



**UNIVERSIDAD CENTROCCIDENTAL
"LISANDRO ALVARADO"
DECANATO DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN**



REDUCCION DE MERMA DE EXTRACTO EN NEPE

Empresa: Cervecería Polar C.A.

Departamento de Calidad

Autor: Naudy Pastor Lucena Quintana
Cédula de Identidad: 22.329.578
Tutor Académico: Ing. Cesar Torrellas
Tutor Empresarial: Ing. Ana Julia Fernandes
Ingeniería de Producción

Barquisimeto, Enero 2016.



**UNIVERSIDAD CENTROCCIDENTAL
"LISANDRO ALVARADO"
DECANATO DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN**



REDUCCION DE MERMA DE EXTRACTO EN NEPE

Empresa: Cervecería Polar C.A.

Departamento de Calidad

Informe presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero de Producción.

Autor: Naudy Pastor Lucena Quintana
Cédula de Identidad: 22.329.578
Tutor Académico: Ing. Cesar Torrellas
Tutor Empresarial: Ing. Ana Julia Fernandes
Ingeniería de Producción

Barquisimeto, Enero 2016.

AGRADECIMIENTO

Primeramente a DIOS, a ti señor por ser mi guía número uno y permitirme alcanzar esta meta de tanta importancia para mi vida, por despejar mi mente en momentos de dudas y por ese apoyo incondicional con cada obstáculo que se atraviesa en mi camino, por darme esta familia que nunca cambiaría y por cada ser que colocaste en mi camino, a ti señor debo mi pasado, mi presente y mi futuro, a ti te debo todo.

A mis Padres Antonia y Naudy, por creer en mí, por brindarme ese apoyo y amor de padres, por educarme y enseñarme tantos valores y principios que hoy son parte de mí, a ti Madre por todas tus oraciones que siempre me acompañaron e iluminaron.

A mis Hermanos María Antonieta, Yenifer y Yean Carlos, por estar ahí siempre para mí, por todo el apoyo que siempre me han brindado, por ser ejemplos de superación y constancia. A ustedes hermanos, les debo gran parte de lo que hoy soy.

A mis familiares, Tíos Rubén Darío y José Manuel, Primos Jordán y Rubén, Tía Alicia, a todos ustedes por formar parte de mi vida, por estar siempre atentos, y apoyarme siempre en mis decisiones.

A mi novia Alexandra Papadopoulos, por tanto tiempo apoyándome en las buenas y en las malas, por estar ahí siempre que te necesité, porque esta meta la estamos alcanzando ambos con mucho esfuerzo y dedicación, el futuro será brillante para nosotros como Ingenieros de Producción.

A mis compañeros de clase, Wilmer, Claudia, Miguel, Ana Karina y muchos más, con quienes compartí tanto durante esta etapa que hoy estamos alcanzando juntos, el mejor de los deseos para ustedes.

A mi Tutora empresarial Ana Julia Fernandes, por tantas enseñanzas en tan poco tiempo, por confiar en mí para realizar este proyecto, por ser una madre nueva durante este periodo y a mis compañeros analistas del laboratorio principal, **Jesús, Carolina, Norelys, Lidys, María José, Kevin, Jorge, Johana, Darío, Maryuri, Samayra** y a todo el personal en el laboratorio de calidad de elaboración y al personal de la sala de cocimiento, gracias por sus enseñanzas y por sus amistades.

A Mónica, Carlos y Fabrizio por ser una familia nueva que Dios me colocó en esta etapa, gracias Mónica y Carlos por sus consejos, enseñanzas y por tanta amabilidad.

A mi Universidad (UCLA), por permitirme formarme como Ingeniero de Producción con tan buenos y excelentes profesores, por enseñarme nuevos valores, orgulloso estoy de estar tan cerca de ser un egresado de esta casa de estudios, un objetivo como profesional es poner su nombre en alto.

A Cervecería Polar C.A, por abrirme las puertas y permitirme realizar mi entrenamiento como futuro Ingeniero de Producción en esta planta tan prestigiosa, por dar tanto por este país, por sembrar tantos valores día a día. Empresas Polar y Cervecería Polar, son un orgullo Venezolano.

A todos, muchas gracias.

Naudy Lucena.

INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO.....	ii
INDICE GENERAL.....	iv
INDICE DE TABLAS.....	vi
INDICE DE FIGURAS.....	viii
INTRODUCCION.....	1
Información de la empresa.	
Descripción de la Empresa.....	2
Reseña Histórica de la Empresa.....	3
Organigrama General.....	6
Organigrama Cervecería Polar.....	6
Misión.....	7
Visión.....	7
Valores.....	7
Política de Calidad.....	8
Descripción del Departamento y Del Trabajo.....	8
Organigrama Departamento de Calidad Cervecería Polar.....	9
Plan de Trabajo	11
Actividades Realizadas.....	12
ETAPAS DEL SEIS SIGMA	
Definir.....	30
Medir.....	35
Analizar.....	42
Mejorar.....	89
Controlar.....	89
CONCLUSIONES.....	91
RECOMENDACIONES.....	93

GLOSARIO.....95
REFERENCIAS.....97
ANEXOS.....98

INDICE DE TABLAS

Tabla

1. Plan de Trabajo.....	11
2. Datos Históricos de Análisis de Afrecho Tren 2.....	32
3. Datos Históricos de Análisis de Afrecho Tren 3.....	32
4. Medias y Desviaciones Estándar de Extractos (Datos Históricos).....	34
5. Factores del Diseño de Experimento.....	40
6. Diseño de Experimento Factorial.....	41
7. Seguimiento de Ejecución del Diseño de Experimento.....	42
8. Resultados T-pareada Temperatura de IFIX y Paila.....	43
9. Regresión lineal Ext. Refrigerio vs Ext. Primer Mosto	45
10. Ecuaciones Regresión Lineal (DDE).....	49
11. ANOVA Extracto Digerible vs Cant. de Betaglucanasa.....	53
12. ANOVA Extracto Digerible vs Velocidad de Agitación.....	54
13. ANOVA Extracto Primer Mosto vs Factor de Mezcla.....	54
14. ANOVA Tiempo de Ocupación Filtro Meura vs Velocidad de agitación.....	55
15. ANOVA Tiempo de Ocupación Filtro Meura vs Factor de Mezcla.....	55
16. Optimización de Respuesta Tiempo de Maceración y filtración (DDE).....	71
17. Optimización de Respuesta Extracto Digerible y Eluible (DDE).....	71
18. Optimización de Respuesta Extracto Total (DDE).....	71
19. Factores del Diseño de Experimento de Laboratorio.....	72
20. Diseño de Experimento Laboratorio.....	73
21. Resultados Diseño de Experimento Laboratorio.....	74
22. ANOVA Extracto Primer Mosto vs Factor de Mezcla (DDELab).....	78
23. ANOVA Extracto Eluible vs Cantidad de Betaglucanasa (DDELab).....	78
24. ANOVA Extracto Total vs Cantidad de Betaglucanasa (DDELab).....	79
25. Optimización de Respuesta Ext. Primer Mosto y Ultima Agua (DDELab).....	88
26. Optimización de Respuesta Ext. Digerible y Eluible (DDELab).....	88
27. Optimización de Respuesta Extracto Total (DDELab).....	88
28. Factores para reducir la merma de extracto.....	89

29. Plan de control.....	90
---------------------------------	----

INDICE DE FIGURAS

Figura

1. Organigrama General de Empresas Polar.....	6
2. Organigrama de Cervecería Polar.....	6
3. Organigrama Departamento de Calidad. Planta San Joaquín.....	9
4. Diagrama del Proceso Productivo General.....	12
5. Diagrama del Proceso Productivo del Departamento de Envasado.....	14
6. Diagrama del Proceso Productivo del Departamento de Elaboración.....	16
7. Composición del Extracto durante el proceso.....	20
8. Esquema de Filtro Meura.....	21
9. Esquema de una placa de Filtro Meura.....	22
10. Diagrama de Etapas Filtración de Mosto Caliente.....	22
11. Filtro Meura.....	25
12. Intercambiador de Placas.....	28
13. Etapas importantes de la elaboración de cerveza para el proyecto.....	31
Análisis Datos Históricos.	
14. Comportamiento Extracto Eluible y Digerible, Tren2 (Datos Históricos).....	33
15. Comportamiento Extracto Eluible y Digerible, Tren3 (Datos Históricos).....	34
16. Comportamiento Extracto Total (Datos Históricos).....	34
17. Diagrama de Ishikawa.....	35
18. Análisis de Capacidad – Tren2 Extracto Total.....	36
19. Análisis de Capacidad – Tren3 Extracto Total.....	36
20. Análisis de Capacidad – Tren 2 Extracto Digerible.....	37
21. Análisis de Capacidad – Tren 3 Extracto Digerible.....	37
22. Análisis de Capacidad – Tren 2 Extracto Eluible	38
23. Análisis de Capacidad – Tren 3 Extracto Eluible.....	38
Análisis Resultados Diseño de Experimento.	
24. Diagnostico T-pareada Temp. IFIX y Temp. Paila.....	44
25. Dispersión Extracto Refrigerio vs Extracto Primer Mosto (DDE).....	45
26. Gráfico de corrida pH (DDE).....	46

27. Gráfico de Corrida Ext. Primer Mosto (DDE).....	47
28. Gráfico de Corrida Ext. Ultima Agua (DDE).....	47
29. Gráfico de Corrida Ext. Refrigerio (DDE).....	48
30. Diagrama de Pareto Tiempo de Maceración (DDE).....	49
31. Diagrama de Pareto Extracto Primer Mosto (DDE).....	50
32. Diagrama de Pareto Extracto Ultima Agua (DDE).....	50
33. Diagrama de Pareto Extracto Digerible (DDE).....	51
34. Diagrama de Pareto Extracto Eluible (DDE).....	51
35. Diagrama de Pareto Extracto Total (DDE).....	52
36. Diagrama de Pareto Tiempo de Ocupación Filtro Meura (DDE).....	52
37. Diagrama de Pareto Tiempo de Maceración. Sin pt centro (DDE).....	56
38. Diagrama de Pareto Extracto Primer Mosto. Sin pt centro (DDE).....	56
39. Diagrama de Pareto Extracto Digerible. Sin pt centro (DDE).....	57
40. Diagrama de Pareto Tiempo de Ocup. Filtro Meura. Sin pt centro (DDE).....	57
41. Diagrama de Pareto Extracto Eluible. Sin pt centro (DDE).....	58
42. Diagrama de Pareto Extracto Total. Sin pt centro (DDE).....	58
43. Gráfico de Cubo Tiempo de Ocup. Filtro Meura (DDE).....	59
44. Gráfico de Cubo Tiempo de Maceración (DDE).....	60
45. Gráfico de Cubo Extracto Digerible (DDE).....	60
46. Gráfico de Cubo Extracto Eluible (DDE).....	61
47. Gráfico de Cubo Grados de Fermentación (DDE).....	61
48. Gráfico de Cubo FAN (DDE).....	62
49. Gráfico de Contorno Tiempo de Ocup Filtro Meura. Bajo (DDE).....	63
50. Gráfico de Contorno Tiempo de Ocup Filtro Meura. Alto (DDE).....	63
51. Gráfico de Contorno Extracto Digerible. Bajo (DDE).....	64
52. Gráfico de Contorno Extracto Digerible. Alto (DDE).....	64
53. Gráfico de Contorno Extracto Eluible. Bajo (DDE).....	65
54. Gráfico de Contorno Extracto Eluible. Alto (DDE).....	65
Verificación de los supuestos.	
55. Normalidad de los Residuos – Ext. Digerible.....	66

56. Igualdad de las Varianzas – Ext. Digerible.....	66
57. Normalidad de los Residuos – Ext. Eluible.....	67
58. Igualdad de las Varianzas – Ext. Eluible.....	67
59. Normalidad de los Residuos – Ext. Total.....	68
60. Igualdad de las Varianzas – Ext. Total.....	68
61. Normalidad de los Residuos – Tiempo de Ocup. Filtro Meura.....	69
62. Igualdad de las Varianzas – Tiempo de Ocup. Filtro Meura	69
63. Normalidad de los Residuos – Tiempo de Maceración.....	70
64. Igualdad de las Varianzas – Tiempo de Maceración.....	70
Análisis de Resultados Diseño de Experimento Laboratorio.	
65. Diagrama de Pareto Primer Mosto (DDELab).....	75
66. Diagrama de Pareto Extracto Ultima Agua (DDELab).....	76
67. Diagrama de Pareto Extracto Eluible (DDELab).....	76
68. Diagrama de Pareto Extracto Digerible (DDELab).....	77
69. Diagrama de Pareto Extracto Total (DDELab).....	77
70. Diagrama de Pareto Extracto Eluible. Sin pt centro (DDELab).....	80
71. Diagrama de Pareto Extracto Digerible. Sin pt centro (DDELab).....	80
72. Diagrama de Pareto Extracto Total. Sin pt centro (DDELab).....	81
73. Gráfico de Cubo Extracto Digerible (DDELab).....	82
74. Gráfico de Cubo Extracto Eluible (DDELab).....	82
75. Gráfico de Cubo Extracto Total (DDELab).....	83
76. Gráfico de Contorno Extracto Total. Bajo (DDELab).....	84
77. Gráfico de Contorno Extracto Total. Alto (DDELab).....	84
Verificación de Supuestos (DDELab)	
78. Normalidad de los Residuos – Ext. Digerible (DDELab).....	85
79. Igualdad de las Varianzas – Ext. Digerible (DDELab).....	85
80. Normalidad de los Residuos – Ext. Eluible (DDELab).....	86
81. Igualdad de las Varianzas – Ext. Eluible (DDELab).....	86
82. Normalidad de los Residuos – Ext. Total (DDELab).....	87
83. Igualdad de las Varianzas – Ext. Total (DDELab).....	87

INTRODUCCION

El proceso de elaboración de cerveza y malta a nivel industrial, ha crecido con el pasar de los años de manera exponencial, siendo los procesos cada vez más automatizados, contando con maquinaria de alta tecnología, buscando siempre la normalización y optimización de los procesos y a su vez, minimizar los defectos. Hecho que no es distinto en Cervecería Polar C.A, pero a pesar de ello, al igual que todo proceso industrial, no escapa de la merma durante el desarrollo de sus operaciones, hecho que por las estrictas políticas de calidad de Empresas Polar, no pasa desapercibido.

Con las actividades cotidianas, llevadas a cabo para el aseguramiento de la calidad en esta planta, se ha detectado una merma importante durante la elaboración de mosto cervecero, específicamente en la etapa de filtración de mosto caliente. Y es que los sólidos separados durante esta etapa, son considerados un sub-producto para la elaboración de alimentos para animales en la planta de Alimentos Polar, ubicada en Chivacoa. Este Sub-producto, se le conoce como “Nepe o Afrecho” y debe cumplir con ciertos requerimientos, ya que en él se encuentran componentes provenientes de la cebada y de la hojuela que no han sido extraídos (no diluidos), componentes que son de gran importancia para la producción de Mosto Cervecerero. Por ello, si el porcentaje estos componentes no diluidos (extracto) presentes en el Nepe, se encuentra fuera de norma (Según Plan de Inspección y Ensayo) se está ante la presencia de una merma de extracto, como es el caso actual.

Con la finalidad de minimizar esta merma existente en el Nepe, se llevó a cabo este proyecto, basado en la metodología “Seis Sigma” para reducir la variabilidad de esta fuente de merma, proyecto realizado en el departamento de elaboración de la Planta de Cervecería Polar en San Joaquín.

Información General de la empresa.

Empresas Polar es una corporación industrial venezolana, que con más de 70 años de historia es considerada la más grande e importante del país después de PDVSA.

Empresas polar centra sus actividades en el sector de alimentos, bebidas, y otros productos de consumo masivo, por lo que se sub-divide en tres grandes empresas como lo son Cervecería Polar, Alimentos Polar y Pepsi-Cola Venezuela.

Empresas polar dispone de la infraestructura de producción, comercialización y servicios más importantes del sector privado venezolano. Dentro de todo el territorio nacional cuenta con 28 plantas de producción y 191 agencias, sucursales y centros de distribución, a lo que se debe sumar una planta productora de alimentos localizada en Colombia y una productora de malta ubicada en Estados Unidos. Sus principales productos se comercializan en otros países de América Latina, Caribe, Norteamérica y Europa.

Descripción de la empresa.

Cervecería Polar fue fundada en 1.941 con la aparición de la Cerveza Polar o Polarcita tipo Pilsen. Cuenta actualmente con cuatro plantas ubicadas estratégicamente en el territorio nacional, en Caracas, Maracaibo, Barcelona y San Joaquín, las cuales centran sus operaciones productivas en la elaboración y envasado de bebidas alcohólicas como la Cerveza Polar y la malta Maltin, a las que se suma la planta Pomar ubicada en Carora y encargada de la elaboración y envasado de vinos y sus derivados como la sangría.

Empresas Polar también produce sus empaques utilizados para el envasado de sus productos de Cervecería Polar y Pepsi Cola Venezuela, para lo cual cuenta con otra planta destinada a ello.

El producto principal de Cervecería Polar es la Cerveza Polar, en sus diversas presentaciones como la Polar Ice, Solera, Solera Light, Polar Light, Polar tipo Pilsen, Polar Zero y la Malta Maltin, los cuales son considerados los mejores y más populares

del país, abarcando un 75% de ventas en el territorio nacional. Estos productos son producidos a base de cebada malteada importada desde Europa, y en el caso de los vinos y sangría a base de uvas fermentadas. Cabe destacar que la popularidad de estos productos ha cruzado fronteras del país, llegando hasta Europa (España e Italia), Estados Unidos, Panamá y Las Islas del Caribe.

En Cervecería Polar, Planta San Joaquín se elabora la cerveza tipo Pilsen, Ice, Light, Zero, Solera y Solera Light y se envasan solo en botellas retornables y no retornables, también se elabora la malta Maltin y Maltin Light, las cuales son envasadas en botellas y en envases tipo PET (Tereftalato de polietileno).

Reseña Histórica.

La historia de Empresas Polar comienza cuando el joven Alejandro Mendoza Fleury tuvo la idea de establecer una compañía cervecera, la cual comenzó a hacerse realidad cuando el barco que transportaba desde Europa la primera paila de cocimiento logró cruzar el océano y llegar finalmente a Venezuela en la navidad de 1.939. Poco más de un año después, el 14 de marzo de 1.941 se iniciaba oficialmente la historia de Cervecería Polar C.A, una pequeña planta ubicada en Antimano, al oeste de Caracas, que luego de sus primeros pasos en un anuncio de solicitud de personal llevó al maestro cervecero Checoslovaco de origen Judío Carlos Roubicek a ingresar a la empresa. En esos tiempos la empresa contaba con solo 50 trabajadores y una capacidad de producción de 30000 litros mensuales, que se dividían en dos productos, Cerveza Polar y Cerveza Negra Bock, hasta que el ingeniero Carlos Roubicek detectó la necesidad de cambiar la fórmula del producto, ya que descubrió que lo que el consumidor realmente buscaba era una cerveza más refrescante, reformulando así la cerveza Polar y llevándola rápidamente al primer lugar en la preferencia de los Venezolanos frente a 14 marcas como competencia que existían en esos tiempos. Esta planta en 1.945 pasó a ser la cervecería más moderna y mecanizada de América Latina, al ampliar sus instalaciones y realizar mejoras.

En el año 1.948 se crea la Distribuidora Polar S.A, DIPOSA, con la finalidad de agilizar las ventas ante una notable creciente demanda en la capital y seguidamente en el territorio nacional, por ende en 1.950 inicia sus operaciones la segunda planta cervecera en el oriente del país para cubrir los mercados de Anzoátegui, Monagas Sucre y Nueva Esparta, esta planta contaba con 57 trabajadores y una capacidad de producción de 500000 litros al mes y fue aquí donde nació Maltin Polar, malta sin alcohol refrescante y nutritiva.

El 8 de abril de 1.951 inicia sus operaciones la tercera planta cervecera ubicada en Los Cortijos, al este de Caracas, la cual contaba inicialmente con 140 empleados y una capacidad de producción de 500000 litros al mes buscando cubrir el mercado que a la planta de Antimano ya se le hacía grande. Con tres plantas cerveceras operando en el país y con una demanda cada vez mayor, se decide construir una planta procesadora de Maíz, ya que este era fundamental en la fórmula ideada por Carlos Roubicek, esta inicio sus operaciones en 1.954 en Turmero, estado Aragua, con la finalidad de sustituir la importación y autoabastecerse, que adicionalmente fue fundamental para expandirse al negocio de alimentos.

