecir los valores de esta variable en el proceso de producto terminado; quedando un valor de β_0 de -0.2998

y de β_1 de 0.9739 teniendo como resultado la recta estimada con los valores antes mencionados. Una vez que el modeloAL es formado por el logaritmo de sus variables, es notorio que gráficamente los puntos de los residuos se ajustan muy bien a la recta a lo que en este caso no vamos a graficar la distancia del punto sobre la recta de regresión con un punto muestra, puesto que no sería muy notorio.

Con el propósito de determinar la pertinencia de la ecuación de regresión hallada se plantea el análisis de ANOVA en donde se obtienen valores que nos permiten demostrar estadística significativa entre los dos procesos con la misma variable.

Tabla 23-4 Detalle de análisis ANOVA para alcalinidad

```

> anova(modeloAL)
Analysis of Variance Table

Response: lAL_PT
      Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
lAL_inter  1 20.482  20.4820   5689.4 < 2.2e-16 ***
Residuals 115  0.414  0.0036
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

Elaboración: Diego Carrillo – Software R

Obtenido el detalle del análisis ANOVA de la tabla 23-4, se muestra que el valor de F_0 es alto (5689.4) siendo mayor a $F(\alpha, 1, n-2)$, por lo cual se rechaza la hipótesis nula concluyendo que se tiene un β_1 significativo.

$$H_0: \beta_1 = 0$$

$$H_1: \beta_1 \neq 0$$

Adicionalmente se visualizan los valores de la suma de los cuadrados de los errores (0.414) y la suma de los cuadrados de la regresión (20.482), los cuales sumados obtenemos la suma total de los cuadrados (20.896).

$$\begin{aligned}
 \text{SSR} &= 20.482 \\
 \text{SSE} &= 0.414 \\
 \text{SST} &= 20.482 + 0.414 = 20.896 \\
 \text{rcuadradoAl} &= \text{SSR} / \text{SST} \\
 \text{rcuadradoAl} &= 0.98018
 \end{aligned}$$

Finalmente con ayuda del coeficiente de determinación **rcuadradoAl**, observamos que la ecuación de regresión planteada, explica un 98.02% los valores

de alcalinidad en la etapa de producto terminado de acuerdo a los valores planteados en el proceso intermedio; este mismo dato se puede visualizar en el summary realizado para esta variable (*Multiple R-squared*) de la tabla 22-4.

4.3.1. Predicción del intervalo estimado de un valor de Y dado un valor de X para la variable de alcalinidad

Al igual que la variable anterior, se torna necesario estimar los posibles intervalos de predicción para cada valor individual de X, por lo cual se presenta a continuación la ecuación que su coeficiente de confianza es de $1-\alpha$ y $t_{\alpha/2}$ basado en una distribución t con $n - 2$ grados de libertad.

$$\hat{y} = t_{\alpha/2} * S_{ind}$$

Teniendo un estimado de la desviación estándar de un valor individual de \hat{y} de:

$$S_{ind} = S \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(X_0 - \mu)^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \mu)^2}}$$

Con lo anterior indicado podemos mostrar que la varianza de un valor individual de y, será la varianza de los valores individuales de y respecto al promedio, sumado a la varianza asociada al uso de \hat{y} para estimar y.

$$S_{ind}^2 = S^2 + S_{\hat{y}}$$

Se procede a desarrollar la estimación de la varianza individual, tomando como referencia el valor de $x=\ln(0.1659)$

Tabla 24- 4 Detalle de varianza de alcalinidad

```
MEDIAAL=mean(lAL_inter)
ab=lAL_PT-MEDIAAL
ABC=sum(ab^2)
b0=-0.29988
x=log(0.1659)
b1=0.97392
y=b0+b1*x
y
[1] -2.049401
S.ind=sqrt(SSE/115)*(sqrt(1+1/117+((x-MEDIAAL)^2/ABC)))
S.ind
[1] 0.06043644
```

Elaboración: Diego Carrillo – Software R

Con el modelo de alcalinidad, se procede a buscar los intervalos de predicción utilizando como ayuda el siguiente comando: `predic.int.conf=predict(modeloAl,newdata=jabonesTotal,interval="prediction",level=0.95)` el cual indica que trabajamos con una confianza del 95%, obteniendo la siguiente tabla:

Tabla 25-4 Predicciones de intervalos de confianza para cada valor de alcalinidad

```
> predic.int.conf
```

| | fit | lwr | upr |
|----|-----------|-----------|-----------|
| 1 | -2.913689 | -3.033668 | -2.793711 |
| 2 | -1.473324 | -1.595397 | -1.351251 |
| 3 | -2.149968 | -2.269581 | -2.030355 |
| 4 | -2.718699 | -2.838265 | -2.599133 |
| 5 | -2.383674 | -2.503041 | -2.264306 |
| 6 | -2.683178 | -2.802692 | -2.563663 |
| 7 | -2.522581 | -2.641953 | -2.403210 |
| 8 | -2.220434 | -2.339940 | -2.100928 |
| 9 | -2.048825 | -2.168641 | -1.929008 |
| 10 | -2.859998 | -2.979841 | -2.740154 |
| 11 | -2.913592 | -3.033570 | -2.793614 |
| 12 | -2.859998 | -2.979841 | -2.740154 |
| n | | | |

Elaboración: Diego Carrillo – Software R

Entonces, con una confianza del 95% se puede decir que cuando el valor de alcalinidad en proceso intermedio está en 0.1659, en el proceso de producto terminado estará entre $e^{-2.168641}$ y $e^{-1.929008}$.

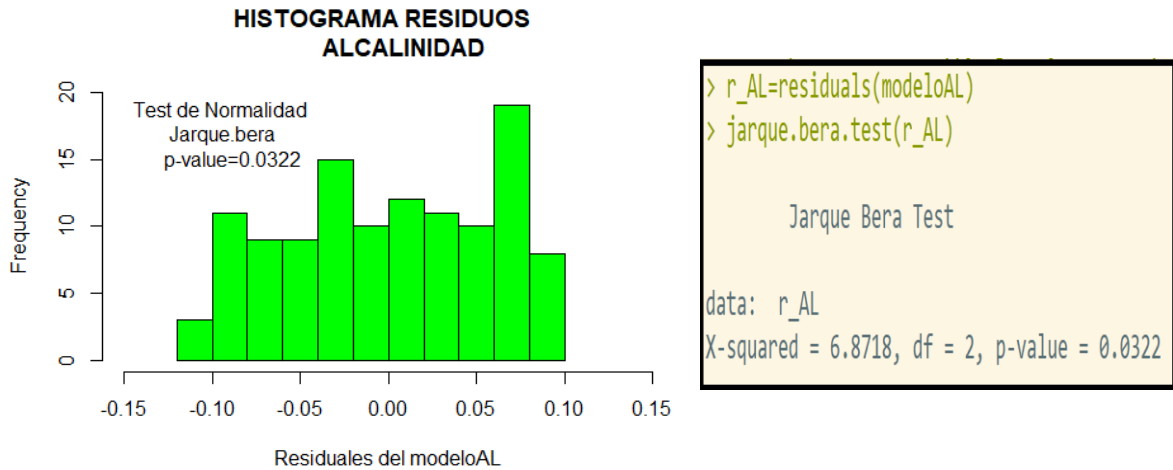
4.3.2. COMPROBACION DE LOS SUPUESTOS DEL ERROR PARA LA VARIABLE DE ALCALINIDAD.

4.3.2.1. Normalidad de los residuos del modelo de alcalinidad

A continuación se muestra en el gráfico 18-4, la prueba de Jaque Bera para los residuos del modelo planteado de esta variable (modeloAL), en donde refleja un resultado de p-value de 0.0322, el cual indica que no se comprueba el supuesto de normalidad de los residuos, esto puede darse a que se encontraron varios valores atípicos en las observaciones tomadas y que se ha realizado al 100% de los datos de un periodo continuo. Cabe mencionar que se probaron con varias propuestas

para el modelo realizándolos con raíz y logaritmo y que este modelo propuesto es el que mejor se ajusta. El histograma de igual manera comprueba que los valores se distribuyen en un cierto rango pero no necesariamente de una forma normal.

Gráfico 23-4 Histograma de Residuos alcalinidad y Prueba de Jarque Bera



Elaboración: Diego Carrillo – Software R

4.3.2.2. Homocedasticidad del modelo de alcalinidad

Soportando los datos del modelo con el Test de homocedasticidad de Breusch-Pagan mostrado en la Tabla 26-4, se obtiene un valor de p-value de 0.133 el cual permite concluir que los residuos son homocedásticos.

Tabla 26-4 Test de Breusch-Pagan

```

> bptest(modeloAL)

studentized Breusch-Pagan test

data: modeloAL
BP = 2.257, df = 1, p-value = 0.133

```

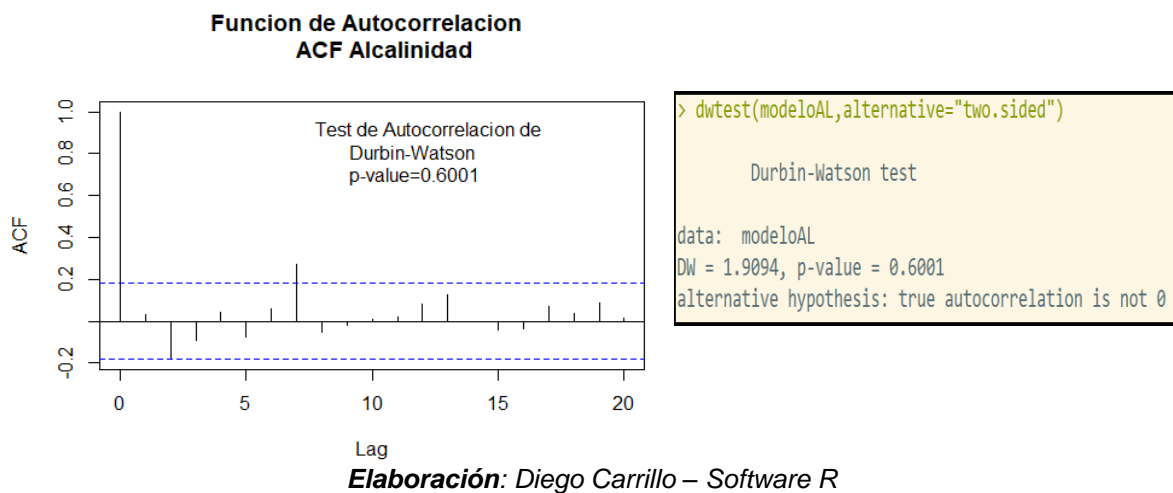
Elaboración: Diego Carrillo – Software R

4.3.2.3. No correlación de los Residuos del modelo de alcalinidad

El gráfico 19-4 se detalla el test de Durbin-Watson, en el cual se puede apreciar un valor p-value de 0.6001 que nos indica que no existe autocorrelación de orden uno

de los residuos, no obstante se puede apreciar en el gráfico de ACF que existen valores aberrantes que están por fuera de la línea, lo cual soporta lo anterior indicado al momento de realizar la prueba de normalidad. Frente a esta figura se puede realizar una verificación de los datos más exhaustiva para el estudio y eliminación de los valores aberrantes y obtener un modelo más robusto.

Gráfico 24-4 Función de autocorrelación ACF y Prueba de Durbin-Watson



4.4. Análisis de regresión para la variable de título

Pese a que esta variable, en el capítulo anterior fue analizada y no resultó con valores con una distribución normal de acuerdo al test de Jarque-Bera, se torna necesario que sea analizada en esta ocasión con la finalidad que con varias pruebas adicionales de bondad de ajuste determinen si es posible ajustar esta variable a un modelo de regresión lineal y/o sea considerada para otro tipo de regresión de necesitarse el caso.

Se crea un modelo para la variable título llamado “modelo TT”, en donde se estimarán valores para beta cero (β_0) y beta uno (β_1) para ajustar una recta con la ecuación de regresión lineal que mostramos a continuación.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \epsilon$$

Tabla 27-4 Detalle del modelo de títulos

```
> summary(modeloTT)

Call:
lm(formula = Titulo.Terminado ~ Titulo.Intermedio, data = jabonesTotal)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.62616 -0.07077  0.05085  0.12923  1.12923