En el año 1.960 se suma la cuarta planta cervecera, ubicada en Maracaibo, Cervecería Modelo C.A, esta contaba con una capacidad de producción de 4000000 de litros mensuales y abarcaría el mercado en el occidente del país e iniciaba la historia de la emblemática Harina P.A.N.

Con la muerte de Lorenzo Mendoza Fleury en 1.969, toma el mando de Cervecería Polar, su hijo Lorenzo Alejandro Mendoza Quintero, quien colocó la primera piedra el 5 de diciembre de 1.975 de lo que sería el complejo cervecero más grande de América Latina para el año 1.978 cuando arrancaba las operaciones Cervecería Polar del Centro C.A, en la población de San Joaquín, Estado Carabobo. Es en el año 1.977 cuando es creada Fundación Polar, conocida a partir del 2.006 como Empresas Polar. Continuando con su crecimiento, Fundación Polar adquiere la empresa Supernevases Envalic en 1.981, al año siguiente construye la planta de tratamiento de aguas residuales de Remavenca e incursionando en los negocios de arroz (1.986), pastas y helados (1.987), y en 1.990 produciendo por primera vez Vinos Pomar.

Cervecería Polar lanza la marca Solera, la única cerveza Premium existente en el mercado para el año 1.991 y en este mismo año, la planta ubicada en Antimano, pasa a ser un Centro de Atención Nutricional Infantil, la cual opera hasta los momentos y quedando así con cuatro plantas de Cervecería y una de vinos. Luego, en el año 1.993, ya de la mano del actual presidente de Empresas Polar, Lorenzo Alejandro Mendoza Giménez, se incursiona en el mercado del refresco, adquiriendo la compañía Golden Cup, y en 1.995 nace Cervecería Polar Colombia S.A, para la distribución de los productos de la planta Modelo (Maracaibo) en el país vecino. Un año más tarde nace Pepsi-Cola Venezuela C.A.

En el año 1.997 Cervecería Polar introdujo en el mercado la primera cerveza ligera del país, Polar Light, mientras que en junio del 2.001 surge la nueva cerveza con botella transparente, Polar ICE, y en el 2.02 la cerveza con aroma a limón llamada Vox. Empresas Polar recibió en el 2.001 la certificación integral de calidad Platinum 9000 para sus cuatro plantas de cerveza y otras de alimentos. Y en el año 2.003 Solera Light se suma al portafolio de Cervecería Polar, siendo la única cerveza Premium de las light en el mercado.

Otros acontecimientos importantes en el crecimiento de Empresas Polar fueron: adquisición de Mavesa en 2.001, al año siguiente incorpora los productos Quaker y Gatorade a su catálogo de productos y amplía la planta de limpieza en el año 2.009 duplicando su capacidad de producción, y en el año 2.010 se instala la planta de yogures en Venezuela, mediante una alianza con el Grupo Leche Pascual, de España.

En la figura 1 y figura 2, que se observan a continuación, se puede conocer la distribución de cargos mediante el organigrama general de Empresas Polar y el de Cervecería Polar.

Organigrama General Empresas Polar.

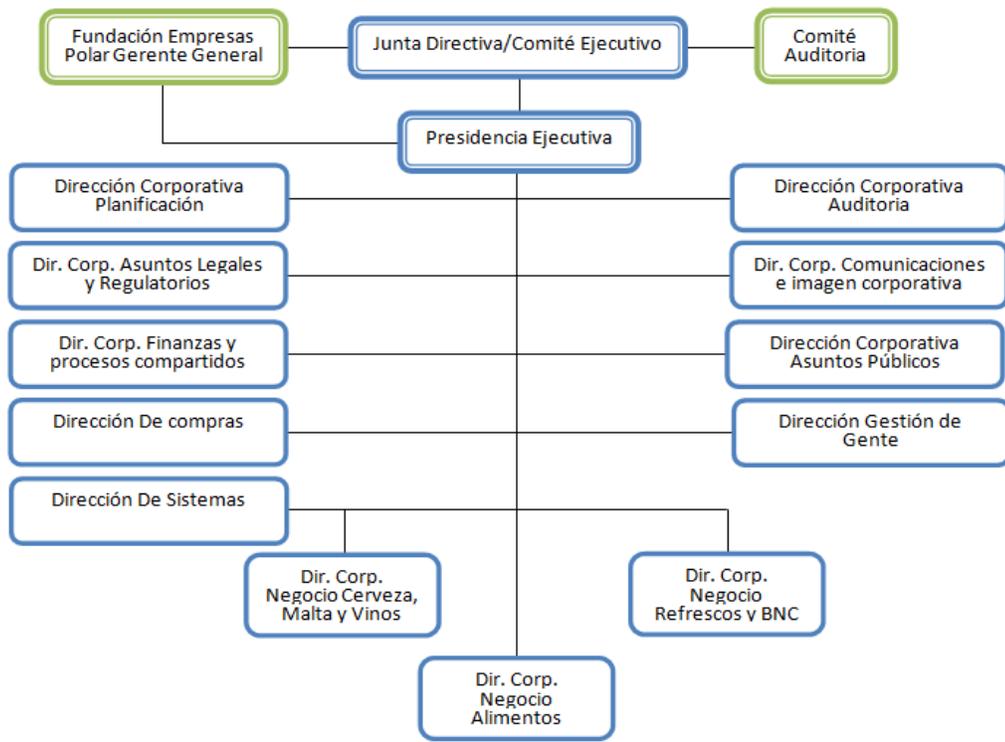


Figura 1. Organigrama General de Empresas Polar. (Fuente: Elaboración propia)

Organigrama de Cervecería Polar.

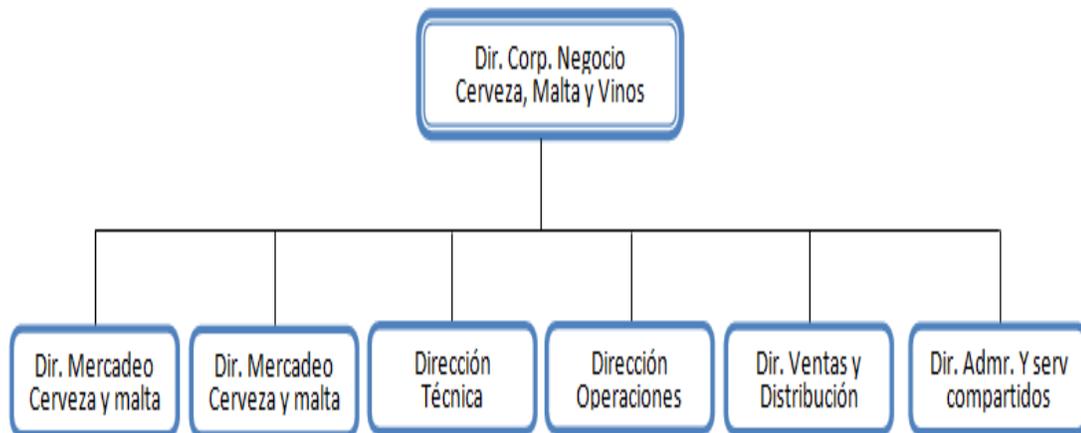


Figura 2. Organigrama de Cervecería Polar. (Fuente: Elaboración propia)

Misión.

La misión de Cervecería Polar es satisfacer las necesidades de los consumidores, clientes, compañías vendedoras, distribuidores, accionistas y trabajadores a través de sus productos y la gestión de sus negocios, garantizando los más altos estándares de calidad, eficiencia y competitividad; con la mejor relación precio/valor, alta rentabilidad y crecimiento sostenido. Contribuyendo con el mejoramiento de la calidad de vida de la comunidad y el desarrollo del país.

Visión.

Ser líder en el negocio de cerveza y malta en Venezuela y un participante clave en el mercado de América Latina, ofreciendo productos y marcas de alta calidad. Fortalecer su posición a lo largo de la cadena de valor, mientras que la orientación hacia el mercado, la excelencia en la atención y el servicio al cliente y sus marcas líderes, le permitan una presencia predominante en el punto de venta en Venezuela.

Mantener niveles de costos que los ubiquen entre las cinco primeras cervecerías a nivel mundial. Seleccionar y capacitar al personal con el fin de alcanzar los perfiles requeridos, logrando su pleno compromiso con los valores de Empresas Polar y ofrecerles las mejores oportunidades de desarrollo.

Valores.

- Orientación al mercado: Satisfacer las necesidades de los consumidores y clientes de manera consistente.
- Orientación a resultados y eficiencia: Ser consistentes en el cumplimiento de los objetivos, al menor costo posible.
- Agilidad y flexibilidad: Actuar oportunamente ante los cambios del entorno, siempre de la mano de la visión y misión que los representa como empresa.
- Innovación: Tener una actitud proactiva ante la generación de nuevas tecnologías y nuevos productos. Poseer la disposición a aprender, gerenciar y difundir el conocimiento.

- Trabajo en equipo: Fomentar la integración de equipos con el propósito de alcanzar metas comunes.
- Reconocimiento continuo al logro y la excelencia: Fomentar y reconocer constantemente entre sus trabajadores la excelencia y la orientación al logro.
- Oportunidades de empleo sin distinción: Proveer oportunidades de empleo en igualdad de condiciones.
- Relaciones de mutuo beneficio con las partes interesadas: Buscar el beneficio común en las relaciones con las partes interesadas del negocio.
- Integridad y civismo: Exhibir una actitud consistentemente ética, honesta, responsable, equitativa y proactiva hacia el trabajo y hacia la sociedad en la cual se desenvuelven.

Política de Calidad.

Es política y compromiso de Cervecería Polar, C.A, lograr la satisfacción de sus clientes, suministrándoles oportunamente productos con la más alta calidad del mercado, apoyados con el mejoramiento continuo y la actualización de los recursos humanos y tecnológica de los procesos, para asegurar la permanencia de la empresa en el tiempo, la calidad de vida de sus trabajadores y la conservación del medio ambiente.

Descripción del Departamento.

El Departamento de Elaboración es el encargado de llevar a cabo todo el proceso productivo para la elaboración del mosto cervecero, controlando desde la recepción de la materia prima, hasta el enfriamiento del mosto cervecero que va destinado a los tanques de fermentación. En este departamento se encuentra el Departamento de Calidad de Elaboración, donde se realizó este proyecto, en el laboratorio central, en el cual se llevan a cabo actividades diarias para asegurar la calidad rigurosa de los diversa gama de productos ofrecidos por Cervecería Polar, Planta San Joaquín, en este laboratorio aseguran que todos los parámetros necesarios para mantener la calidad en un alto nivel se encuentren dentro de los valores permitidos, haciéndose responsable de ello, tanto del área de elaboración como del área de fermentación.

En el siguiente organigrama (figura 3), se puede observar la distribución de cargos en el Departamento de Elaboración de Cervecería Polar, Planta San Joaquín.

Organigrama Departamento de Calidad Cervecería Polar, Planta San Joaquín

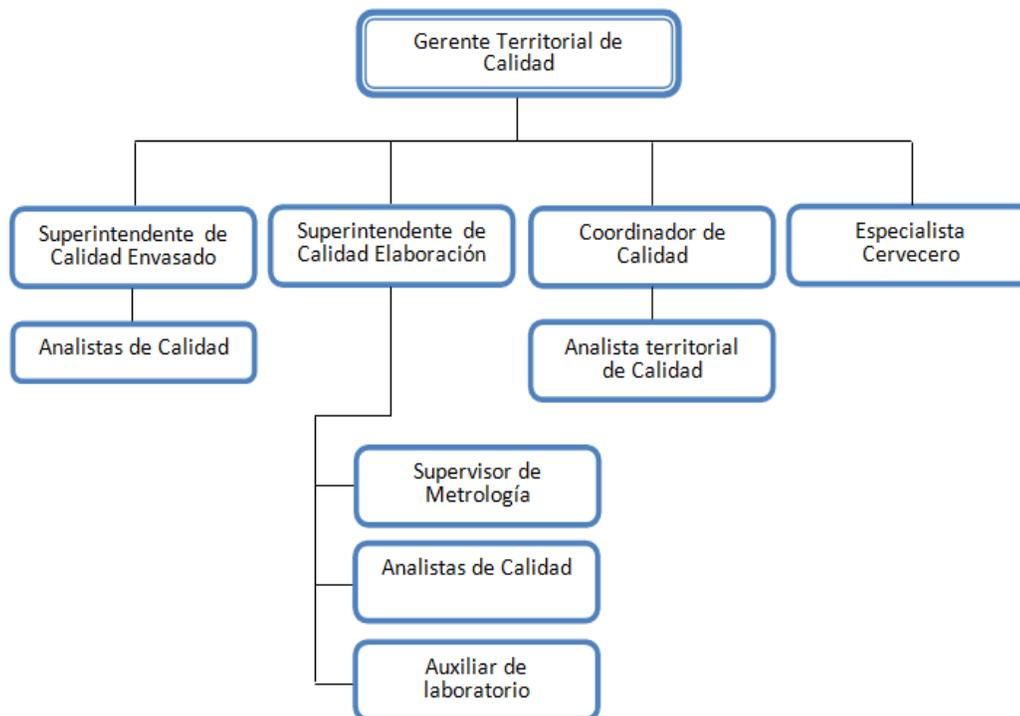


Figura 3. Organigrama Del Departamento de Calidad, Cervecería Polar, Planta San Joaquín. (Fuente: Elaboración propia)

El proyecto consistió en el seguimiento y estudio de la merma presente en el afrecho (Sub-producto utilizado en la planta de alimentos Polar ubicada en Chivacoa, para elaborar alimentos para animales) en el Departamento de Calidad de Elaboración, específicamente en el proceso de filtración de mosto caliente, el cual está conformado por dos filtros de prensa para cada tren (Dos trenes en total), quienes separan los sólidos del mosto, pertenecientes a la mezcla proveniente de la maceración. En estos sólidos conocidos como Nepe o Afrecho, existe extracto (Sólidos solubles presentes en el afrecho), este debe ser por norma, menor al 8% peso/peso, parámetro que se encuentra fuera de norma en la actualidad. Por ende se procedió a realizar el proyecto basándose

en la metodología Seis Sigma para el mejoramiento del proceso. En este proyecto se realizaron análisis de datos históricos donde se pudo comprobar la existencia de merma en el afrecho, se llevaron a cabo diseños de experimento donde se consideraron las variables que en teoría afectan al extracto que contiene la cebada y las hojuelas cerveceras (Principales portadoras), estos diseños de experimento se llevaron a cabo tanto a nivel de cocimiento como a nivel de laboratorio considerando otras variables a su vez, con la finalidad de determinar el mejor rango de valores al que deben operar las variables consideradas para el estudio realizado que permitan reducir la merma existente en el sub-producto del proceso de elaboración de cerveza y malta como lo es el Afrecho o Nepe, haciendo seguimiento a otros parámetros asegurando siempre que estos no se salgan de norma, evitando así, posibles problemas en etapas futuras del proceso de elaboración de cerveza.

Para llevar a cabo este proyecto se realizó un plan de trabajo, con un orden que se basó en las 5 etapas en las que se divide la metodología “Seis Sigma”.

A continuación se presenta el plan de trabajo donde se observan las actividades realizadas durante el desarrollo de las pasantías, vinculadas netamente con el proyecto asignado (Ver tabla 1).

Plan de Trabajo Propuesto		Fecha estimada		Semanas															
No.	Actividades a realizar	Inicio	Fin	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Inducción a Empresas Polar, conociendo las instalaciones, normas, seguridad y política de la empresa.	23-mar	27-mar	X															
2	Inducción al área de calidad de envasado, conociendo el proceso de envasado de cerveza y malta.	30-mar	10-abr		X	X													
3	Inducción al área de Elaboración. Conocer el proceso de elaboración. Entender la situación actual con respecto a la merma de extracto existente en esta área e Identificar las oportunidades de estudio para su reducción.	13-abr	17-abr				X												
4	Adiestramiento para el muestreo del afrecho y análisis en el laboratorio central para determinar el porcentaje de merma de extracto en cada muestra. Recolección de datos históricos para analizar el comportamiento del extracto en los últimos cocimientos realizados.	20-abr	30-abr					X	X										
5	Seguimiento a la merma de extracto y análisis en laboratorio aleatoriamente.	20-abr	19-jun					X	X	X	X	X	X	X	X	X			
6	Análisis de los estudios realizados y determinar las causas principales de la problemática.	15-jun	26-jun													X	X		
7	Presentar plan de mejora para reducción de merma de extracto, para ser aprobado y ejecutado.	29-jun	03-jul															X	
8	Conclusiones y recomendaciones para garantizar la continuidad la continuidad de la mejora.	06-jul	10-jul																X

Tabla 1. Plan de Trabajo. (Fuente: Elaboración propia)

Actividades realizadas.

Actividad 1. Reconocimiento general de la empresa. (Previa a la ejecución del proyecto)

Se realizó un recorrido alrededor de la planta, conociendo todas las instalaciones, sus departamentos y todo lo relacionado a sus objetivos, valores, normas y políticas de Empresas Polar y de Cervecería Polar.

Las etapas generales del proceso productivo en Cervecería Polar se pueden dividir de la siguiente manera (Ver figura 4).

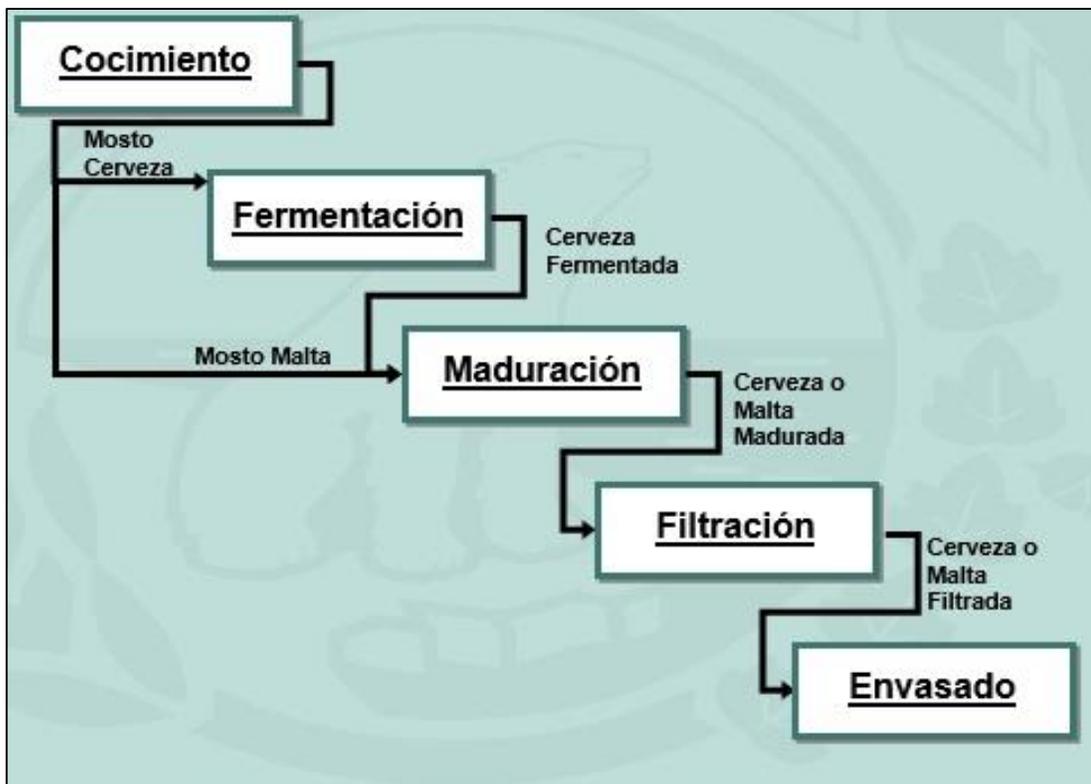


Figura 4. Proceso productivo general, Cervecería Polar. (Fuente: Portal Polar).

Dividiéndose en tres departamentos: Departamento de Elaboración, donde fue llevado a cabo este proyecto, Departamento de Fermentación/Filtración y el Departamento de Envasado.

Actividad 2. Inducción al departamento de Envasado. (Previa a la ejecución del proyecto)

Se realizó una Inducción al Departamento de Envasado, conociendo sus trenes de producción, las maquinarias existentes en este departamento y las actividades realizadas en el Laboratorio de Aseguramiento de calidad.