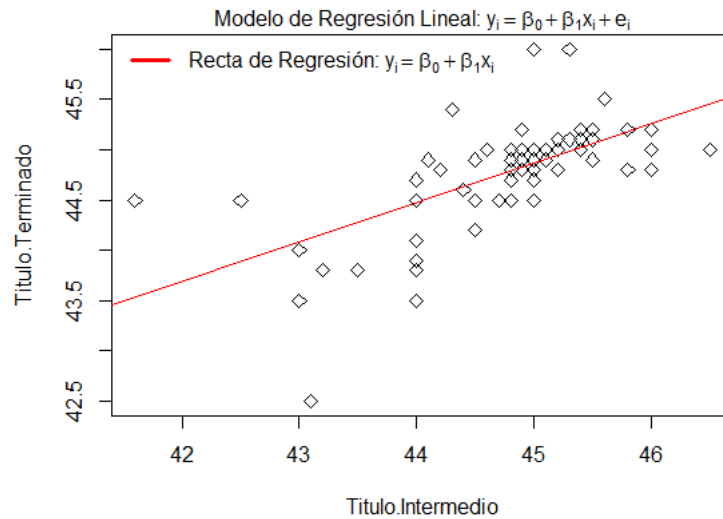
Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)   27.23520     1.96298   13.874 < 2e-16 ***
Titulo.Intermedio  0.39190     0.04376    8.956 7.01e-15 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.349 on 115 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.4109,    Adjusted R-squared:  0.4058
F-statistic: 80.21 on 1 and 115 DF,  p-value: 7.005e-15
```

Elaboración: Diego Carrillo – Software R

En la tabla 27-4 mostramos el detalle del modelo para la variable de título, el cual nos muestra valores que nos sirven para soportar pertinencia de la ecuación en estos dos puntos del proceso. Para visualizar de una manera más interactiva, se muestra a continuación un gráfico con la resta de regresión que cruza por los puntos de las observaciones, en donde se observa que existe una línea recta ajustando los puntos de las observaciones pero con una gran dispersión alrededor de ella.

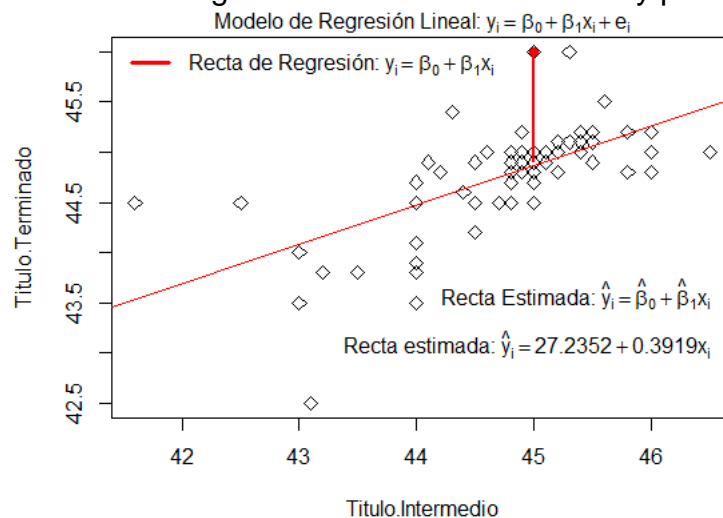
Gráfico 25-4 Recta de regresión de título



Elaboración: Diego Carrillo – Software R

Con el summary realizado para el modeloTT en la tabla 27-4, en un gráfico se representan los valores de los betas (β_0 de 27.2352 y de β_1 de 0.3919) en la ecuación de la recta estimada que nos permite predecir los valores de esta variable en el proceso de producto terminado, graficando también un punto sobre la recta de regresión hacia un punto muestra con el fin de observar la distancia de estos puntos lo que se conoce como residual.

Gráfico 26-4 Recta de regresión estimada con valores y punto sobre la recta



Elaboración: Diego Carrillo – Software R

Para esta variable y al igual que las dos anteriores, se procede a realizar el análisis de ANOVA, con el objetivo de determinar la pertinencia de la ecuación de regresión hallada; para esto en la tabla se muestran valores que nos permiten desarrollar un

análisis de bondad de ajuste de la recta con el fin de demostrar estadística significativa entre los dos procesos con la misma variable.

Tabla 28-4 Detalle de análisis ANOVA para título

```

> anova(modeloTT)
Analysis of Variance Table

Response: Titulo.Terminado
      Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
Titulo.Intermedio  1  9.7669   9.7669  80.206 7.005e-15 ***
Residuals        115 14.0039   0.1218
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

Elaboración: Diego Carrillo – Software R

Con los valores resultantes anteriormente mostrados en la tabla 28-4, se expresa un valor alto en el estadístico F_0 , (2128.5) siendo mayor a $F(\alpha, 1, n-2)$, por lo cual se rechaza la hipótesis nula concluyendo que se tiene un β_1 significativo.

$$H_0: \beta_1 = 0$$

$$H_1: \beta_1 \neq 0$$

También se puede visualizar los valores de la suma de los cuadrados de los errores (14.0039) y la suma de los cuadrados de la regresión (9.7669), los cuales sumados obtenemos la suma total de los cuadrados (23.7708).

$$\begin{aligned}
 &SSR=9.7669 \\
 &SSE=14.0039 \\
 &SST=9.7669+14.0039 = 23.7708 \\
 &rcuadradoTT=SSR/SST \\
 &rcuadradoTT \text{ \#coeficiente de determinación} \\
 &0.4108781
 \end{aligned}$$

Siendo $rcuadradoTT$ el coeficiente de determinación, lo cual nos demuestra que la ecuación de regresión planteada, explica un 41.08% los valores de título en la etapa de producto terminado de acuerdo a los valores planteados en el proceso intermedio; este mismo dato se puede visualizar en el summary realizado para esta variable (*Multiple R-squared*).

4.4.1. Predicción del intervalo estimado de un valor de Y dado un valor de X en la variable de título.

Para esta variable se va a realizar la estimación de los posibles intervalos de predicción para cada valor individual de X (títulos en proceso intermedio), teniendo a continuación la siguiente ecuación, en donde el coeficiente de confianza es de $1-\alpha$ y $t_{\alpha/2}$ basado en una distribución t con $n - 2$ grados de libertad.

$$\hat{y} = t_{\alpha/2} * S_{ind}$$

Siendo un estimado de la desviación estándar de un valor individual de \hat{y} de:

$$S_{ind} = S \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(X_0 - \mu)^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \mu)^2}}$$

Como ecuación general para la varianza individual asociada a la variable \hat{y} , se tiene la suma de la varianza de los valores individuales de y respecto al promedio, frente a la varianza asociada al uso de \hat{y} para estimar y.

$$S_{ind}^2 = S^2 + S_{\hat{y}}$$

Con la referencia anteriormente señalada, y con ayuda del software R, se procede a desarrollar la estimación de la varianza individual, tomando como referencia el valor individual de $x=45.1$

Tabla 29-4 Detalle de varianza individual

```
MEDIA_TITU=mean(Titulo.Intermedio)
ab=Titulo.Terminado-MEDIA_TITU
ABC=sum(ab^2)
b0=27.23520
b1=0.39190
x=45.1
y=b0+b1*x
y
[1] 44.90989
S.ind=sqrt(SSE/115)*(sqrt(1+1/117+((x-MEDIA_TITU)^2/ABC)))
S.ind
[1] 0.3508934
```

Elaboración: Diego Carrillo – Software R

A continuación se procede a aplicar la fórmula para predecir los intervalos para cada valor de las observaciones tomadas, manejándonos con el siguiente patrón:

`predic.int.conf=predict(modeloAG,newdata=jabonesTotal,interval="prediction",level=0.95)`
 el cual indica adicionalmente que trabajaremos con una confianza del 95%,
 obteniendo la siguiente tabla:

Tabla 30-4 Predicciones de intervalos de confianza para cada valor individual

```
> predic.int.conf
      fit      lwr      upr
1  44.90996 44.21546 45.60446
2  44.87077 44.17648 45.56506
3  44.55725 43.86078 45.25371
4  44.67482 43.97998 45.36966
5  44.47887 43.78078 45.17695
6  43.89101 43.16752 44.61451
7  44.47887 43.78078 45.17695
8  44.94915 44.25432 45.64397
9  44.94915 44.25432 45.64397
10 44.87077 44.17648 45.56506
11 44.51806 43.82083 45.21528
12 44.87077 44.17648 45.56506
n
```

Elaboración: Diego Carrillo – Software R

Con una confianza del 95%, se puede decir cuando el valor de título que en proceso intermedio es de 45.1 °C , en el proceso de producto terminado estará entre 44.21 °C y 45.6 °C.

4.4.2. COMPROBACION DE LOS SUPUESTOS DEL ERROR PARA LA VARIABLE TÍTULO.

Con la finalidad de comprobar los supuestos de los residuos, se plantearon varias alternativas de modelos, ajustados con artificios de raíz cuadrada y logaritmos, no obstante en ninguna combinación se pudo obtener resultados que hicieran cumplir los tres supuestos de los errores. A continuación se presenta la tabla 31-4, en la cual se observa los resultados de los tres test para las diferentes combinaciones y que en ninguno de los casos en por lo menos uno lograra ajustarse.

Tabla 31-4 Combinaciones de modelos para título

| MODELOS | | P. value de los siguientes Test | | |
|---------|--------------------------------------|---------------------------------|----------|----------|
| | | jarque.bera | bptest | dwtest |
| m1 | Titulo.Terminado ~ Titulo.Intermedio | < 2.2e-16 | 2.45E-02 | 0.002042 |

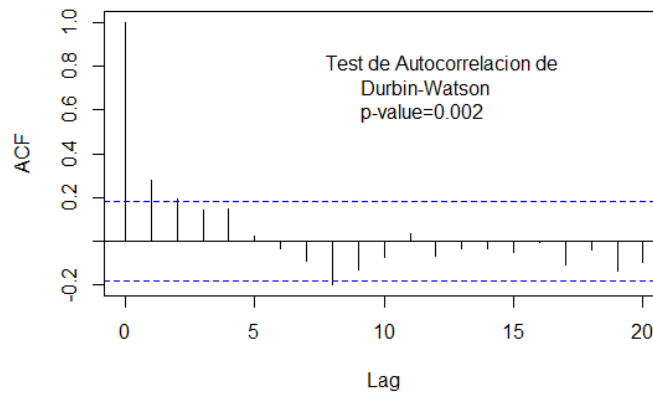
| | | | | |
|----|------------------------------------|-----------|----------|----------|
| m2 | raiz_TTPT~raiz_TTintermedio | < 2.2e-16 | 1.61E-02 | 0.002407 |
| m3 | ITT_PT~ITT_inter | < 2.2e-16 | 1.06e-05 | 0.002831 |
| m4 | Titulo.Terminado~raiz_TTintermedio | < 2.2e-16 | 1.80E-02 | 0.002187 |
| m5 | Titulo.Terminado~ITT_inter | < 2.2e-16 | 1.31E-02 | 0.002342 |
| m6 | raiz_TTPT~Titulo.Intermedio | < 2.2e-16 | 2.20E-02 | 0.002249 |
| m7 | raiz_TTPT~ITT_inter | < 2.2e-16 | 1.17e-05 | 0.002575 |
| m8 | ITT_PT~Titulo.Intermedio | < 2.2e-16 | 1.99E-02 | 0.002476 |
| m9 | ITT_PT~raiz_TTintermedio | < 2.2e-16 | 1.46E-02 | 0.002648 |

Elaboración: Diego Carrillo – Software Excel

4.4.2.1. No correlación de los Residuos en la variable de título

En la tabla 31-4 se puede apreciar adicionalmente que los valores de p-value para todas las combinaciones en el test de Durbin-Watson, fueron similares con un valor de 0.002 en donde todos los gráficos de ACF realizados presentaron una asimetría parecida al gráfico que se muestra a continuación, visualizándose valores atípicos y/o aberrantes que afectaron el modelo

Gráfico 27-4 Función de autocorrelación ACF y Prueba de Durbin-Watson
Funcion de Autocorrelacion
ACF Titulo



Elaboración: Diego Carrillo – Software R

CAPITULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Al analizar individualmente las variables de estudio, se pudo constatar que las variables de humedad y título, no tuvieron una distribución normal en sus datos obtenidos en ambos procesos, por lo cual fue necesario recurrir a otros estadísticos en el capítulo 4 para soportar pertinencia de una posible ecuación de regresión lineal.
- En el análisis de la relación existente entre las variables del proceso intermedio versus los resultados obtenidos en el proceso terminado, se pudo identificar que tres variables (ácidos grasos, alcalinidad y título) cumplen con el criterio de correlación de sus datos en el proceso intermedio con el terminado; pese a este cumplimiento, la variable de título presentó su coeficiente de determinación con el 41% de pertinencia al momento de desarrollar el modelo de predicción.
- Con la comprobación de los supuestos de los errores de las variables de ácidos grasos y alcalinidad, las mismas pueden ser abordadas bajo un modelo de predicción mediante la ecuación de regresión lineal y la compañía podría ahorrarse costos de materiales y mano de obra que traducidos a términos monetarios, significan rentabilidad para la compañía.

RECOMENDACIONES

- Pese a haberse desarrollado la variable título bajo una ecuación de regresión lineal, se mostró un coeficiente de determinación menor al 50% y gráficamente se observaron mucha dispersión de los datos lo cual tiene que ser analizado más a detalle en situ en las dos etapas del proceso; también, no pudieron ser comprobados los supuestos de los errores para las diversas combinaciones de modelos propuestos; por lo anterior descrito se demuestra que no es recomendable aplicar método de regresión lineal para esta variable, más bien se recomienda sea analizada bajo otros modelos de predicción de regresión.
- Concerniente a las variables de humedad y cloruros, es recomendable sean también analizadas bajo otros métodos de regresión, en donde se pueda hallar una curva que mejor que ajusten a la dispersión de sus datos observados.