Cervecería Polar, Planta San Joaquín, cuenta con 15 líneas de envasado (trenes), encargadas de envasar todos los productos producidos en esta planta, como lo son:

- Cerveza Pilsen (222ml retornable, 330ml retornable y no retornable).
- Cerveza Polar Light (222ml retornable, 355ml retornable y no retornable).
- Cerveza Polar Ice (222ml retornable, 355ml no retornable).
- Solera (222ml Retornable).
- Solera Light (222ml Retornable).
- Polar Zero (355ml no retornable).
- Malta Maltin (222ml retornable, 250ml no retornable, 1.5L PET).
- Malta Maltin Polar Light (1.5L PET).

En el Laboratorio de Aseguramiento de Calidad de Envasado se realizan actividades día a día para controlar el proceso de envasado y asegurar el cumplimiento de la calidad de los productos terminados. Se controlan parámetros en el producto terminado como Oxígeno, Dióxido de Carbono, Alcohol, pH, volumen de contenido, torque de las chapas y tapas, entre otras actividades que permiten evaluar el rendimiento de los equipos existentes en cada tren.

En la siguiente figura, se puede detallar el proceso productivo en el Departamento de Envasado.

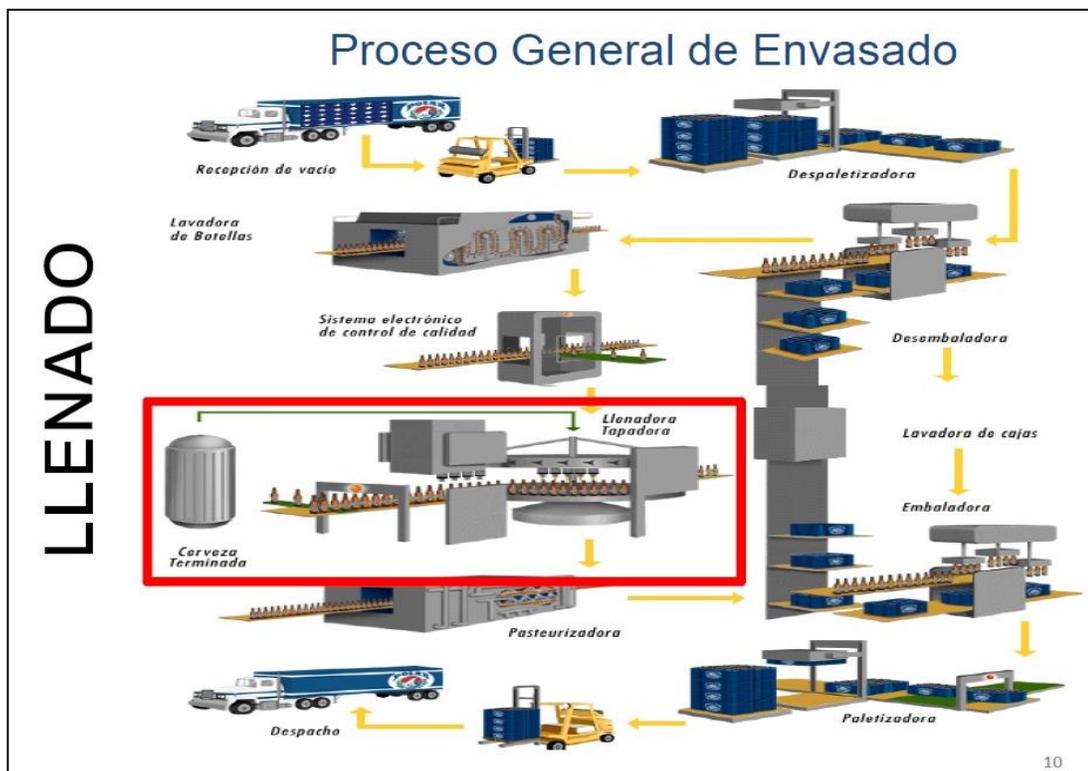


Figura 5. Diagrama del proceso productivo del departamento de Envasado. (Fuente: Portal Polar)

Actividad 3. Inducción al área de Elaboración y reconocimiento de la situación actual. (Previa a la ejecución del proyecto)

Se realizó un reconocimiento a todo el proceso de Elaboración y al laboratorio de calidad de este departamento, específicamente con las actividades relacionadas al proyecto asignado, se realizó un seguimiento a la merma reportada por el Laboratorio Central de los últimos meses, comprendiendo la merma existente en la elaboración de mosto cervecero.

El Departamento de Elaboración de esta planta controla la recepción de materia prima, la planificación de producción de mosto cervecero, la elaboración del mosto cervecero, incluyendo cada una de sus etapas y en este departamento se encuentra el Laboratorio de Aseguramiento de Calidad (Laboratorio Central) donde al igual que en el laboratorio de envasado, se realizan actividades día a día para asegurar la calidad de

la Cerveza y Malta Polar en cada una de sus presentación, adicionalmente, realizan los análisis necesarios para controlar el departamento de filtración/fermentación y de las plantas de tratamientos de aguas residuales y blancas (PTAR y PTAB), análisis a la materia prima recibida, entre otras.

El Departamento de Elaboración en esta planta cuenta con 34 silos de almacenamiento de cebada y cereales, los cuales se dividen en:

- 20 silos de Cebada Malteada, con una capacidad de 983 toneladas cada uno.
- 4 silos de Cebada Malteada con una capacidad de 264 toneladas cada uno.
- 4 silos de Cebada Sin Maltear cuya capacidad de almacenamiento es de 264 Toneladas.
- 6 entre silos de Adjunto Cervecerero de 232 Toneladas cada uno.

Elaboración está conformada por dos líneas de producción (actualmente instalándose una tercera línea), permitiendo una capacidad de producción de 21Cocimientos/día, donde cada cocimiento debe ser de aproximadamente 930hL.

Dichas líneas están conformadas por:

- Una paila de pre-mezcla (PPM), con una capacidad de 668hL, y es compartida por ambos trenes.
- Una paila de mezcla (PM), de 1.110 hL, donde se lleva a cabo el proceso de maceración.
- Dos filtros de prensa (Filtro Meura), que poseen una capacidad de carga de 10.000 Kg, y cada Filtro Meura cuenta con una tolva cuya capacidad es de 17m³.
- Un tanque de espera para el mosto filtrado, con una capacidad de 1.009 hL.
- Una paila de hervir cuya capacidad es de 1.460 hL.
- Un Whirlpool de 960 hL de capacidad.
- Dos trenes de enfriamiento, utilizados por ambas líneas, y que poseen una capacidad de 1400 hL/h.

Las líneas de enfriamiento van conectadas al área de Fermentación, la cual está conformada por:

- 65 Tanques Cilindro Cónicos (TCC): Con una capacidad 6.500 hL c/u, y una capacidad Total 42.250.000 litros, de todos los TCC.
- Un TCC para Levadura y un TCC para agua helada, adicionalmente.
- 33 tanques de Gobierno, Cuatro con una capacidad de 450.000 L c/u, 11 con una capacidad de 490.000 L c/u y 18 tanques con una capacidad de 150.000 L c/u, sumando en total una capacidad de 9.890.000 L.
- 6 tanques de Maltin filtrado: 2 con una capacidad de 450.000 L c/u, 4 con una capacidad de 150.000 L c/u, sumando un total de 1.500.000 L.
- 2 filtros para cerveza con una velocidad de 850hL/h c/u y un filtro maltin de 650 hl/h.

El proceso de elaboración en general para producir mosto de cerveza o malta es el siguiente mostrado en la figura 6.

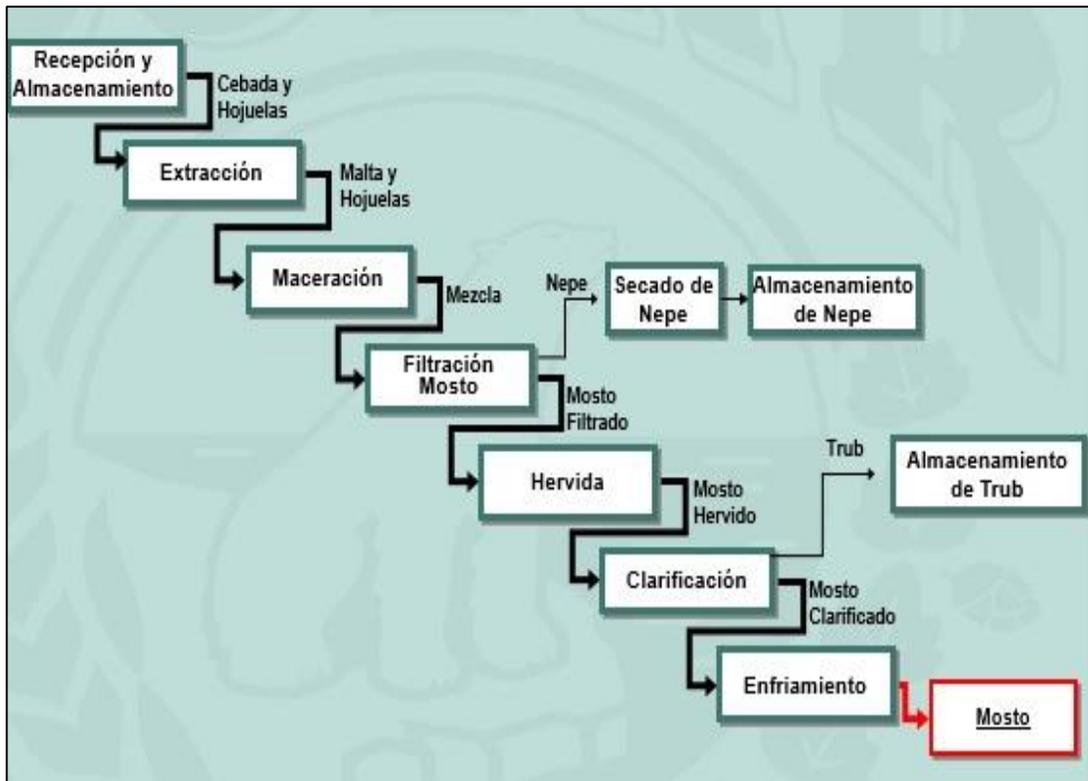


Figura 6. Diagrama del proceso productivo del Departamento de Elaboración. (Fuente: Portal Polar)

Recepción y almacenamiento.

Proveniente desde Europa, Canadá o Australia llega la cebada malteada (CM) y cebada sin maltear (CSM) en buques, para luego ser transportadas a las plantas de Cervecería Polar que corresponda, según sea el puerto de llegada (Puerto Cabello para planta San Joaquín y Cortijos). Al llegar a la planta mediante camiones, la Cebada pasa por un proceso de limpieza mediante separadores magnéticos, que permiten separar las partículas metálicas de la cebada, combicleaners que permiten separar las partículas pesadas o de gran tamaño y el polvo de la cebada, para así poder ser almacenada en sus respectivos silos.

La cebada malteada (CM) y cebada sin maltear (CSM) es la materia prima principal en la elaboración de la cerveza y la malta, debido a su alto contenido de almidón, la CSM puede ser utilizada como adjunto cervecero y a su vez es utilizada para economizar la preparación de la cerveza, ya que la cebada malteada es mucho más costosa debido a que esta pasa por un proceso para posteriormente ser vendida.

Los adjuntos cerveceros proporcionan también almidón pero en menor proporción que la cebada, estos también llegan en gandolas a la planta y por lo general son hojuelas de arroz o de maíz, o trigo, las cuales provienen de plantas propias de alimentos polar. Durante la llegada de cebada o de hojuelas, estas son depositadas desde el camión en sus respectivas tolvas de recepción que están conectadas mediante transportadores de cadena horizontal y elevadores de cangilones a sus respectivos silos de almacenamiento.

Extracción.

Es el paso inicial para la elaboración del mosto cervecero, por ende es controlado desde la sala de cocimiento. Este proceso se realiza por la parte inferior de los silos y mediante transportadores de cadena es llevada hasta elevadores de cangilones, para hacer pasar la cebada por combicleaners o tambores separadores, hasta llegar a la

báscula donde se controla por peso la cantidad a dosificar por cocimiento, regulada por la fórmula de molienda. En el caso de la cebada malteada, y cebada sin maltar llegan a una tolva después de ser molidas, mientras las hojuelas llegan a otra tolva pero estas sin ser molidas, una vez en sus respectivas tolvas ya se encuentran disponibles para ingresar a la mezcla, este procedimiento se realiza para cada cocimiento a realizar.

Durante la extracción al pasar la cebada por los combicleaners, se separa el polvo de la cebada, por lo que a ella es conectado un ducto hacia extractores de polvo.

La finalidad de moler la cebada es posibilitar la acción de las enzimas sobre los componentes que la cebada posee, logrando su desdoblamiento, por ende el proceso de molienda es de gran importancia. La calidad de la molienda tiene relación con el proceso de maceración, el tiempo de sacarificación, el tiempo de filtración, la fermentación, el color, el sabor y otros aspectos importante para la calidad de la cerveza final.

Maceración.

El proceso de maceración es el proceso principal durante la elaboración del mosto cervecero, este proceso arranca con la mezcla de agua cervecera, cebada molida, hojuelas de arroz o maíz en la Paila de Pre-mezcla (PPM), adicionalmente es agregada en una pequeña proporción de ácido sulfúrico, y enzimas, que pueden ser Enzima Beta-glucanasa y Enzima AMG300; en este proceso se disuelven los componentes insolubles provenientes de la cebada y de los adjuntos cerveceros, transformándolos en extracto.

La función del ácido sulfúrico es el control del pH en la mezcla, ya que el valor del pH influye en las reacciones enzimáticas que se producen durante el proceso de maceración, y en el aumento del color durante el proceso de cocción.

Por otra parte las Enzimas son moléculas proteicas que catalizan reacciones químicas o las aceleran significativamente, para lo cual el pH y la temperatura, deben encontrarse en un valor ideal para optimizar estas reacciones, la enzima Beta-glucanasa permite mejorar el proceso de filtración desdoblado los betaglucanos presentes,

mientras que la enzima amiloglicosidasa (AMG) 300 optimiza la transformación de azúcares no fermentables en fermentables.

La mezcla en la PPM se controla por nivel (altura) para comenzar a ser trasvasada a la Paila de Maceración (PM), donde se le da la temperatura óptima para la actividad enzimática.

El objetivo principal del proceso de maceración es desdoblar el almidón en azúcares fermentables y dextrinas solubles, es en este proceso donde se genera la mayor cantidad de extracto. La mayoría de los componentes de la malta son insolubles, por ende es necesario transformarlos en solubles, estos compuestos insolubles son: almidón, celulosa, compuestos proteicos de alto peso molecular que se desdoblán en azúcares como la glucosa, la cual es la principal en ser atacada por la levadura, arrancando la fermentación, la maltosa, que es fermentada rápida y fácilmente y la matotriosa, fermentada luego de la maltosa, es decir en la post-fermentación y dextrinas que no son fermentables pero si soluble.

Las etapas del desdoblamiento del almidón son:

- Gelatinización: Donde los gránulos de almidón comienzan a almacenar agua aumentando su volumen y provocando su estallido en forma de una solución viscosa, este almidón gelatinizado es atacado inmediatamente por las enzimas disueltas en la mezcla.
- Licuefacción: Es la disminución de la viscosidad del almidón gelatinizado, donde las cadenas largas de almidón se convierten rápidamente en cadenas cortas.
- Sacarificación: Es el desdoblamiento del almidón a maltosa y dextrinas de cadenas cortas, y es en esta etapa donde se realiza una prueba denominada “prueba de yodo” que permite conocer si se ha logrado el desdoblamiento del almidón en los azúcares ya mencionados.

Filtración de Mosto.

Una vez sacarificada la mezcla, esta pasa al proceso de filtración, que consiste en la separación de la porción diluida conocida como Mosto, de la porción insoluble, llamada Nepe o Afrecho, siendo considerado solo el mosto para la elaboración de la cerveza, pues es en el donde están todos los componentes provenientes de la cebada y hojuelas (extracto), como azúcares, dextrinas, proteínas y minerales, productos de la actividad enzimática durante la maceración como ya se ha explicado anteriormente.

El Nepe o Afrecho está compuesto básicamente por conchas, siendo todos los sólidos existentes luego de la maceración.

Aproximadamente, entre el 75-80% de materia prima se disuelve durante la elaboración de mosto cervecero, el resto es separado conformando así el Nepe, mientras que de ese 75-80% que conforma el extracto, es aproximadamente el 61-65% azúcares fermentables y el resto, extracto no fermentable, como se puede detallar en la siguiente figura (figura 7).

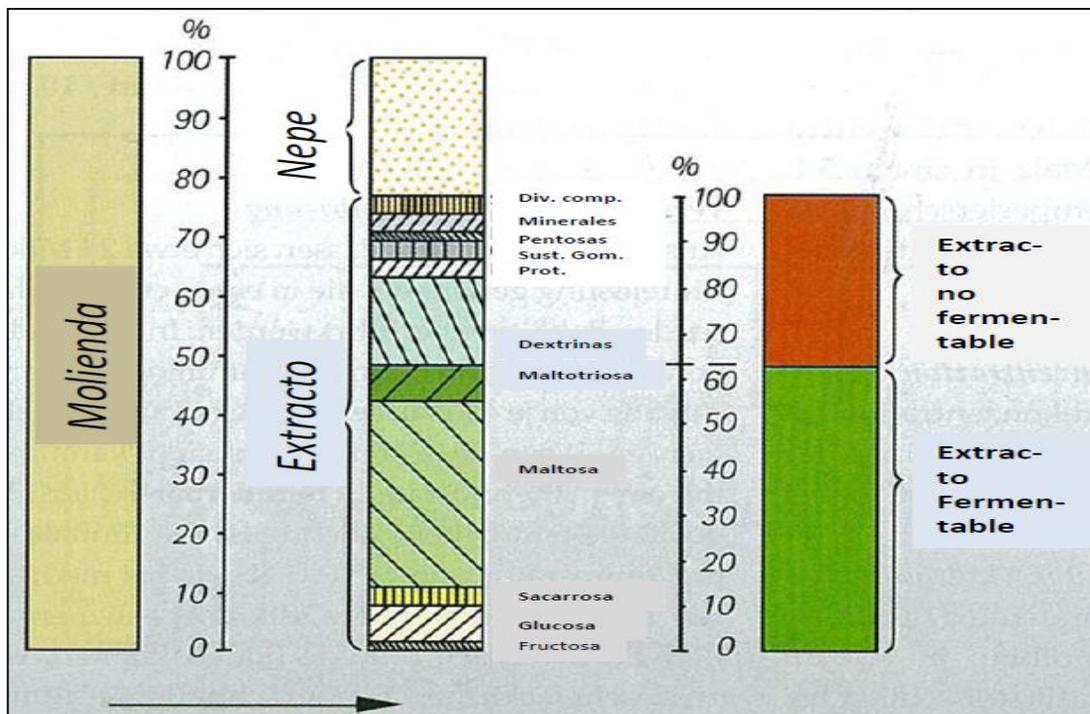


Figura 7. Composición del Extracto. (Fuente: Portal Polar)

El mosto principal que corre a través de la torta de nepe (Contenido en los Filtros Meura) es denominado Primer Mosto, pero una vez finalizada la filtración inicial, sigue quedando extracto presente en la torta, la cual se puede extraer mediante el lavado con agua caliente, conociéndose esta etapa de la filtración como Riego. Mientras que al mosto con menor concentración se le conoce como ultima agua, la cual es normalmente de 0,5-2%.

El proceso de filtración en esta planta se realiza mediante filtros de prensa (Meura), los cuales son filtros de placas y marcos, poseen un montaje alternado de placas cubiertas de ambos lados por un material filtrante, por lo general y en este caso es tela y marcos huecos, estos proporcionan espacio entre ellos para acumular la torta de nepe durante el proceso de filtración, en dichos marcos existen agujeros para el llenado y el lavado, mientras que las placas cuentan con agujeros para drenar el mosto filtrado.

El filtro Meura se divide básicamente en las siguientes partes mostradas en la figura número 8.