Referencias Bibliográficas

- Betancourt, A., Travieso, M., Villoch, A., Dávila, N., & Escobar, A. (2002). Metodologías para garantizar la confiabilidad de los resultados analíticos en los Laboratorios de Ensayo de la rama Farmacéutica. *Revistas bvs.sld.cu*, http://bvs.sld.cu/revistas/far/vol36_s_02/E%20Publicaciones%20Análisis%20y%20Gestion.pdf.
- Breusch, T., & Pagan, A. (1979). *A Simple Test for Heteroscedasticity and Random Coefficient Variation* (Vol. vol. 47). EEUU: The Econometric Society.
- Carbajal Azcona, Á. (2013). Manual de Nutrición y Dietética. *ucm.es*, 6.
- Cardona Madariaga, D., González Rodríguez, J., Rivera Lozano, M., & Cárdenas Vallejo, E. (2013). Aplicación de la regresión lineal en un problema de pobreza. *Universidad del Rosario*.
- Court, E., & Rengifo, E. (2011). *Estadísticas y Econometría Financiera*. Buenos Aires: Cengage Learning.
- Fernández, A. (2005). *Econometría*. Madrid: Pearson Educación S.A.
- Francisco, L. G. (1997). *El Modelo de regresión lineal simple*. Barcelona: Departament d'Econometria, Estadística i Economia Espanyola, Universitat de Barcelona.
- Gauss, K. F. (1777-1855). *Bibliografías y Vidas*. Obtenido de Bibliografías y Vidas: <https://www.biografiasyvidas.com/biografia/g/gauss.htm>
- Goyenola, G. (2007). Guía para la utilización de las Valijas Viajeras. *Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos RED MAPSA*, 1,2.
- Gujarati, D., & Porter, D. (2010). *Econometría*. México D.F.: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Hansen, B. (Enero de 2018). *University of Wisconsin*. Obtenido de ECONOMETRICS: <https://www.ssc.wisc.edu/~bhansen/econometrics/>
- INEN818:2013, N. (2013). *AGENTES SURFACTANTES. DETERMINACIÓN DE HUMEDAD Y MATERIAL VOLÁTIL*. Ecuador: NORMA TÉCNICA ECUATORIANA.
- INEN821:1982, N. (2012). *AGENTES TENSOACTIVOS. DETERMINACIÓN DE ALCALINIDADES LIBRE Y TOTAL*. Ecuador: NORMA TÉCNICA ECUATORIANA.
- INEN823:1982, N. (2012). *AGENTES TENSOACTIVOS DETERMINACIÓN DE MATERIA GRASA TOTAL*. Ecuador: NORMA TÉCNICA ECUATORIANA.
- INEN-ISO457:1983, N. (2014). *DETERMINACION DE CONTENIDO DE CLORUROS - METODO POR TITULACION*. Ecuador: NORMA TECNICA ECUATORIANA.
- INEN-ISO935:1988, N. (2013). *DETERMINACION DE TITULO EN GRASAS DE ORIGEN ANIMAL Y VEGETAL*. Ecuador: Norma Tecnica Ecuatoriana.
- Joaquín, G., & Nieto Sánchez, F. (2008). DISTRIBUCIÓN DE LA ESTADÍSTICA DE JARQUE Y BERA PARA LA PRUEBA DE NORMALIDAD EN UNA SERIE TEMPORAL. En *DISTRIBUCIÓN DE LA ESTADÍSTICA DE JARQUE Y BERA PARA LA PRUEBA DE NORMALIDAD EN UNA SERIE TEMPORAL* (págs. 99-114). Bogotá: Entre Ciencia e Ingeniería.
- Llopis Pérez, J. (13 de DICIEMBRE de 2012). *LA ESTADÍSTICA: UNA ORQUESTA HECHA INSTRUMENTO*. Obtenido de estadisticaorquestainstrumento.wordpress.com:

- <https://estadisticaorquestainstrumento.wordpress.com/2012/12/13/test-de-durbin-watson/>
- Maddala, G. S. (1977). *Econometrics*. New York: McGraw Hill.
- Martínez Flórez, G., Bolfarine, H., & Gómez, H. (2015). *Likelihood-based inference for the power regression model*. EEUU: SORT 39(2).
- Mena Frau, Carlos ; Montecinos Guajardo, Rodrigo ;. (2006). Comparación de redes neuronales y regresión lineal para estimar productividad. *Universidad de Talca, Departamento de Gestión Forestal Ambiental*.
- Minitab.com. (2019). *Función de autocorrelación (ACF)*. Obtenido de support.minitab.com: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/time-series/how-to/autocorrelation/interpret-the-results/autocorrelation-function-acf/>
- Novales, A. (1993). *ECONOMETRÍA, segunda edición*. Madrid: McGRAW-HILL INTERAMERICANA DE ESPAÑA S.A.U.
- Olivieri, A. (2003). *Regresión lineal en química analítica*. Obtenido de www.fbioyf.unr.edu.ar: www.fbioyf.unr.edu.ar/evirtual/pluginfile.php/109734/.../Regresion%20lineal.pdf
- Pérez, C. (2002). *Estadística aplicada a través de Excel*. Madrid: Pearson Educación S.A.
- Sabogal Cardona, O., Hincapié Zea, J., Santa Chávez, J., & Escobar, J. (2015). *Modelos de regresión lineal para estimación de tiempos de viaje en sistemas de transporte masivo*. Ciencia e Ingeniería Neogranadina.
- Sanchez, G. R. (2014). Correlación entre variables. *Seminario Investigativo VI*.
- Sheldon, R. (2007). *Introducción a la Estadística*. España: Alvagraf. Obtenido de wikipedia.org: https://es.wikipedia.org/wiki/Adrien-Marie_Legendre
- Valderrama, M. (2009). Modelos estocásticos dinámicos. *Modelos estocásticos dinámicos*. Granada.
- Villavicencio, J. (2007). *Introducción a Series de Tiempo*. Peru: <http://www.estadisticas.gobierno.pr>.