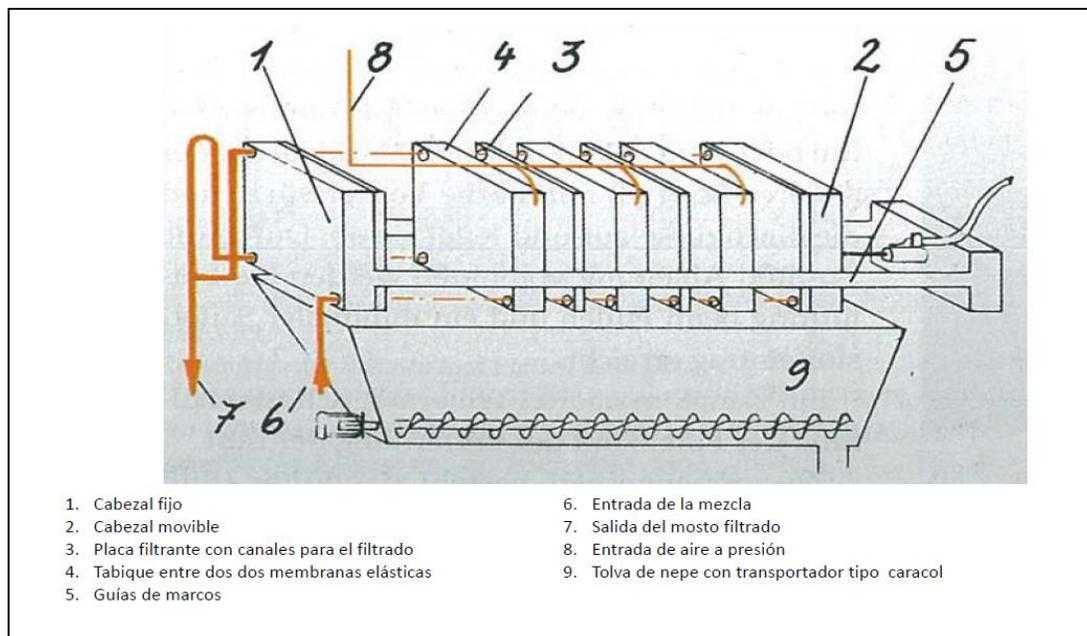


Figura 8. Esquema de Filtro Meura. (Fuente: Portal Polar)

Mientras que en la siguiente figura se observan las partes que componen a una placa de un Filtro Meura.

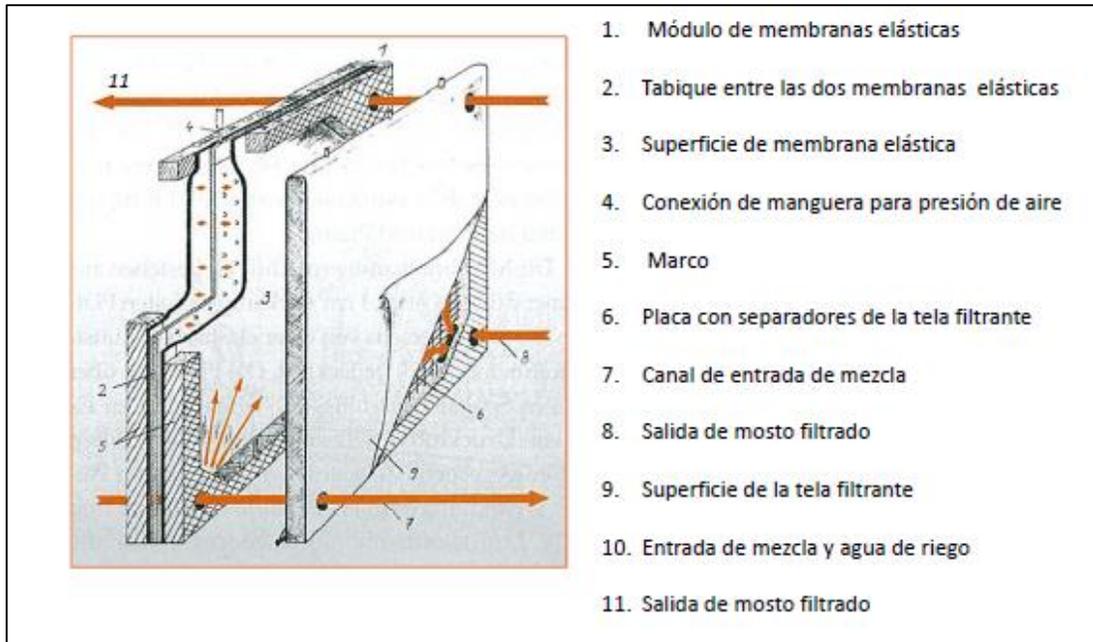


Figura 9. Esquema de placa de un Filtro Meura. (Fuente: Portal Polar)

La figura número 10 permite observar las etapas del proceso de Filtración.

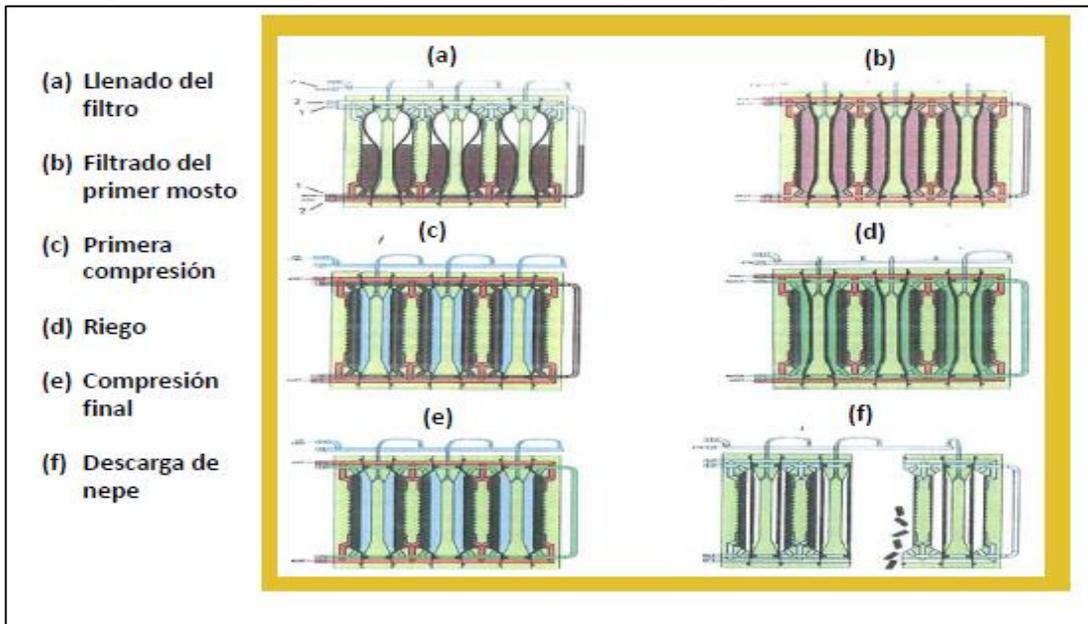


Figura 10. Etapas Filtración de Mosto Caliente. (Fuente: Portal Polar)

- (a) **Llenado de filtro:** Una vez iniciado el vaciado de la Paila de Mezcla, comienza a llenar el filtro Meura a presión y temperatura constante, llenando por completo los marcos.
- (b) **Filtración:** Una vez se encuentre lleno el filtro, comienza a filtrar la mezcla con bajo flujo para evitar una presión elevada, los sólidos quedan retenidos y el mosto atraviesa las telas filtrantes, hasta el vaciado por completo de la paila de mezcla, Filtrando aproximadamente 550-600 hL.
- (c) **Pre-compresión:** Finalizada la filtración del primer mosto, queda dentro del filtro Meura los sólidos provenientes de la maceración (Nepe), en el mosto, por ello se comprime a baja presión, con la entrada de aire a las membranas para extraer dicho mosto.
- (d) **Riego:** El Nepe contenido en el filtro Meura, posee extracto aun por retirar, y esto se logra mediante el lavado con agua caliente, con un total de 380 hL de agua a 75°C. distribuyéndose en 4 Riegos.
- **Primer Riego:** Controlado por un PID de presión, comienza cuando la presión de las membranas ha disminuido a 50mbar, después de la despresurización de la Pre-compresión, regando aproximadamente 25hL.
 - **Segundo Riego:** Es controlado por un PID de flujo a 500hL/h, y finaliza cuando el volumen de riego ha alcanzado los 120hL y el mosto filtrado es ≥ 490 hL.
 - **Tercer Riego:** Es controlado por flujo a 550hL/h y finaliza cuando el volumen de riego ha alcanzado los 240hL y el volumen filtrado los 600hL.
 - **Cuarto Riego:** el último de los riegos, donde se inyecta el resto de agua de riego faltante (140hL). Con un flujo de 600hL/h. finaliza con los 380hL de agua de riego y el volumen de mosto filtrado de 906hL. Cabe destacar que la presión en los riegos no debe superar los 1100mbar en la entrada del filtro Meura porque de ser así va a control por presión por sistema de seguridad del equipo.
- (e) **Compresiones:** Consiste en dos etapas para someter las membranas a presión baja y alta para minimizar la humedad del nepe, extrayendo el resto de mosto posible.

- **Primera Compresión:** Inyecta aire a las membranas a baja presión, aproximadamente a 850mbar.
 - **Segunda Compresión:** Inyecta aire a las membranas a alta presión, aproximadamente a 950mbar. En esta etapa el extracto del mosto filtrado debe estar entre 0,5% y 2%.
 - **Vaciado:** El nivel final de mosto presente en el tanque buffer debe ser menor a 250mm.
 - **Descompresión:** Se despresurizan las membranas a presión atmosférica hasta llegar a 0mbar.
- (f) **Descarga de Nepe:** El Nepe contenido en el Filtro Meura, ya con baja humedad, es vaciado hacia las respectivas tolvas que poseen los filtros Meura, un aproximado de 18 toneladas es obtenido en Nepe por cada cocimiento, este sub-producto es destinado a la planta de alimentos polar, para la elaboración de alimentos para animales, pero antes pasa por un proceso de secado para su posterior almacenamiento hasta la realización del despacho de Nepe seco. En esta etapa de descarga de nepe, es muestreado el afrecho para ser analizado en el laboratorio central y determinar la pérdida de extracto que está presente en el afrecho, que por norma debe ser menor al 8% del peso total del nepe, esto a su vez indica el rendimiento de la maceración y de la filtración, es esta etapa del proceso, una de las fundamentales para ejecutar este proyecto.

El mosto filtrado final es aproximadamente 960-1000hL, y mientras este es filtrado, es almacenado en un tanque de espera, que una vez contenga la totalidad de mosto filtrado, bombea al siguiente proceso.

El tiempo de ocupación del Filtro, desde su verificación de condiciones iniciales hasta la finalización de la descarga de Nepe debe ser un aproximado a los 120 minutos. En la siguiente figura (figura 11) se observa el Filtro Meura utilizado en esta Planta de Cervecería Polar.



Figura 11. Filtro de Prensa/Filtro Meura. (Fuente: Portal Polar)

Hervida.

Finalizada la filtración, la paila de hervir recibe desde el tanque de espera el mosto, aproximadamente 960-1000hL.

En esta etapa del proceso de elaboración de mosto cervecero, son disueltos los componentes provenientes del lúpulo (Lúpulo CO₂, para el caso de la cerveza tipo Pilsen), y se precipitan sustancias proteicas.

Durante el hervido del mosto ocurren los siguientes procesos:

- Disolución y transformación de compuestos del lúpulo.

Las resinas del lúpulo o sus sustancias amargas, son componentes principales del lúpulo, ya que estos proporcionan el amargo característico de la cerveza, estos no son solubles en el mosto frío para algunos tipos de lúpulo (Lúpulo CO₂) por ello debe ser sometido a la hervida con el mosto para lograr su isomerización, que genera cambios estructurales de las moléculas del lúpulo, originando compuestos mucho más solubles.

- Formación y precipitación de compuestos de proteína polifenoles (TRUB).

Polifenoles del lúpulo (CO₂ utilizado en la Pilsen) y de la Malta se disuelven completamente en el mosto y se combinan con compuestos proteicos, resultando así compuestos no solubles, estos precipitan durante la cocción en forma de TRUB. Esta formación de trub dependerá del tiempo de cocción, de la intensidad del movimiento, del valor del pH, por ello se trabaja con el control de este antes de la hervida. Este debe ser removido caliente, ya que de no ser así puede influenciar negativamente en la fermentación y calidad final de la cerveza.

- Evaporación de agua excedente.

Mediante la ebullición se produce una reconcentración del mosto, evapora el agua excedente del mosto pero esto requiere costo de energía (vapor) por ello se debe procurar no evaporar más tiempo del necesario ni agregar más agua de la debida para luego tener que evaporar este exceso.

- Esterilización del mosto.

La materia prima utilizada para la elaboración del mosto puede tener presencia de microorganismos, estos pueden alterar la calidad de la cerveza de no ser eliminados, con el proceso de hervida todos estos microorganismos son eliminados.

- Destrucción de las enzimas.

Durante la hervida del mosto son eliminadas las enzimas aun presentes en el mosto, con ello se puede evitar posteriores cambios no deseados en la composición del mosto.

- Evaporación de sustancias aromáticas indeseables y aumento de color del mosto.

El DMS (Sulfuro de dimetilo) es un compuesto sulfurado volátil, este produce aromas y sabores no deseados en la cerveza terminada, por ello es de vital importancia reducir sus valores hasta no ser detectables. Durante la cocción también se genera el oscurecimiento del mosto

Por otra parte en este proceso es agregado más ácido sulfúrico al proceso, para seguir controlando los valores del pH, esto ofrece ventajas como:

- Mejora formación y coagulación del TRUB.

- Aumento moderado del color.
- Obtención de un amargo fino y noble en la cerveza.
- Mayor sensibilidad de los microorganismos.

Clarificación.

El trub formado durante el proceso de hervida, está constituido por partículas más pesadas que el mosto, lo que las hace generalmente fácil de sedimentar si se deja el tiempo adecuado. Este trub al no agregar valor alguno a las siguientes etapas del proceso es retirado y almacenado en sus respectivos tanques, para luego reutilizar bien sea enviándolo directamente al Nepe, a los filtros Meura o por lo general agregarlo a la Maceración, siempre y cuando dicho Trub sea compatible con el tipo de mezcla realizando en el momento (Trub Pilsen solo para mezcla Pilsen, mientras el Ice es empleado para todas las mezclas de cerveza). No retirar el trub implicaría complicaciones como:

- No clarificación del mosto.
- Ensucia la superficie de la levadura.
- Aumenta la cantidad de material sedimentable, por ende aumenta la merma.
- Dificulta la filtración de la cerveza.

El trub es removido mediante Centrifugas, Filtración, Rotapools o Whirlpools como es el caso de esta planta.

Remover el Trub caliente mediante un Whirlpool es el método más utilizado y más económico, este método consta de un tanque cilíndrico donde el mosto es bombeado tangencialmente, formando una corriente con rotación en el recipiente que provoca al trub agruparse en forma de un cono y así sedimentar al fondo. El mosto clarificado es extraído lateralmente.

Enfriamiento.

El mosto proveniente del Whirpool sigue estando a altas temperaturas y debe ser enfriado lo mas rapido p sible ya que la levadura solo puede fermentar el mosto cuando la temperatura de este esta entre 10 y 12°C, pero adicionalmente a la temperatura, al mosto se le debe dosificar aire (aireaci3n) para el 3ptimo crecimiento y propagaci3n de la levadura, esta aireaci3n se realiza en los Tanques Cilindricos-conicos (TCC's) ubicados en fermentaci3n.

Para el enfriamiento del mosto, en Planta San Joaquin se utilizan intercambiadores de placas como el observado en la figura 12, el cual consiste en un marco de acero inoxidable que esta conformado por una serie de placas empotradas, presionadas para mantenerse juntas. Estas placas estan intercaladas permitiendo fluir al mosto entre ellas y al fluido enfriante (Amoniaco en este caso) a contraflujo sin mezclarse. Es decir en cada placa fluye por un lado el mosto caliente y por el otro el fluido enfriante.

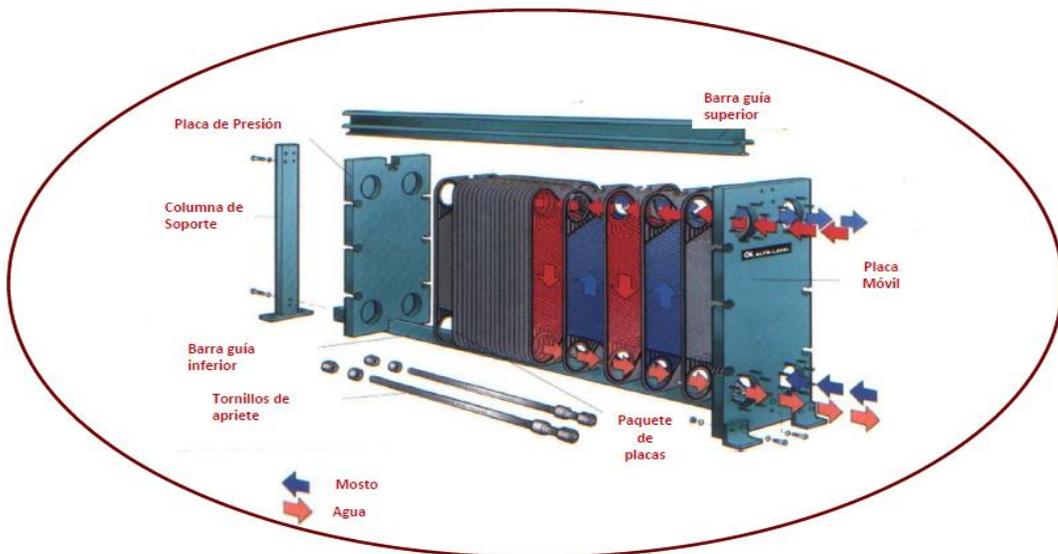


Figura 12. Intercambiador de placas. (Fuente: Portal Polar)

Con el enfriamiento el mosto finaliza la elaboración del mosto cervecero, las siguientes etapas se realizan para convertir este mosto cervecero en cerveza lista para el envasado y obtener así el producto terminado. En el departamento de Fermentación/filtración se encuentran los TCC's donde es fermenta la cerveza por aproximadamente 4 días, mientras la levadura se alimenta de los azucares fermentables existentes en el mosto, esta va sedimentando, lo que facilita la extracción de ella mediante una purga por la parte inferior del TCC, y almacenar la levadura para una nueva fermentación de mosto. Una vez fermentada la cerveza comienza el proceso de maduración, que se realiza a temperaturas de 0 - 1 °C, necesitando 6 días entre la fermentación y la maduración. La maduración permite terminar de fermentar el resto de extracto fermentable, aclarar la cerveza, sedimentar la levadura en suspensión y eliminar compuestos secundarios que generan sabores y aromas no deseables en la cerveza. Para eliminar las células de levadura y otras sustancias que causan turbidez en la cerveza, se realiza el proceso de Filtración, donde también se logra la apariencia brillante de la cerveza y se mejora la estabilidad fisicoquímica. Finalizada la filtración la cerveza es depositada en los tanques de gobierno, donde están ya listas para ser embotelladas en el departamento de envasado.

Durante el proceso de elaboración de mosto cervecero, una de las principales etapas donde se genera merma, es en el proceso de filtración de mosto caliente, es aquí donde se centró este proyecto de metodología Seis Sigma, la cual está dividida en cinco etapas: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar (DMAIC en inglés o DMAMC en español), etapas que veremos desarrolladas a continuación.

Metodología Seis Sigma

A continuación se desarrollan las cinco etapas que componen esta metodología, donde se describen el resto de actividades planificadas, todo en base al proyecto realizado durante las pasantías.

- **Definir.**

En el proceso de filtración de mosto caliente, es extraído mediante filtros de prensa (Filtro Meura) los sólidos provenientes de la maceración, estos son considerados un sub-producto llamado “Afrecho o Nepe” y es utilizado en la planta de Alimentos Polar para fabricar alimentos para animales, dicho sub-producto según las políticas de calidad de Cervecería Polar debe cumplir con ciertas especificaciones, controlando así la fuga de extracto en él, ya que el extracto es fundamental en la fermentación en la cerveza. Según el Plan de Inspección y Ensayo (PIE) el extracto presente en el afrecho, debe ser menor al 8%PESO, especificación que no se cumple consistentemente en ninguno de los dos trenes de producción con los que cuenta actualmente la planta, por lo que esta se considera una fuente de merma del proceso de elaboración.

Según PIE las especificaciones para el extracto son las siguientes:

Extracto Total de Nepe = Extracto Eluible + Extracto Digerible

Extracto Total de Nepe (ET) \leq 8%p/p

Extracto Eluible (EE) \leq 4%p/p

Extracto Digerible (ED) \leq 4%p/p

En el siguiente diagrama (figura 13) que contiene las etapas de elaboración de mosto cervecero, se remarcan en verde las etapas fundamentales para la ejecución de este proyecto.

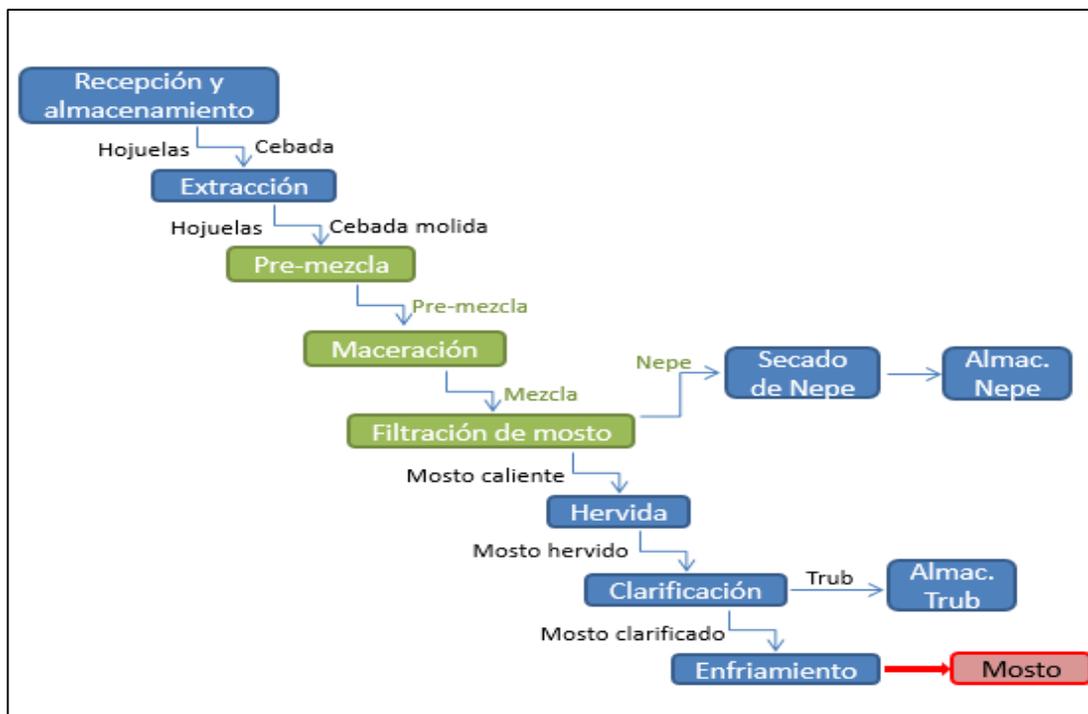


Figura 13. Diagrama de Elaboración de Mosto Cervecerero. (Fuente: Elaboración propia)

Actividad 4. Adiestramiento para análisis de Afrecho en el Laboratorio y recolección de datos históricos.

Durante la última etapa del proceso de filtración de Mosto Caliente, es muestreado el Afrecho o Nepe, para su posterior análisis en el Laboratorio Central y así determinar el extracto que este contiene. Las siguientes mediciones de Extractos (Tabla 2 y Tabla 3), son datos históricos de análisis realizados y registrados por analistas en el laboratorio de calidad, donde podemos observar el comportamiento de estos extractos en el afrecho en los últimos meses. Para esta etapa fue importante el entrenamiento para el análisis de afrecho, consultando el Instructivo “Afrecho de Cocimiento”.

- Tren 2

Fecha	Coc	Pro Humed	Ext. Total	Ext. Eluible	Ext. Digerible
10/12/2014	P-1028	2,09	5,90	3,11	2,79
19/12/2014	I-1150	2,18	11,16	7,40	3,75
23/12/2014	I-1253	2,23	10,58	6,58	3,99
09/01/2015	I-1429	2,58	9,59	6,44	3,15
17/01/2015	I-1565	2,58	13,13	9,60	3,54
22/01/2015	I-1674	2,44	7,00	3,95	3,05
28/01/2015	I-1769	2,15	6,02	4,27	1,75
29/01/2015	P-1788	2,32	9,31	5,76	3,55
07/02/2015	I-1887	2,40	5,99	3,44	2,55
11/02/2015	P-1987	1,95	13,32	10,52	2,79
26/02/2015	I-2110	2,52	8,53	6,27	2,26
18/03/2015	I-2487	2,62	6,74	4,64	2,10
26/03/2015	I-2576	1,32	4,84	3,09	1,75
31/03/2015	I-2688	2,24	12,85	9,06	3,79
13/04/2015	I-2754	2,39	10,14	8,05	2,09
17/04/2015	I-2848	2,71	11,98	9,28	2,70
21/04/2015	I-2892	2,33	7,72	4,16	3,56

Tabla 2. Datos históricos Análisis de Afrecho - Tren 2 (Fuente: Formulas1

Lab. Central)

- Tren 3.

Fecha	Coc	Pro Humed	Ext. Total	Ext. Eluible	Ext. Digerible
23/12/2014	I-1252	2,18	11,51	8,07	3,44
30/12/2014	I-1330	2,88	11,13	6,46	4,66
09/01/2015	I-1430	5,14	7,94	4,58	3,36
17/01/2015	I-1578	3,83	6,80	4,35	2,45
22/01/2015	I-1675	2,29	4,97	3,95	1,02
28/01/2015	I-1768	2,17	5,55	3,78	1,78
28/01/2015	I-1770	3,15	9,24	7,65	1,59
29/01/2015	P-1789	2,34	18,27	14,73	3,54
07/02/2015	I-1886	2,18	5,68	2,49	3,19
11/02/2015	P-1986	2,00	11,29	8,54	2,74
26/02/2015	I-2111	2,33	7,11	5,10	2,01

26/02/2015	I-2115	3,14	10,17	8,48	1,68
18/03/2015	I-2486	2,23	6,45	4,44	2,01
26/03/2015	I-2579	1,34	7,00	5,37	1,62
27/03/2015	I-2613	2,36	12,56	7,25	5,30
31/03/2015	I-2689	2,25	5,98	2,46	3,52
13/04/2015	I-2755	3,00	10,86	9,02	1,84

Tabla 3. Datos históricos Análisis de Afrecho - Tren 3. (Fuente: Formulas l Lab. Central)

Donde los datos en rojo indican que se encuentran fuera de norma, y se observa que para los datos históricos tomados, el extracto eluible es el que presenta mayor descontrol.

Observemos en los siguientes gráficos (figura 14, 15 y 16) como fue el comportamiento de estos datos históricos.

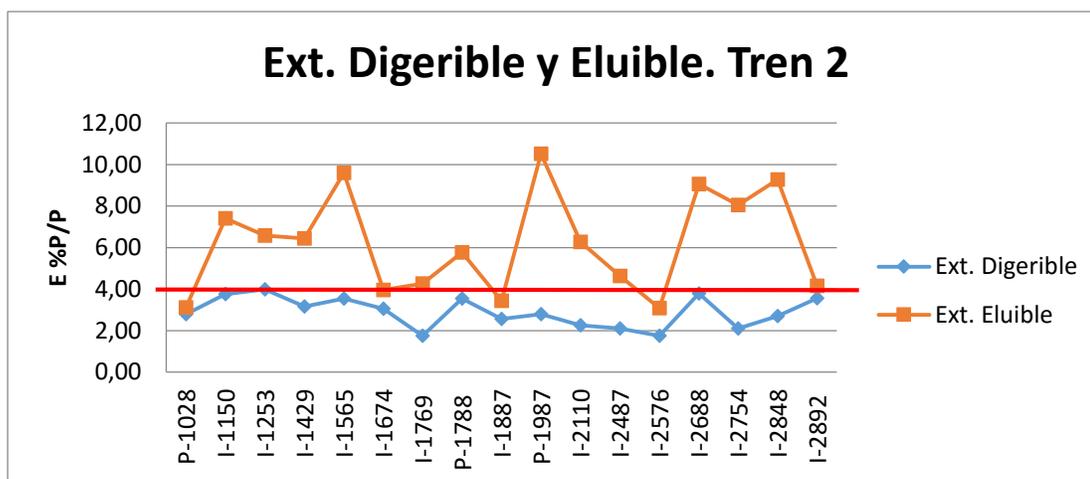


Figura 14. Comportamiento Extracto Eluible y Digerible. Datos Históricos - Tren 2. (Fuente: Elaboración propia)

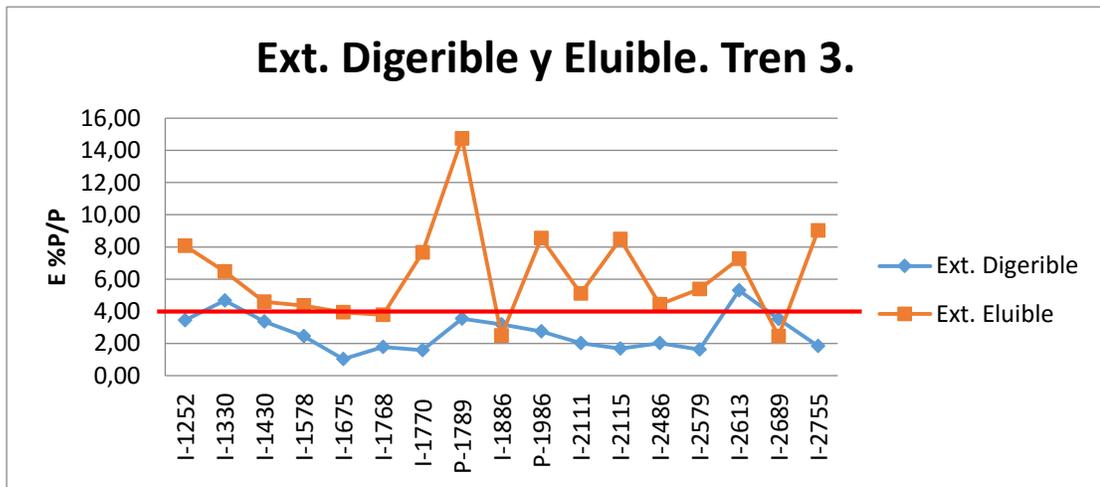


Figura 15. Comportamiento Extracto Eluible y Digerible. Datos Históricos - Tren 3. (Fuente: Elaboración propia)

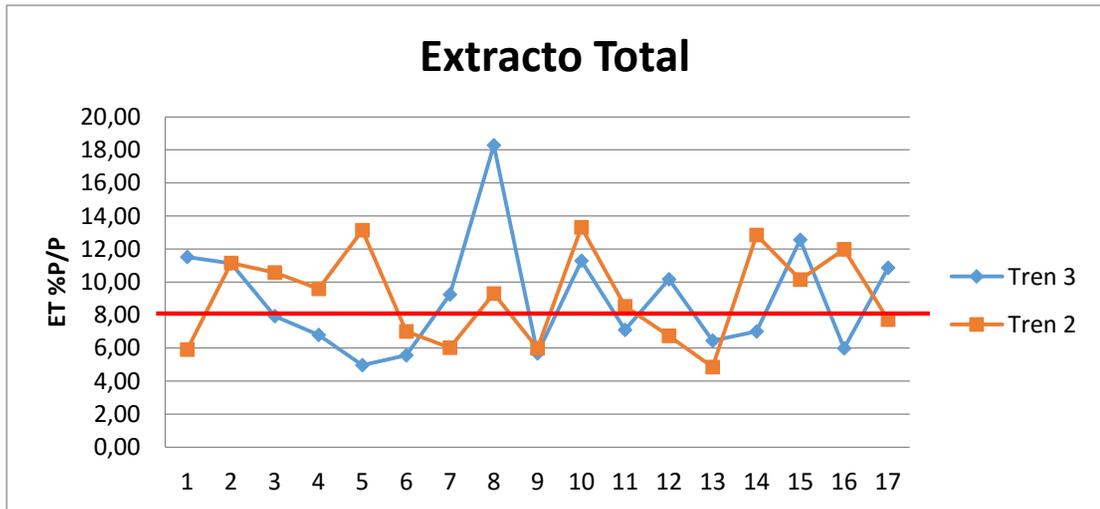


Figura 16. Comportamiento Extracto Total. Datos Históricos - Tren 2 y Tren 3. (Fuente: Elaboración propia)

Observando también los siguientes resultados tanto para la media como para la desviación estándar que presento cada extracto en cada tren en la tabla 4.

$\bar{X}_{ET2} = 9,11\%$	$\sigma_{ET2} = 2,78\%$	$\bar{X}_{ET3} = 8,97\%$	$\sigma_{ET3} = 3,43\%$
$\bar{X}_{EE2} = 6,21\%$	$\sigma_{EE2} = 2,44\%$	$\bar{X}_{EE3} = 6,28\%$	$\sigma_{EE3} = 3,04\%$
$\bar{X}_{ED2} = 2,89\%$	$\sigma_{ED2} = 0,73\%$	$\bar{X}_{ED3} = 2,69\%$	$\sigma_{ED3} = 1,17\%$

Tabla 4. Medias y Desviaciones Estándar. Datos Históricos. (Fuente: Elaboración propia)

Se puede observar que las medias de los extractos totales para los datos históricos se encuentran fuera de norma para ambos trenes, por ello se realizó un diagrama de Causa-Efecto con sus posibles causas generales, ya que el control del extracto en el Nepe es un tema de mayor profundidad. Este Diagrama de Causa y Efecto fue realizado mediante el software estadístico “Minitab”.

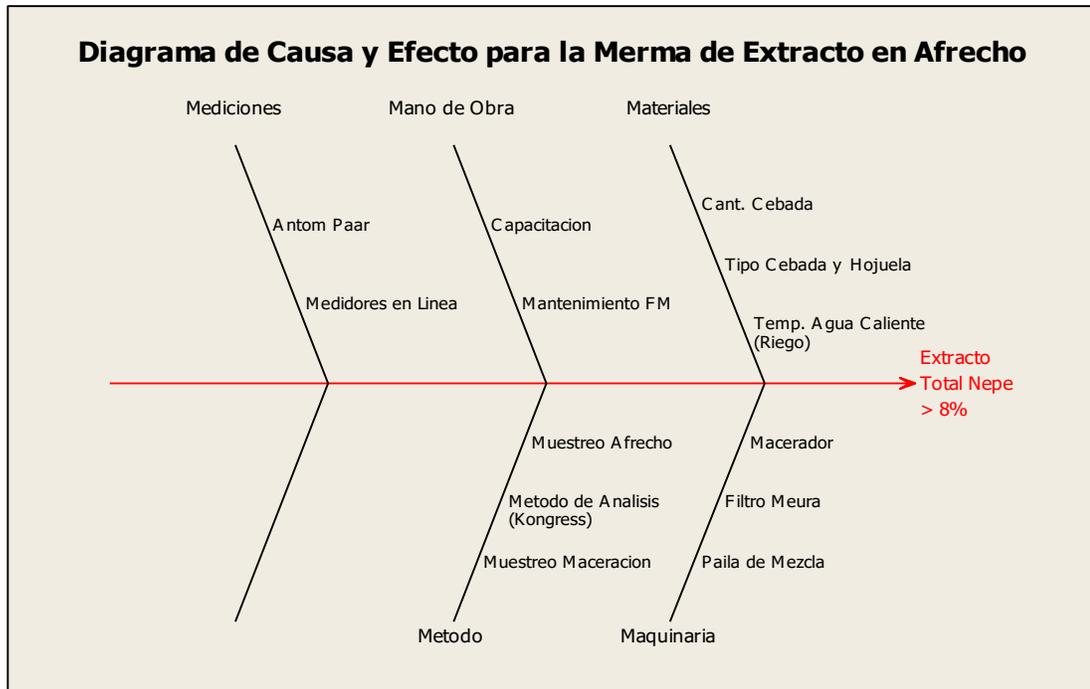


Figura 17. Diagrama de Ishikawa Extracto En Nepe. (Fuente: Elaboración propia)

- **Medir**

Mediante el software estadístico Minitab, se analizaron los datos históricos de análisis de afrecho, obteniendo los siguientes resultados para los análisis de capacidad de cada tipo de extracto en cada tren, como se puede observar en las figuras 18, 19, 20, 21, 22 y 23.

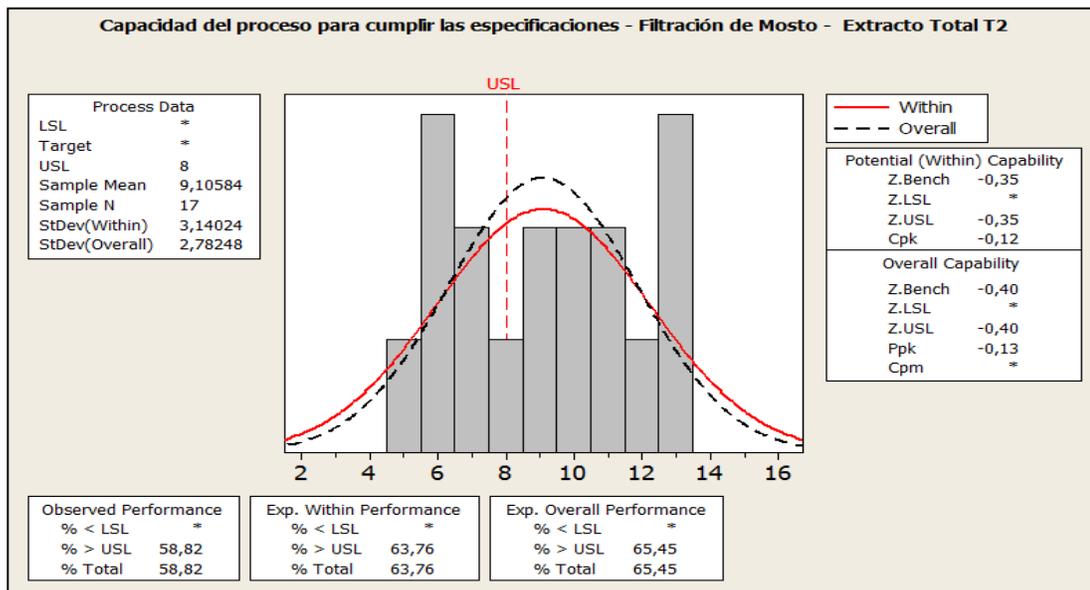


Figura 18. Análisis de capacidad de proceso Ext. Total Tren 2. (Datos Históricos).
(Fuente: Elaboración propia)

Observamos que existe normalidad entre los resultados de las muestras, con un $cpk < 0$ indicando que la media de la muestra se encuentra fuera de especificaciones ($9,11 > 8$). Y que el 58,82% de los afrechos analizados, presentaban un extracto superior al 8%, existiendo una probabilidad de encontrar hasta un 65,45% de extractos totales fuera de norma para el Tren 2.

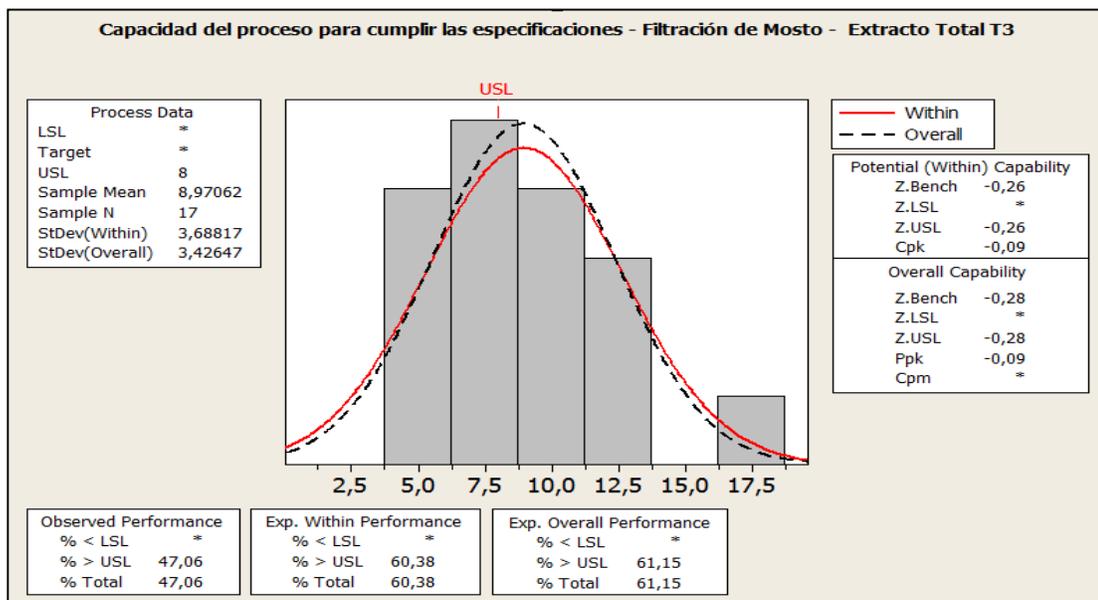


Figura 19. Análisis de capacidad de proceso Ext. Total Tren 3. (Datos Históricos).
(Fuente: Elaboración propia)

Con un $cpk < 0$ notamos que la media de la muestra para el Tren 3 también se encuentra fuera de especificaciones ($8,97 > 8$), existe un 47,06% de los resultados fuera de norma y una probabilidad de encontrar resultados fuera de especificaciones del 61,15%.