ANEXOS

A1. BASE DE DATOS DE ACIDOS GRASOS

| > Acidos.Grasos.Intermedio | | | | | | | | | |
|----------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| [1] | 56.93905 | 56.74924 | 56.84978 | 56.88803 | 56.70987 | 57.06025 | 56.75027 | 57.08036 | 56.24136 |
| [10] | 56.23579 | 55.91473 | 56.23579 | 56.16538 | 56.16538 | 56.30739 | 57.00996 | 56.80997 | 56.38614 |
| [19] | 56.71378 | 57.03753 | 56.93936 | 55.68667 | 56.82620 | 56.51811 | 57.02591 | 56.61222 | 57.02591 |
| [28] | 56.11816 | 56.77833 | 56.11816 | 56.90789 | 56.81005 | 56.23340 | 57.06078 | 56.83277 | 56.23340 |
| [37] | 56.92985 | 56.39316 | 56.34993 | 56.40949 | 56.18019 | 55.26706 | 56.04145 | 56.91059 | 56.41599 |
| [46] | 56.42212 | 56.89016 | 56.22858 | 56.76069 | 56.91050 | 55.93415 | 56.91050 | 56.80999 | 56.45182 |
| [55] | 56.94009 | 56.20462 | 56.67154 | 56.75016 | 56.82009 | 56.63300 | 56.28514 | 56.81989 | 56.41352 |
| [64] | 56.32754 | 56.15645 | 56.87016 | 56.15673 | 56.10495 | 56.33851 | 56.28012 | 57.15244 | 57.10780 |
| [73] | 56.23878 | 56.80994 | 56.34155 | 56.23878 | 56.79020 | 56.83977 | 56.20722 | 56.83977 | 56.15701 |
| [82] | 56.50998 | 56.41821 | 56.46005 | 55.29552 | 56.04201 | 56.78674 | 56.05742 | 56.78674 | 56.14003 |
| [91] | 55.95614 | 56.00692 | 56.21988 | 56.00692 | 57.99978 | 56.36995 | 56.36995 | 55.42137 | 55.42137 |
| [100] | 57.33073 | 56.76336 | 56.67461 | 56.67461 | 57.81980 | 56.72565 | 56.74884 | 56.33356 | 56.64145 |
| [109] | 56.16949 | 55.74744 | 56.36453 | 56.36453 | 57.43129 | 56.48941 | 57.23000 | 56.48941 | 56.87204 |
| > Acidos.Grasos.PT | | | | | | | | | |
| [1] | 60.71615 | 60.52915 | 60.60711 | 60.74915 | 60.30843 | 60.87891 | 60.35795 | 61.00952 | 59.86319 |
| [10] | 60.14250 | 59.77251 | 59.94784 | 60.05911 | 60.03564 | 60.12693 | 60.94184 | 60.76258 | 60.30438 |
| [19] | 60.61272 | 60.89247 | 60.54744 | 59.63215 | 60.55494 | 60.31053 | 60.73778 | 60.37379 | 60.67655 |
| [28] | 59.83693 | 60.39148 | 59.95268 | 60.76187 | 60.77942 | 60.02835 | 60.73566 | 60.74409 | 59.91376 |
| [37] | 60.67754 | 60.16149 | 59.96209 | 60.04133 | 60.00157 | 58.90864 | 59.76420 | 60.53723 | 60.15325 |
| [46] | 60.14034 | 60.69367 | 60.20184 | 60.54530 | 60.63147 | 59.82211 | 60.81238 | 60.74677 | 60.32866 |
| [55] | 60.80770 | 59.98906 | 60.28384 | 60.70940 | 60.46236 | 60.31017 | 59.99539 | 60.60995 | 60.16051 |
| [64] | 60.02911 | 60.02335 | 60.59067 | 59.79848 | 59.72545 | 60.25597 | 60.15012 | 60.89412 | 60.94783 |
| [73] | 60.00396 | 60.71901 | 60.04165 | 59.85675 | 60.58018 | 60.65708 | 60.06045 | 60.49560 | 59.87765 |
| [82] | 60.27214 | 60.22343 | 60.38804 | 59.06815 | 59.80602 | 60.41337 | 59.90433 | 60.67842 | 59.75357 |
| [91] | 59.66835 | 59.76064 | 59.94039 | 59.95649 | 61.87204 | 60.34003 | 60.18890 | 59.19631 | 59.06325 |
| [100] | 61.24766 | 60.37145 | 60.45461 | 60.51017 | 61.52096 | 60.63350 | 60.56206 | 60.26784 | 60.36215 |
| [109] | 59.99655 | 59.44529 | 60.28911 | 60.26862 | 61.27751 | 60.16062 | 60.87259 | 60.16542 | 60.83478 |