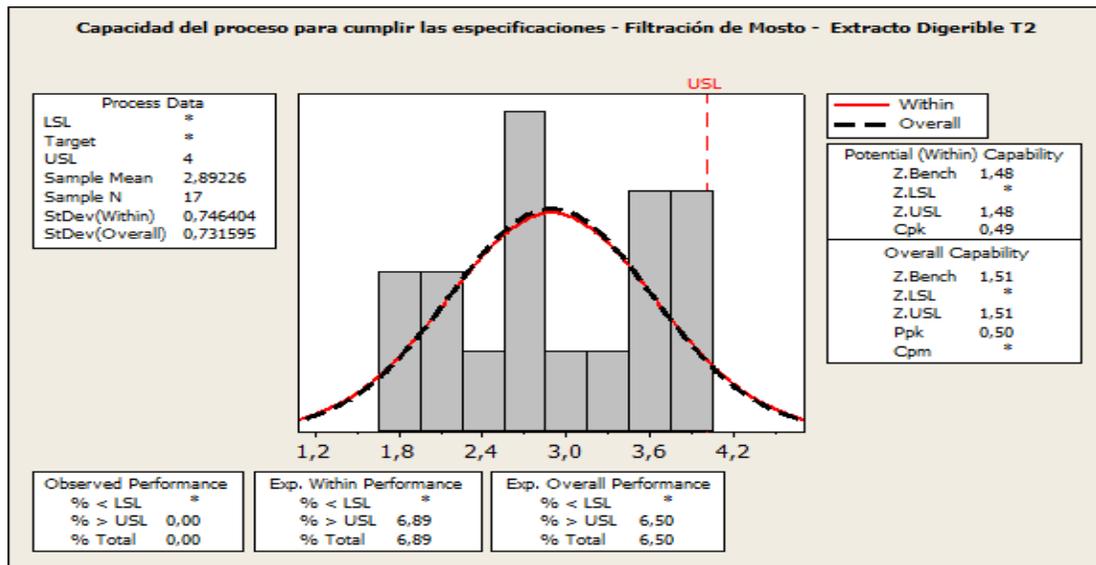


Figura 20. Análisis de capacidad de Ext. Digerible Tren 2. (Datos Históricos). (Fuente: Elaboración propia)

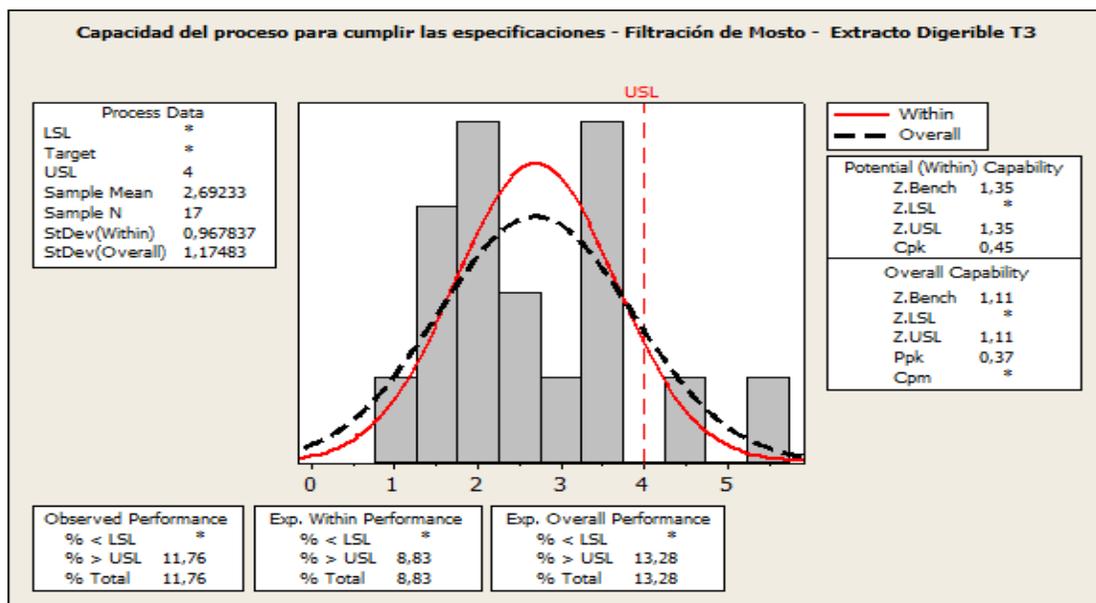


Figura 21. Análisis de capacidad de Ext. Digerible Tren 3. (Datos Históricos). (Fuente: Elaboración propia)

El análisis de capacidad de proceso para el extracto digerible del tren 2 y del tren 3, nos muestra que las medias de ambos trenes están dentro de norma (T2 2,89 y T3 2,69 < 4) pero con una probabilidad de encontrar extractos digeribles superiores al 4% de 6,50% para el tren 2 y 13,28 para el tren 3.

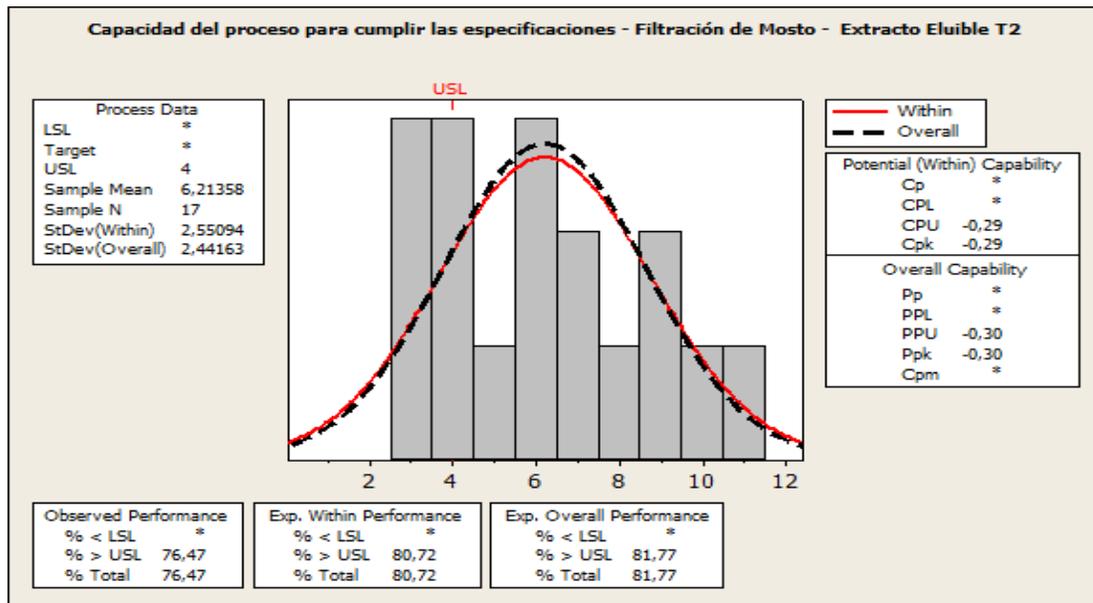


Figura 22. Análisis de capacidad de Ext. Eluible Tren 2. (Datos Históricos).
(Fuente: Elaboración propia)

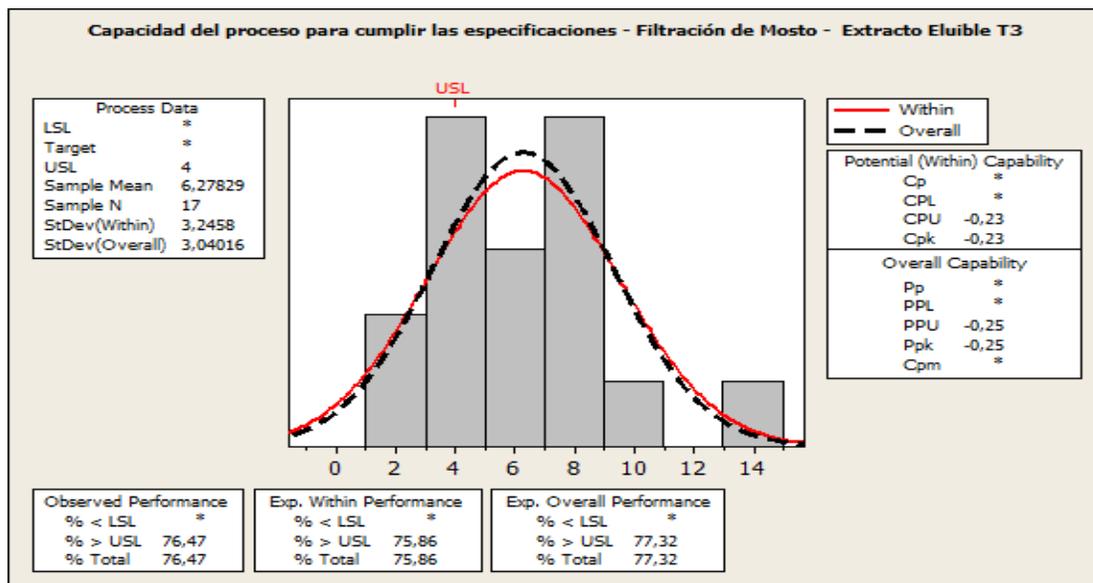


Figura 23. Análisis de capacidad de Ext. Eluible Tren 3. (Datos Históricos).
(Fuente: Elaboración propia)

Mientras que para el extracto eluible, se observa las medias de ambos trenes, se encuentran fuera de especificación ($6,21 > 4$ T2 y $6,28 > 4$ T3), ambos trenes presentan un 76,47% de sus extractos eluibles superior al 4% y que con sus desviaciones estándar, hay una probabilidad de encontrar extractos eluibles fuera de norma de 81,77% para el Tren 2 y 77,32 para el Tren 3.

De estos últimos análisis realizados en el Laboratorio Central, se pudo concluir que en ambos trenes hay merma de extracto en el Afrecho, con un 54,92% de los extractos totales fuera de norma, es decir mayor al 8%P/P. Pero se destaca que es el extracto eluible, con un 76,47% de los 34 análisis realizados, se encuentran fuera de norma, es decir mayor al 4%P/P, mientras solo el 5,88% de los análisis de extracto digerible se encuentran fuera de norma.

Con la finalidad de estudiar la variación del comportamiento del extracto total, se planifico un diseño de experimento factorial 2^k , donde se consideraron las variables que en teoría influyen en el extracto total presente en el mosto, estas variables son:

- **Factor de Mezcla:** Variar la cantidad de agua cervecera agregada en la Paila de Pre-Mezcla, para sumarla en el agua de riego. El factor de mezcla normalmente usado es 1:2,73 (Por cada Kg de cereales 2,7 Litros de agua). Este 1:2,73 se estableció como límite superior, 1:2,60 como punto medio y 1:2,45 como límite inferior, ya que un mayor rango puede influir en contra por la capacidad actual de los equipos.
- **Velocidad de agitación:** Durante el descanso de 45 minutos a 65 °C, la velocidad de agitación influye en la actividad enzimática, la velocidad normal es de 4 rpm, esta fue tomada como el límite inferior, 6rpm como el punto medio y 8rpm como el límite superior.
- **Cantidad de Beta-glucanasa:** La cantidad normalmente agregada es de 5Kg, el cual fue tomado como límite inferior, 7,5kg como punto medio y 10Kg como límite superior.

En la siguiente tabla (numero 5), se tiene un resumen de los factores a considerar y sus respectivos valores.



Tabla 5. Factores y sus Niveles Diseño de Experimento Factorial 2^k .
(Fuente: Elaboración propia)

Variar estos factores en los rangos establecidos para el diseño de experimento, puede alterar el proceso de elaboración de mosto, por ello no solo se hizo seguimiento al extracto presente en el Nepe, sino que se consideraron otros análisis para asegurar la calidad del producto final, haciendo seguimiento en cada prueba del diseño de experimento a las siguientes variables: pH mezcla, Temperatura de descanso, Sacarificación, Tiempo de Maceración, Extracto Primer Mosto, Extracto Ultima Agua, Tiempo de Filtración, Grados de Fermentación, Extracto Refrigerio, Extracto Extraído y FAN.

Al ser un Diseño de Experimento Factorial 2^k , con k =número de factores, se obtiene $2^3=8$, significa que se requieren 8 corridas (pruebas), considerando una réplica para cada corrida y un punto centro por tren con su réplica, se obtiene un total de 20 corridas. El siguiente cuadro (tabla número 6), se muestra el Diseño de Experimento factorial 2^k , arrojado por el software estadístico Minitab.

Tren	Vel. Agitación	Factor de Mezcla	Cant. Betag
FM3	6	2,60	7,5
FM3	4	2,45	5
FM3	8	2,73	5
FM3	4	2,73	10
FM3	8	2,45	5
FM3	8	2,73	10
FM3	8	2,45	10
FM3	6	2,60	7,5
FM3	4	2,45	10
FM3	4	2,73	5
FM2	4	2,73	10
FM2	4	2,73	5
FM2	8	2,45	10
FM2	8	2,45	5
FM2	4	2,45	10
FM2	4	2,45	5
FM2	6	2,60	7,5
FM2	8	2,73	10
FM2	8	2,73	5
FM2	6	2,60	7,5

Tabla 6. Diseño de Experimento Factorial 2^k .
(Fuente: Elaboración propia)

Actividad 5. Seguimiento a la merma de extracto.

- **Analizar.**

Se realizó un seguimiento a la merma de extracto y al resto de análisis que se consideraron necesarios para el aseguramiento de la calidad durante la ejecución del Diseño de Experimento. La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos.

Trat	Tren	Vel. Agit (rpm)	Factor de Mezcla	Cant. Betag (Kg)	PH Mac	Desc a 65°C (min)	Paila (°C)	IFIX (°C)	Tiempo Mac. (min)	Sac.	Ext. PM (%P/P)	Ext. UA (%P/P)	Ext. Dig. (%P/P)	Ext. Elu. (%P/P)	Ext. Total (%P/P)	TO Fmeura CDN (min)	Ext. Ref (%P/P)	°Ferm (%)	Amino. libre
1	FM3	6	2,60	7,5	5,48	45	65,1	65,23	153,5	Si	24,52	3,44	4,29	13,28	17,57	135	18,01	87,79	203,17
2	FM3	4	2,45	5	5,52	45	64,8	65,4	140,1	Si	26,25	4,14	3,76	8,14	11,9	147,8	19,61	86,63	250,11
3	FM3	8	2,73	5	5,59	45	64,5	65,1	126,7	Si	22,8	2,43	4,29	8,46	12,75	125,2	17,45	85,94	243,72
4	FM3	4	2,73	10	5,51	45	65,5	65,6	133,9	Si	23	3,36	2,93	5,33	8,26	129,7	16,48	86,4	217,22
5	FM3	8	2,45	5	5,58	45	65,2	65,5	143	Si	24,89	2,17	6,47	8,77	15,24	134	18,00	86,92	257,76
6	FM3	8	2,73	10	5,42	45	65,1	65,6	149	Si	23,49	3,27	5,25	5,69	10,95	128	18,37	87,77	232,34
7	FM3	8	2,45	10	5,46	45	65,3	65,9	125,6	Si	24,58	1,96	3,03	2,93	5,96	131	17,60	87,67	233,97
8	FM3	6	2,60	7,5	5,45	45	65,1	65,6	134	Si	21,43	1,85	5,85	5,05	10,9	119,56	15,86	87,31	189,32
9	FM3	4	2,45	10	5,54	45	65,4	65,8	145,7		24,86	3,72	2,53	9,62	12,15	140,41	18,60	85,99	246,30
10	FM3	4	2,73	5	5,59	45	65,2	66	143	Si	22,04	2,84	3,61	4,81	8,41	128,8	16,65	87,24	174,31
11	FM2	4	2,73	10	5,49	45	65,2	66,3	150	Si	22,04	3,37	2,83	6,51	9,34	125,2	17,75	88,22	243,79
12	FM2	4	2,73	5	5,52	45	66,1	66,4	136	Si	22,48	3,06	5,04	3,97	9,01	124,7	17,67	85,67	257,09
13	FM2	8	2,45	10	5,50	45	65,6	66,1	128	Si	23,88	5,59	4,27	10,81	15,08	130,9	17,17	86,85	222,50
14	FM2	8	2,45	5	5,54	45	65,9	66,4	124	Si	24,56	2,34	4,20	5,06	9,25	129	17,79	87,02	243,21
15	FM2	4	2,45	10	5,55	45	65,7	66,10	144,92		24,63	4,25	2,50	12,06	14,57	139,93	17,90	88,30	231,85
16	FM2	4	2,45	5	5,57	45	65,9	66,4	149	Si	25,32	2,27	2,61	21,46	24,07	149	17,55	88,95	225,53
17	FM2	6	2,60	7,5	5,60	45	65,3	65	154,3	Si	23,81	4,09	4,08	19,13	23,21	139	18,22	86,91	213,25
18	FM2	8	2,73	10	5,51	45	65,7	66,3	148	Si	22,87	3,38	4,51	6,81	11,32	127	17,98	87,99	209,39
19	FM2	8	2,73	5	5,49	45	65,8	66,5	124,9	Si	22,03	2,37	6,32	7,44	13,76	123	16,94	85,13	250,08
20	FM2	6	2,60	7,5	5,53	45	65,8	66,4	128	Si	23,98	3,83	5,42	3,27	8,69	127	18,06	87,81	235,18

Tabla 7. Seguimiento Diseño de Experimento. (Fuente: Elaboración propia)

Las corridas resaltadas son pruebas que por problemas no controlables con respecto al stock de materia prima, no pudieron ejecutarse, por ello se hizo un análisis de regresión lineal (Las ecuaciones pueden ser observadas más adelante), para determinar el comportamiento de cada una de estas variables según sea el factor de mezcla, la cantidad de Beta-glucanasa y la velocidad de agitación, para poder estimar estos posibles resultados y tratar de influir lo menos posible en el resultado final.

Actividad 6. Análisis de resultados.

Análisis de los estudios realizados y determinar las causas principales de la problemática.

- Prueba de T-pareada para las temperaturas en IFIX y en la Paila de Maceración.

El seguimiento a la temperatura en la paila de mezcla, específicamente durante el descanso a 65°C, se realizó con la finalidad de estudiar si existe diferencia entre la temperatura mostrada en IFIX (Software utilizado para controlar y supervisar el proceso productivo) y la temperatura tomada directamente en la paila, ya que esta temperatura de 65°C es de vital importancia para la actividad enzimática durante el descanso a 45 minutos. La tabla 8 y figura 24 nos muestra el resumen arrojado por Minitab.

Paired T-Test and CI: Temp Paila; Temp IFIX				
Paired T for Temp Paila - Temp IFIX				
	N	Mean	StDev	SE Mean
Temp Paila	18	65,394	0,422	0,099
Temp IFIX	18	65,874	0,503	0,118
Difference	18	-0,4794	0,3019	0,0712
95% CI for mean difference: (-0,6296; -0,3293)				
T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = -6,74 P-Value = 0,000				

Tabla 8. T-pareada Temp. Paila, Temp. IFIX. (Fuente: Minitab)

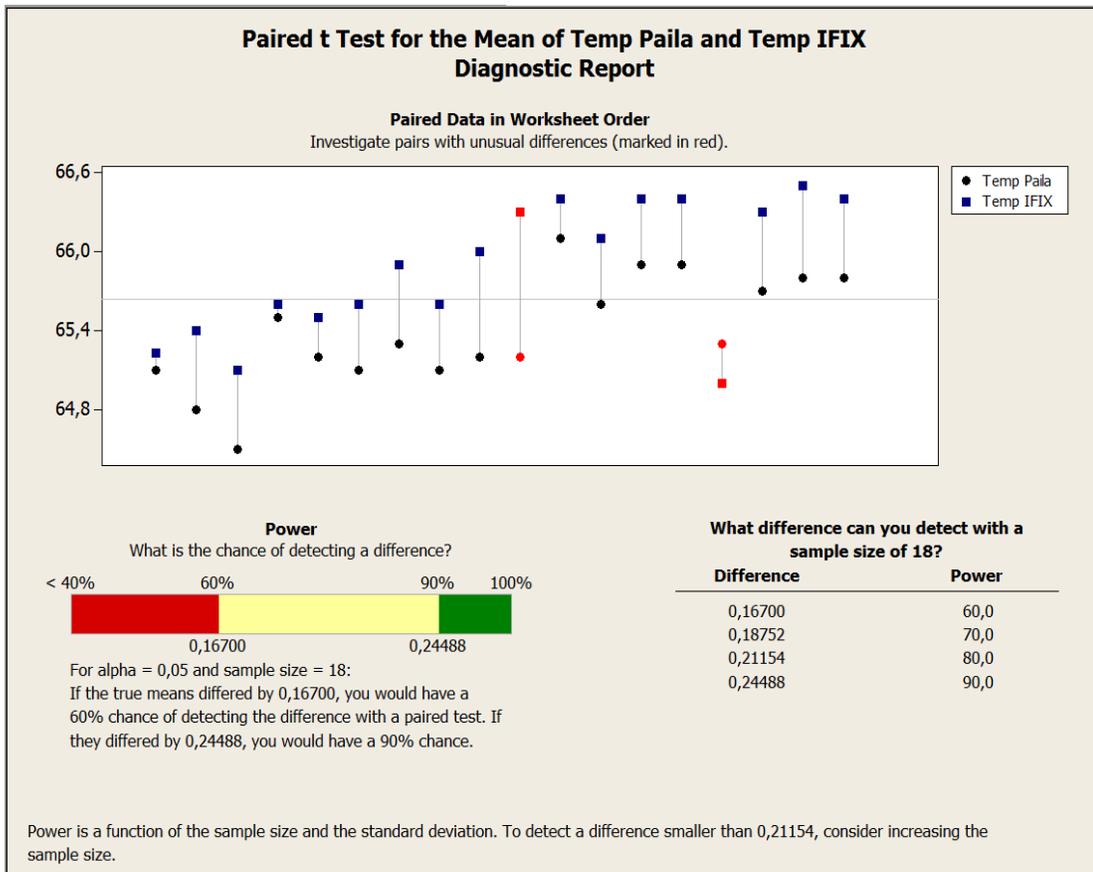


Figura 24. T-Pareada Temperatura IFIX y Temperatura Paila. (Fuente: Minitab)

Podemos observar en el diagnóstico de la prueba T-pareada la dispersión existente en estas pruebas entre la temperatura indicada por el IFIX y la temperatura obtenida desde la paila con un termómetro.

Minitab también nos indica que existe una diferencia significativa entre las dos medidas de temperatura al ser $p\text{-valor} < 0,050$.

La media de la diferencia es de $0,4794\text{ }^{\circ}\text{C}$ más para las mediciones del IFIX.

La diferencia media de la desviación estándar es $0,3019\text{ }^{\circ}\text{C}$.

La temperatura media observada en IFIX es $0,874\text{ }^{\circ}\text{C}$ mayor que la deseada, lo cual puede influir negativamente en la actividad enzimática.

- Regresión Lineal Simple para extracto de Primer mosto y extracto de refrigerio.

Para este análisis podemos observar el resumen arrojado por Minitab en la tabla número 9.

Regression Analysis: Extracto Ref versus Extracto PM

The regression equation is
 Extracto Ref = 7,28 + 0,439 Extracto PM

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	7,281	2,642	2,76	0,014
Extracto PM	0,4390	0,1120	3,92	0,001

S = 0,607806 R-Sq = 49,0% R-Sq(adj) = 45,8%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	5,6731	5,6731	15,36	0,001
Residual Error	16	5,9109	0,3694		
Total	17	11,5839			

Tabla 9. Regresión Lineal Ext. Ref vs Ext. Primer Mosto. (Fuente: Minitab)

Mientras que en la siguiente grafica se observa la dispersión existente en los resultados para el Extracto de Refrigerio con respecto al Extracto de Primer Mosto.

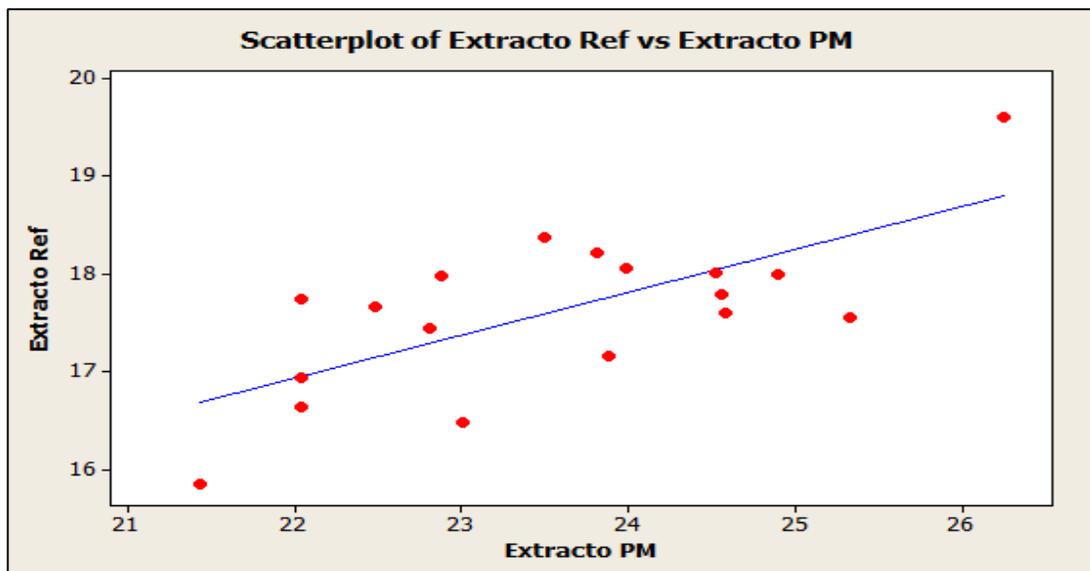


Figura 25. Dispersión Extracto Ref vs Ext. Primer Mosto. (Fuente: Minitab)

Donde Minitab nos muestra que existe una relación buena pero no muy fuerte entre el extracto de Primer Mosto y el extracto de refrigerio, con un $R^2_{ajust}=45,8\%$ y podemos estimar el resultado de un extracto de refrigerio con la siguiente ecuación:

$$\text{Ext. Refrigerio} = 7,28 + 0,439\text{Ext.PM.}$$

- Graficas de Corrida para el pH.

La grafica de corrida para el pH durante el descanso a 65 °C se puede observar a continuación en la figura 26.

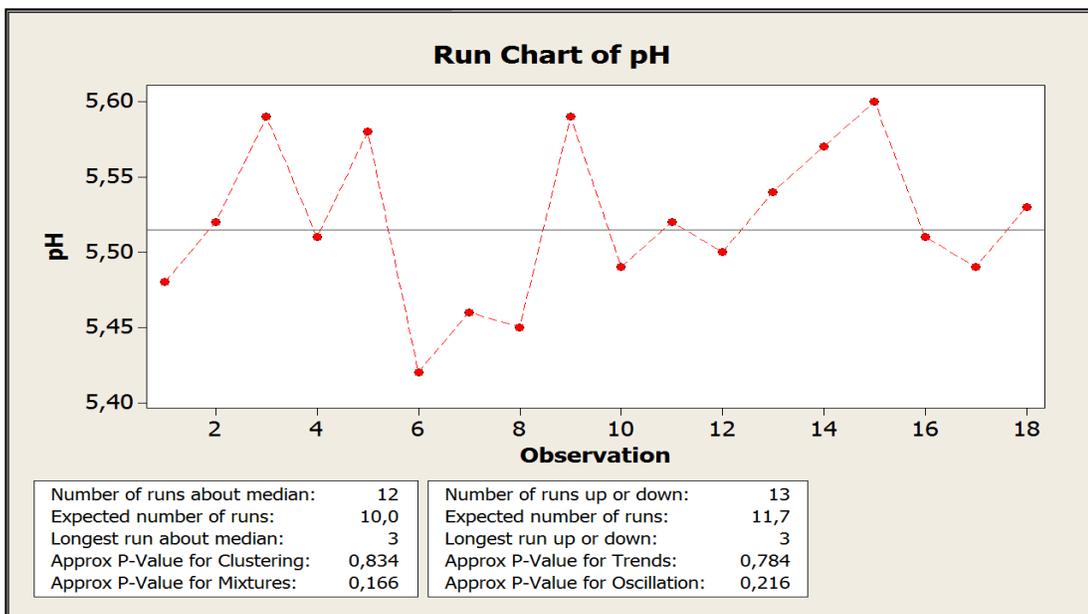


Figura 26. Grafica de Corrida para pH (DDE). (Fuente: Minitab)

Observamos que en las dieciocho pruebas realizadas, todas estuvieron dentro de norma, que según el PIE debe ser de $5,40 \leq \text{pH} \leq 5,60$ y un promedio de 5,515, pero con pH cercas de los límites superior e inferior como las pruebas 3, 5, 6, 9, 15.

Mantener el pH dentro de norma es fundamental para optimizar la actividad enzimática.

- Grafica de corrida para el Extracto de Primer mosto y Ultima agua.

Las gráficas de corrida para el extracto de primer mosto y última agua se observan en las siguientes figuras 27 y 28 respectivamente.

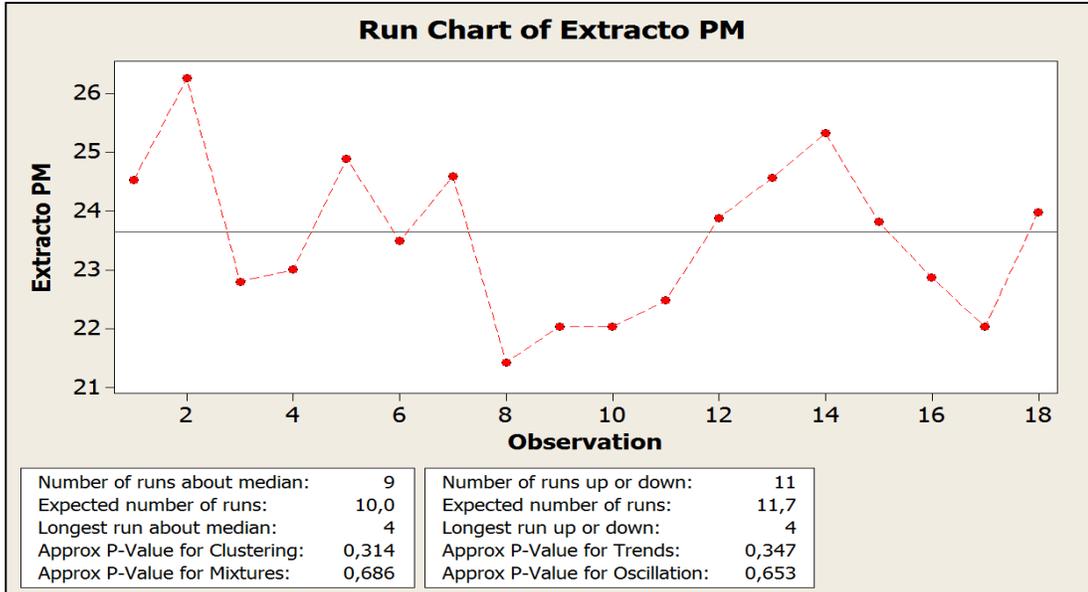


Figura 27. Corrida Extracto Primer Mosto (DDE). (Fuente: Minitab)

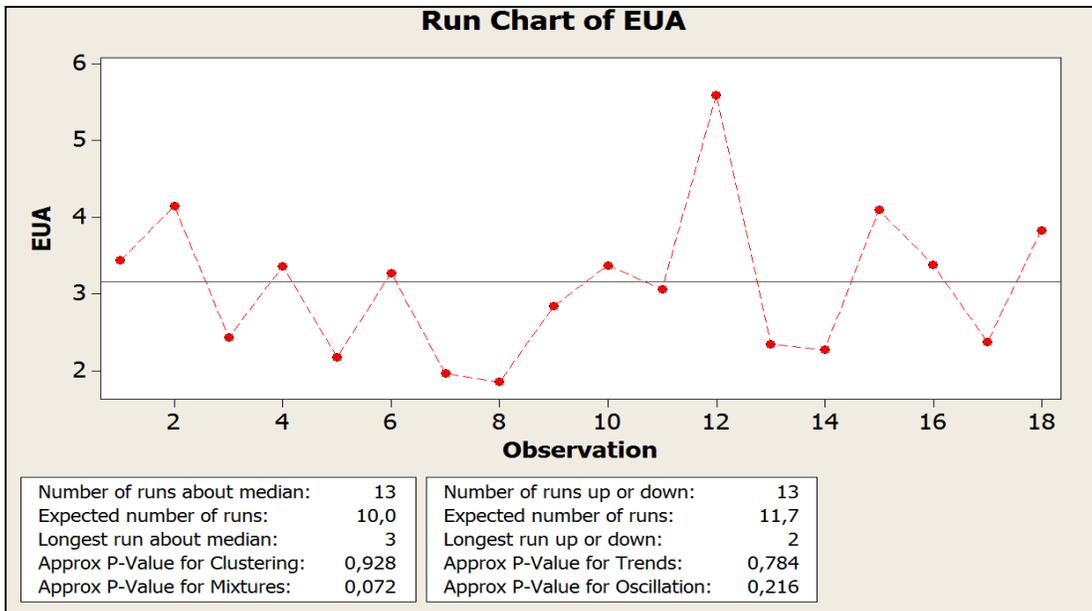


Figura 28. Corrida Extracto ultima Agua (DDE). (Fuente: Minitab)

Observamos que las pruebas 1, 2, 5, 7, 13, 14, están fuera de norma ($Ext\%P/P \leq 24,5$) de las cuales el 83,33% correspondía a pruebas con un factor de mezcla de 1:2,45, y el obtenido fue 23,65% Mientras que para el extracto última agua, el 100% de las pruebas quedaron fuera de norma ($Ext\%P/P \leq 1,5$), con un promedio de 3,165%. Cabe destacar que hubo 10 pruebas de las 18 donde la cantidad de agua agregada durante el Riego fue diferente a la cantidad establecida en el Diseño de Experimento.

- Grafica de corrida para el Extracto en refrigerio.

A continuación se muestra en la figura 29 la gráfica de corrida arrojada por Minitab.

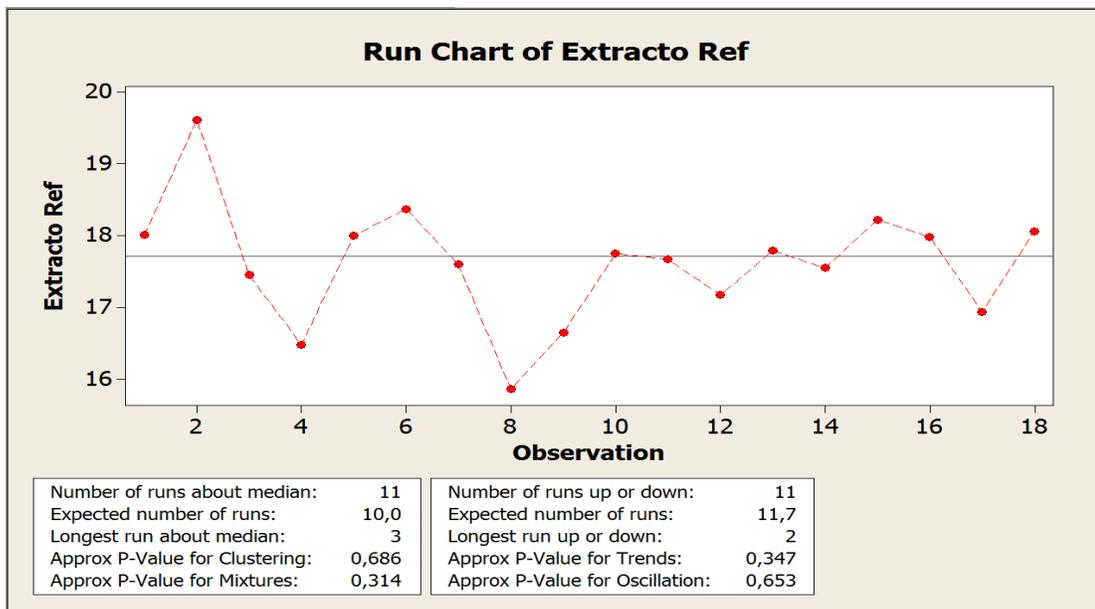


Figura 29. Corrida Extracto de Refrigerio. (Fuente: Minitab)

Obteniendo una media de 17,71% p/p para el extracto en Refrigerio, quedando fuera de norma (18 ± 1) cinco pruebas del diseño de experimento (2, 4, 8, 10, 19).

- Regresión lineal para estimar los resultados.

Como se explicó previamente, dos pruebas no pudieron ejecutarse, por ese motivo se realizó mediante el uso de Minitab una regresión lineal simple para estimar estos

resultados, tratando de influir de la menor manera posible en los análisis de los resultados finales, obteniendo las ecuaciones observadas en la siguiente tabla:

ExtractoPM	$= 45,7 - 0,062\text{Veloc} - 8,36\text{FactorM} - 0,014\text{Beta} + 0,226\text{Filtro}$
EDig	$= - 3,06 + 0,391\text{Veloc} + 2,49\text{FactorM} - 0,210\text{Beta} + 0,022\text{Filtro}$
EEluible	$= 47,7 - 0,488\text{Veloc} - 12,9\text{FactorM} - 0,216\text{Beta} - 2,44\text{Filtro}$
Ettotal	$= 44,7 - 0,098\text{Veloc} - 10,4\text{FactorM} - 0,426\text{Beta} - 2,42\text{Filtro}$
TiempoOcuF	$= 250 - 1,83\text{Veloc} - 41,1\text{FactorM} - 0,205\text{Beta} + 0,47\text{Filtro}$
TiempoMac	$= 131 - 2,29\text{Veloc} + 5,4\text{FactorM} + 0,96\text{Beta} + 0,73\text{Filtro}$
EUA	$= 5,54 - 0,112\text{Veloc} - 1,08\text{FactorM} + 0,184\text{Beta} - 0,538\text{Filtro}$

Tabla 10. Ecuaciones para estimar datos - Regresión Lineal (DDE). (Fuente: Elaboración propia)

- Análisis de Diseño de Experimento

Completando mediante las anteriores ecuaciones, la tabla del Diseño de Experimento, para luego analizarla con el Software Estadístico Minitab, obteniendo los siguientes resultados, los Diagramas de Pareto presentados en esta sección (desde la Figura 30 hasta la 36) son de efectos estandarizados, donde aquellos factores que superen la línea de referencia, son considerados significativos para la respuesta buscada.

Tiempo de Maceración.

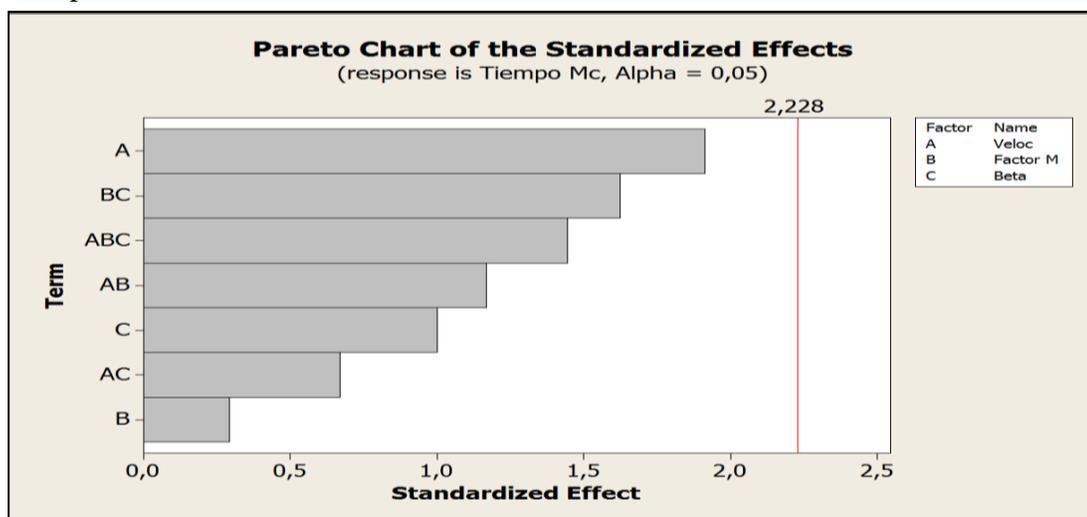


Figura 30. Pareto Tiempo de Maceración (DDE). (Fuente: Minitab)

Observamos que ninguno de los tres factores ni sus interacciones son significativos para el Tiempo de ocupación de la Paila de Mezcla durante la Maceración.