A2. BASE DE DATOS DE ALCALINIDAD

| > Alcalinidad.Intermedio | | | | | | | | | |
|--------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| [1] | 0.06830301 | 0.29973182 | 0.14962397 | 0.08344313 | 0.11770268 | 0.08654271 | 0.10205732 | 0.13918066 | 0.16599817 |
| [10] | 0.07217425 | 0.06830983 | 0.07217425 | 0.10059229 | 0.10059229 | 0.07006736 | 0.10255989 | 0.08356612 | 0.06256433 |
| [19] | 0.14662105 | 0.09812237 | 0.17900956 | 0.16898827 | 0.16067618 | 0.16161103 | 0.17937596 | 0.18463960 | 0.17937596 |
| [28] | 0.15103939 | 0.12423586 | 0.15103939 | 0.13808701 | 0.09105068 | 0.18406186 | 0.12491964 | 0.12486429 | 0.18406186 |
| [37] | 0.12090119 | 0.05494084 | 0.12358326 | 0.05517320 | 0.10340978 | 0.06225209 | 0.10671181 | 0.11999366 | 0.09165704 |
| [46] | 0.11512629 | 0.08162941 | 0.10225878 | 0.08821334 | 0.15496275 | 0.17928725 | 0.15496275 | 0.09953269 | 0.13525024 |
| [55] | 0.17749911 | 0.15857255 | 0.14374533 | 0.13089814 | 0.16905892 | 0.14449990 | 0.11033239 | 0.05691333 | 0.06394905 |
| [64] | 0.14896123 | 0.11031516 | 0.06399085 | 0.06403036 | 0.11745174 | 0.07073217 | 0.07114366 | 0.05138332 | 0.07884014 |
| [73] | 0.14454464 | 0.17429651 | 0.15517298 | 0.14454464 | 0.16803682 | 0.09950728 | 0.11744399 | 0.09950728 | 0.10667562 |
| [82] | 0.07115581 | 0.09887884 | 0.10671179 | 0.16008936 | 0.08888899 | 0.13397391 | 0.09069115 | 0.13397391 | 0.05871395 |
| [91] | 0.05512317 | 0.05322860 | 0.02489227 | 0.05322860 | 0.13474385 | 0.15651166 | 0.15651166 | 0.18154359 | 0.18154359 |
| [100] | 0.02106010 | 0.12107856 | 0.11374483 | 0.11374483 | 0.11303606 | 0.13150394 | 0.17025008 | 0.15368615 | 0.04872993 |
| [109] | 0.11957166 | 0.16535067 | 0.09205914 | 0.09205914 | 0.17838306 | 0.17784754 | 0.18000000 | 0.17784754 | 0.09681209 |
| > Alcalinidad.PT | | | | | | | | | |
| [1] | 0.05803214 | 0.24775974 | 0.12435300 | 0.06273017 | 0.09051277 | 0.06586779 | 0.08580161 | 0.10401071 | 0.14159806 |
| [10] | 0.06082923 | 0.04965410 | 0.05649435 | 0.08099106 | 0.08383568 | 0.05268860 | 0.08721882 | 0.06582280 | 0.05222668 |
| [19] | 0.11183926 | 0.07852169 | 0.14347353 | 0.13842285 | 0.12413526 | 0.12681532 | 0.12685100 | 0.15671696 | 0.13260746 |
| [28] | 0.12681686 | 0.09799663 | 0.10852399 | 0.10939439 | 0.07072647 | 0.15620314 | 0.09810216 | 0.10194995 | 0.13171055 |
| [37] | 0.08724102 | 0.04681119 | 0.10427272 | 0.04640266 | 0.07932306 | 0.05145131 | 0.08267621 | 0.08802196 | 0.07084300 |
| [46] | 0.09866628 | 0.06623042 | 0.08435463 | 0.06806244 | 0.11766266 | 0.15267407 | 0.12920787 | 0.08407412 | 0.09472263 |
| [55] | 0.12709147 | 0.11800753 | 0.10161190 | 0.10097658 | 0.14295939 | 0.12192512 | 0.08321280 | 0.04646739 | 0.05215808 |
| [64] | 0.11615540 | 0.08636330 | 0.05408284 | 0.04734189 | 0.09323385 | 0.05934126 | 0.05452045 | 0.03667469 | 0.06477586 |
| [73] | 0.12427111 | 0.12891097 | 0.12112157 | 0.11971516 | 0.12569424 | 0.07754438 | 0.09810108 | 0.07399598 | 0.07798327 |
| [82] | 0.06068968 | 0.08297753 | 0.08981628 | 0.11308246 | 0.06364330 | 0.09416980 | 0.06954697 | 0.10555911 | 0.04548617 |
| [91] | 0.04689527 | 0.03891188 | 0.01941457 | 0.04305975 | 0.09756334 | 0.11300640 | 0.12297276 | 0.13420767 | 0.13549894 |
| [100] | 0.01775282 | 0.09965105 | 0.08292126 | 0.08675294 | 0.08099302 | 0.10506023 | 0.13066088 | 0.10870441 | 0.03793565 |
| [109] | 0.09668934 | 0.13017955 | 0.06590359 | 0.07814118 | 0.14478948 | 0.13315932 | 0.12709782 | 0.14342838 | 0.08309789 |

A3. ASE DE DATOS DE CLORUROS

```
> Cloruro.Intermedio
[1] 0.1621671 0.1472421 0.1611072 0.1474217 0.1592722 0.1459162 0.1594601 0.1465339 0.1474276
[10] 0.1474276 0.1472333 0.1472333 0.1471099 0.1472068 0.1473303 0.1419577 0.1473951 0.1445035
[19] 0.1598845 0.1444440 0.1591597 0.1419632 0.1602193 0.1461969 0.1602193 0.1474394 0.1612674
[28] 0.1474394 0.1614697 0.1608293 0.1443648 0.1606254 0.1474394 0.1443648 0.1467819 0.1473893
[37] 0.1474217 0.1450978 0.1468111 0.1472333 0.1592722 0.1462752 0.1472891 0.1596139 0.1464408
[46] 0.1602161 0.1608452 0.1445035 0.1608452 0.1619534 0.1474482 0.1620731 0.1431512 0.1401045
[55] 0.1448911 0.1610848 0.1469633 0.1472009 0.1462375 0.1471745 0.1593567 0.1474128 0.1473716
[64] 0.1472156 0.1471833 0.1471980 0.1472156 0.1277718 0.1315250 0.1444893 0.1613637 0.1450531
[73] 0.1444893 0.1614729 0.1472244 0.1474276 0.1472244 0.1474069 0.1472568 0.1468023 0.1326132
[82] 0.1472215 0.1472656 0.1587516 0.1474128 0.1587516 0.1326291 0.1474069 0.1325099 0.1325232
[91] 0.1325099
> Cloruro.terminado
[1] 0.1471921 0.1310704 0.1318700 0.1472950 0.1325443 0.1460926 0.1447332 0.1474364 0.1474246
[10] 0.1474246 0.1326848 0.1326848 0.1596013 0.1473893 0.1472568 0.1474364 0.1444978 0.1448413
[19] 0.1449552 0.1458210 0.1449637 0.1439027 0.1467322 0.1465980 0.1467322 0.1462433 0.1456510
[28] 0.1462433 0.1456366 0.1448726 0.1450550 0.1451892 0.1472362 0.1450550 0.1618661 0.1467527
[37] 0.1324808 0.1738881 0.1620213 0.1326662 0.1474246 0.1466302 0.1586274 0.1455073 0.1463071
[46] 0.1462056 0.1470805 0.1448413 0.1470805 0.1447844 0.1432541 0.1449637 0.1474453 0.1442067
[55] 0.1451121 0.1324808 0.1474453 0.1474246 0.1473392 0.1611233 0.1606891 0.1325099 0.1473510
[64] 0.1326662 0.1326715 0.1324808 0.1472833 0.1540915 0.1471392 0.1450892 0.1459393 0.1474423
[73] 0.1450892 0.1464379 0.1472686 0.1472833 0.1472686 0.1323981 0.1473745 0.1610113 0.1473303
[82] 0.1466651 0.1326662 0.1599223 0.1322643 0.1599223 0.1473893 0.1325099 0.1324808 0.1325920
[91] 0.1324808
```


A4. BASE DE DATOS TITULO

```
> Titulo.Intermedio
[1] 45.1 45.0 44.2 44.5 44.0 42.5 44.0 45.2 45.2 45.0 44.1 45.0 45.0 45.0 45.0 44.9 45.0 45.0 44.5
[20] 45.0 44.0 45.0 44.7 45.2 45.0 45.0 45.0 45.0 45.0 45.0 45.2 45.2 45.0 45.3 45.2 45.0 43.1 44.4
[39] 44.5 44.8 44.0 45.6 45.4 45.4 45.2 45.5 45.5 45.0 45.2 45.0 45.0 45.2 45.2 45.2 45.4 45.2
[58] 45.0 45.4 45.5 44.0 44.9 43.5 44.0 44.9 44.8 44.8 45.0 45.0 44.9 45.0 45.3 45.0 44.2 44.6 45.0
[77] 45.1 44.9 45.0 44.9 45.2 45.0 45.0 45.1 45.0 45.2 44.9 45.1 44.9 44.2 44.0 43.0 43.2 43.0 45.8
[96] 46.0 46.0 46.5 46.5 43.0 41.6 46.0 46.0 44.8 45.0 45.0 46.0 45.0 45.8 45.5 44.3 44.3 44.9 44.2
[115] 45.2 44.2 44.8
> Titulo.Terminado
[1] 44.9 44.5 44.8 44.9 44.7 44.5 44.5 45.0 45.0 44.8 44.9 44.8 45.0 45.0 45.0 44.9 44.8 44.8 44.2
[20] 45.0 44.1 45.0 44.5 44.8 44.8 44.5 44.8 44.8 45.0 44.8 45.0 45.0 45.0 45.1 45.0 45.0 42.5 44.6
[39] 44.5 44.5 43.5 45.5 45.1 45.2 45.1 45.2 45.1 45.0 45.1 44.8 45.0 44.8 45.0 45.0 45.0 45.0 45.0
[58] 45.0 45.1 45.2 43.8 44.8 43.8 43.9 44.8 44.7 44.8 44.7 44.7 44.8 46.0 46.0 45.0 44.8 45.0 45.0
[77] 45.0 44.8 44.7 44.8 45.0 44.9 44.8 45.0 45.0 45.0 45.0 44.9 45.0 44.8 44.5 43.5 43.8 43.5 44.8
[96] 44.8 44.8 45.0 45.0 44.0 44.5 45.0 45.0 44.9 44.8 45.0 45.2 45.0 45.2 44.9 45.4 45.4 45.2 44.8
[115] 45.0 44.8 45.0
```

A5. BASE DE DATOS DE HUMEDAD

```
> Humedad.Intermedio
[1] 28.840 29.210 29.140 29.210 28.965 28.575 29.380 28.835 28.910 29.160 28.980 28.320 28.410
[14] 28.560 28.590 28.840 28.920 28.940 29.120 28.955 28.935 29.045 28.915 28.815 28.960 29.260
[27] 29.055 28.970 28.955 29.010 28.975 30.020 28.120 28.790 28.490 29.056 29.010 28.960 30.300
[40] 29.630 29.525 29.355 29.580 29.275 29.250 28.800 29.280 29.330 29.315 29.240 29.280 29.183
[53] 29.175 29.090 29.870 29.815 28.630 30.430 28.765 28.245 28.530 28.580 29.020 28.110 28.060
[66] 28.873 28.685 28.805 29.280 29.050 28.910 28.640 28.830 28.445 28.835 28.315 29.005 28.595
[79] 28.900 28.470 28.055 28.200 28.010 28.045 29.740 28.910 28.670 28.100 29.995 27.920 29.170
[92] 29.335 30.800 28.360 30.820 28.190 30.140 30.685 28.910 28.320 28.130 28.050
> Humedad.terminado
[1] 25.025 24.755 24.415 24.635 24.520 24.690 24.575 24.605 24.800 26.600 25.515 24.915 24.590
[14] 24.285 24.435 24.630 24.335 24.470 24.770 25.120 24.740 24.250 24.300 24.880 25.060 25.630
[27] 24.835 25.120 24.960 24.075 25.185 25.175 23.995 26.465 25.910 25.930 24.985 24.925 26.095
[40] 24.870 25.180 25.635 24.415 25.595 25.625 24.350 25.280 25.565 24.740 24.870 24.980 24.085
[53] 24.765 24.970 24.720 24.965 24.510 24.090 24.770 24.180 24.990 24.530 24.770 24.380 25.160
[66] 25.220 25.100 24.290 24.880 24.245 24.945 24.585 24.960 24.705 24.875 24.645 24.560 24.860
[79] 24.055 24.820 24.535 24.460 24.755 24.355 24.670 24.110 24.675 24.200 26.130 25.835 23.635
[92] 24.785 24.685 24.910 24.840 24.120 24.545 24.605 25.035 24.150 24.160 24.610
```

A6. PROTOCOLO DE ANALISIS DE JABONES

|  | INDUSTRIAS ALES C.A. | Codigo: LABPP 001 | | | |
|---|--|-------------------------|---|--------|------------------|
| | LABORATORIO | Fecha Elab.: 2015/08/28 | | | |
| Edición N° 6 | Protocolo de Análisis de Producto Proceso | Página 1 de 2 | | | |
| 1. Información General: | | | | | |
| PRODUCTO: | JABON BASE | Presentación: N/A | | | |
| TIPO: | N/A | LOTE: N/A | | | |
| | | FECHA: 24/01/2017 | | | |
| Vida Util: | 12 meses | Turno de Analisis: 2 T | | | |
| | | Hora 1° Analisis: 16H30 | | | |
| Analizado por: | Jose Luis Macias | Hora 2° Analisis: N/A | | | |
| 2. Analisis Fisico - Quimico | | | | | |
| PARAMETRO | VALOR | | LIMITES DE CONTROL <small>(Ver Nota 1)</small> | | METODO ANALITICO |
| | # 1 | # 2 | Mínimo | Máximo | |
| Apariencia | Pasa | * | Similar al STD | | Visual |
| Olor | Pasa | * | Pasa | Falla | Organoleptico |
| Color | Pasa | * | N/A | N/A | Organoleptico |
| AGT (Real Fatty Oils) Acidos Grasos (%) | 56,85 | | 52,00 | 58,00 | INEN 823 |
| Alcalinidad (%) | 0,15 | | 0,05 | 0,25 | INEN 821 |
| Humedad (%) | 29,14 | * | 28,00 | 32,00 | INEN 818 |
| Titulo (°C) | 44,20 | | 39,00 | | INEN ISO 935 |
| Cloruros (%) | 0,14 | | 0,10 | 0,20 | INEN ISO 457 |
| Insolubles en agua (%) | | | N/A | N/A | INEN 816 |
| Materia Activa valorable (%) | | | N/A | N/A | INEN 833 |
| Glicerina (%) | | | N/A | N/A | INEN ISO 1066 |