Extracto de Primer Mosto:

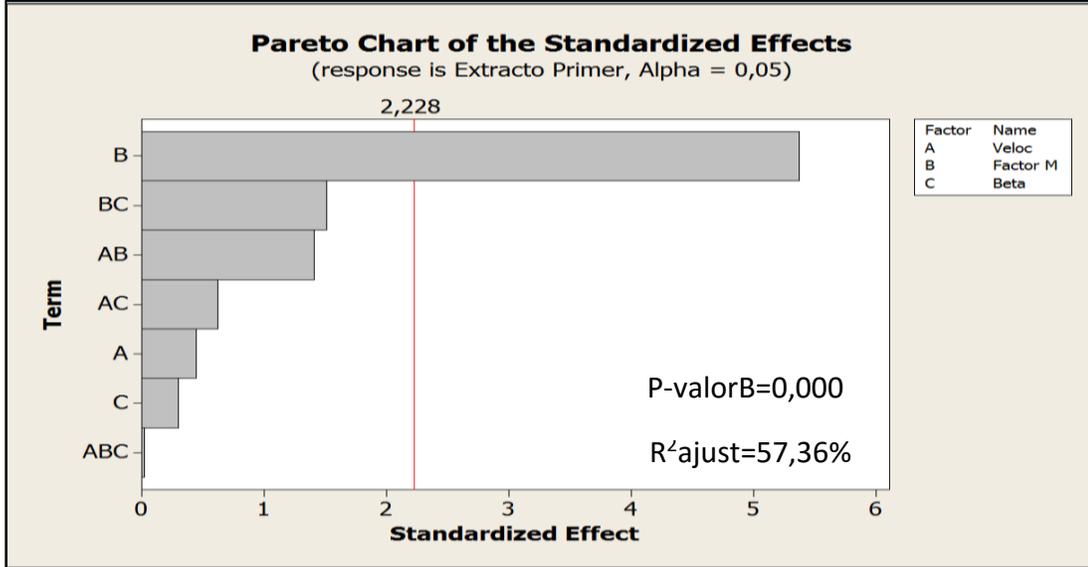


Figura 31. Pareto Extracto Primer Mosto (DDE). (Fuente: Minitab)

Observamos que con P-valorB=0,000 el factor de mezcla es significativo para el Extracto de Primer Mosto, con un coeficiente de determinación aproximado al 57%.

Extracto Última Agua.

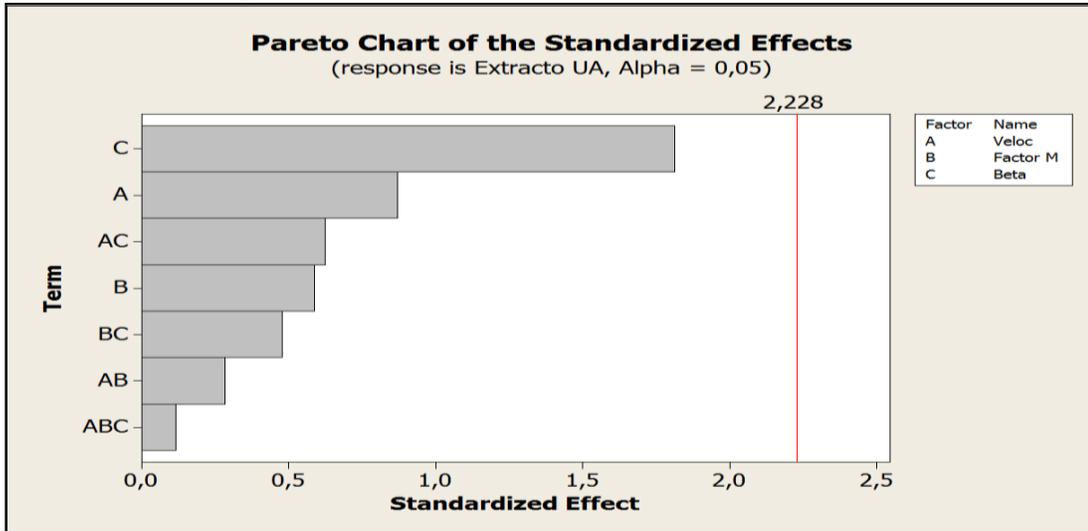


Figura 32. Pareto Extracto Ultima Agua (DDE). (Fuente: Minitab)

Al igual que para el tiempo de Maceración, ningún factor fue significativo para la determinación del Extracto de Última agua.

Extracto Digerible.

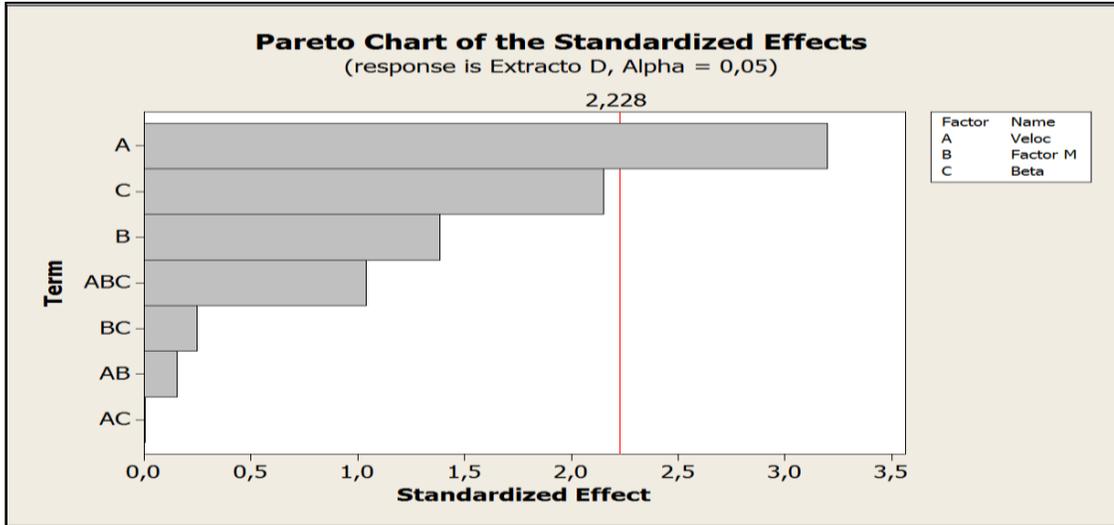


Figura 33. Pareto Extracto Digerible (DDE). (Fuente: Minitab)

Observamos que la Velocidad de agitación durante los 45 minutos del descanso a 65°C, es un factor significativo para el extracto digerible presente en el Afrecho. Mientras que la cantidad de β -Glucanasa estuvo muy próxima a ser significativa.

Extracto Eluible.

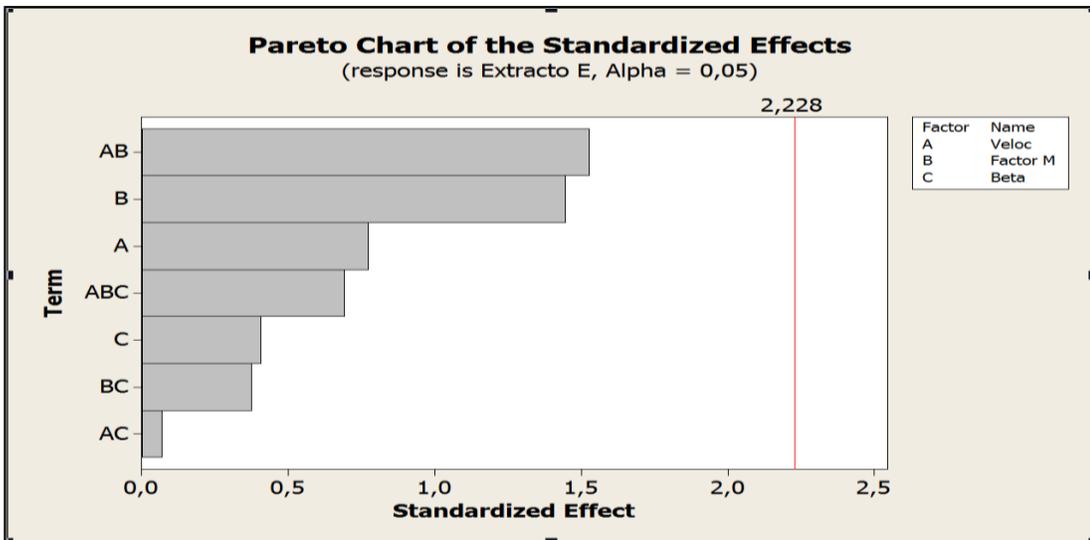


Figura 34. Pareto Extracto Eluible (DDE). (Fuente: Minitab)

Observamos que ningún factor es significativo para la determinación del extracto Eluible en el Afrecho con este Diseño de Experimento, siendo de mayor relevancia la combinación de la Velocidad de Agitación y el factor Mezcla, seguido del Factor de Mezcla.

Extracto Total.

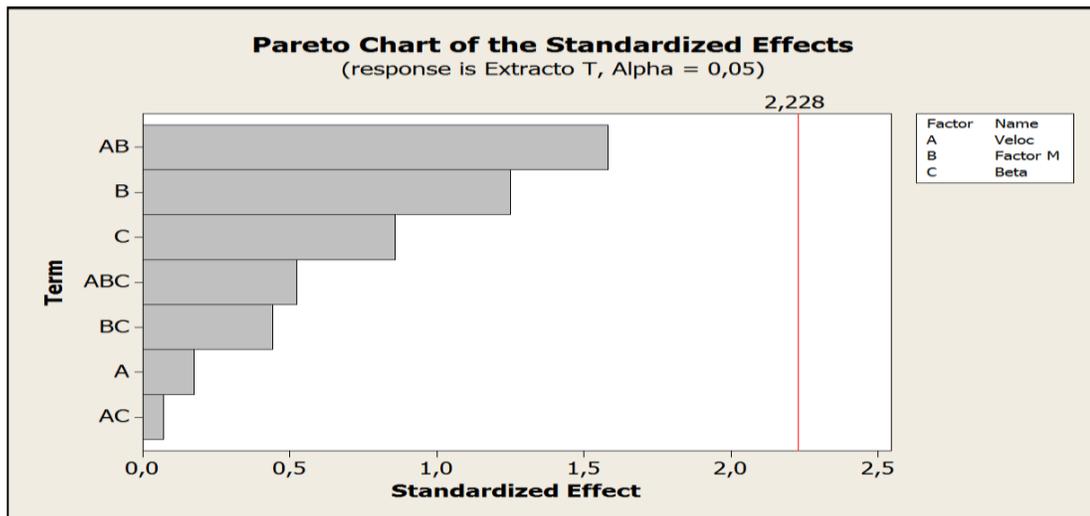


Figura 35. Pareto Extracto Total (DDE). (Fuente: Minitab)

El extracto total presente en el Nepe no considero significativo ningún factor ni sus interacciones como se muestra en el Diagrama de Pareto.

Tiempo de ocupación Filtro Meura.

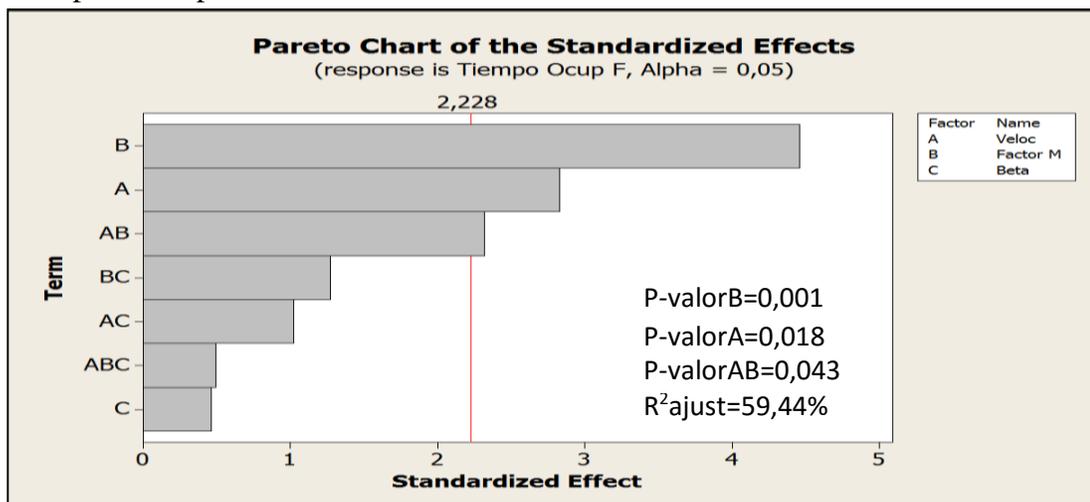


Figura 36. Pareto Tiempo de Ocupación Filtro Meura. (DDE). (Fuente: Minitab)

Obteniendo que factores como la Velocidad de agitación, el Factor de mezcla y su interacción entre ellas, son significativas para determinar el Tiempo de ocupación del Filtro Meura.

- Anova.

Realizamos un Análisis de Varianza para estudiar el comportamiento de las respuestas con cada factor que presentara significancia de manera individual, y observar si existe curvatura con la presencia del punto centro, es decir, si existe un punto óptimo en la respuesta analizada. En las siguientes tablas (desde la 11 hasta la 15) se observan los Análisis de Varianza.

Ext. Digerible vs Cant. β -Glucanasa.

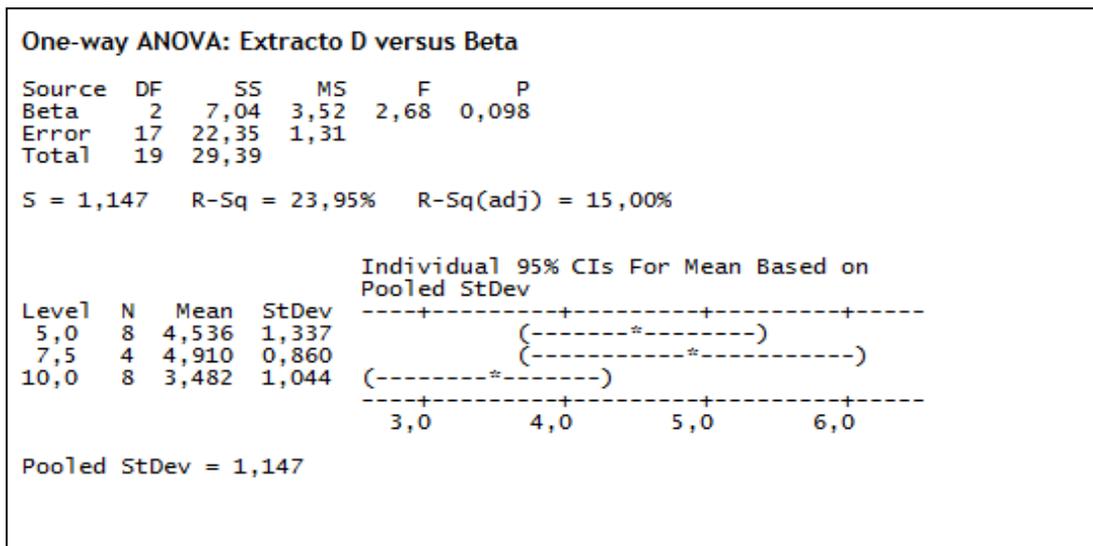


Tabla 11. ANOVA Extracto Digerible vs Cant. Betaglucanasa (DDE). (Fuente: Minitab)

Observamos que considerando solo el factor de la cantidad de β -Glucanasa, esta tiene un coeficiente de determinación de 15%, y que existe curvatura en el comportamiento del extracto digerible con respecto a los niveles utilizados para la cantidad de β -Glucanasa, pero no alcanzando un punto máximo, ya que en este caso el valor óptimo de la media de los niveles, es el menor, como en este caso lo es 10Kg de β -Glucanasa.

Ext. Digerible vs Velocidad de Agitación.

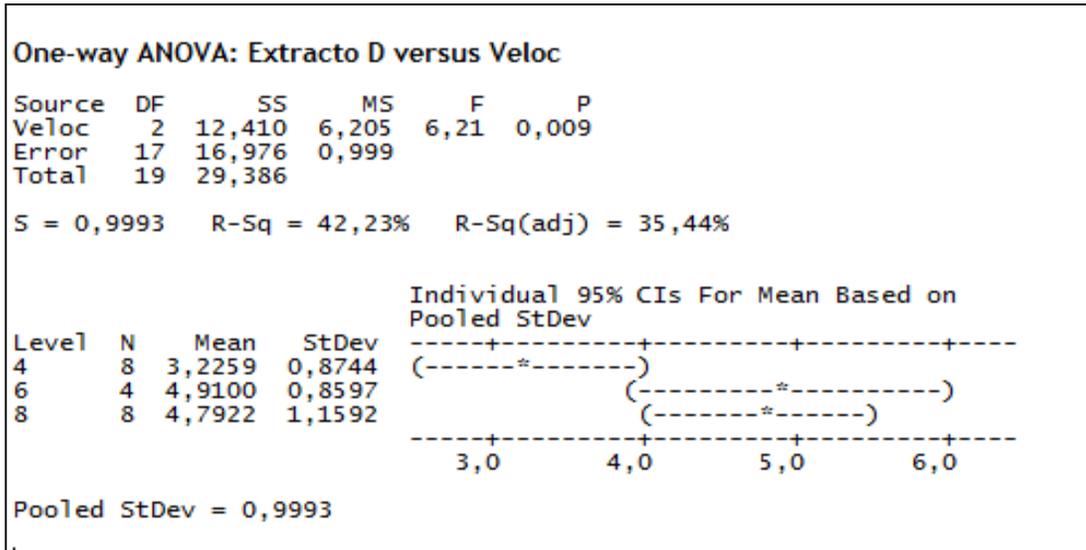


Tabla 12. ANOVA Extracto Digerible vs Vel. De Agitación. (DDE). (Fuente: Minitab)

Se puede observar una leve curvatura, pero la media de extracto digerible que se encuentra dentro de norma, es para una velocidad de agitación en su nivel bajo (4rpm).

Extracto Primer Mosto vs Factor de Mezcla.

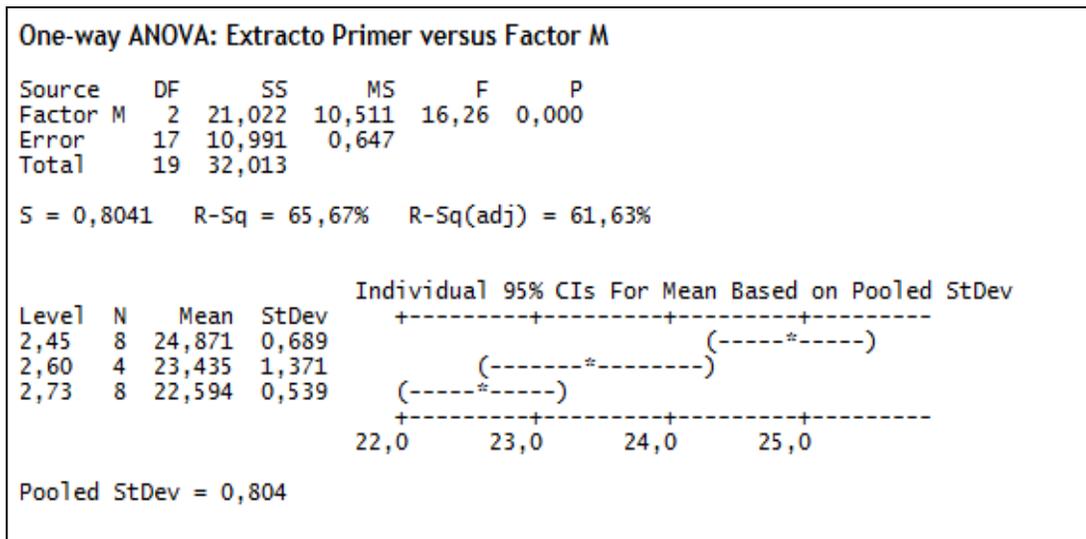


Tabla 13. ANOVA Extracto Primer Mosto vs Factor de Mezcla (DDE). (Fuente: Minitab)

Con un P-valor=0,000 y un $R^2_{ajust}=61,63\%$ notamos que el Factor de Mezcla es significativo y tiene una buena influencia sobre el extracto de Primer Mosto, con las medias de las pruebas con niveles de niveles 2,60 y 2,73 dentro de norma.

Tiempo de Ocupación Filtro Meura vs Velocidad de Agitación.

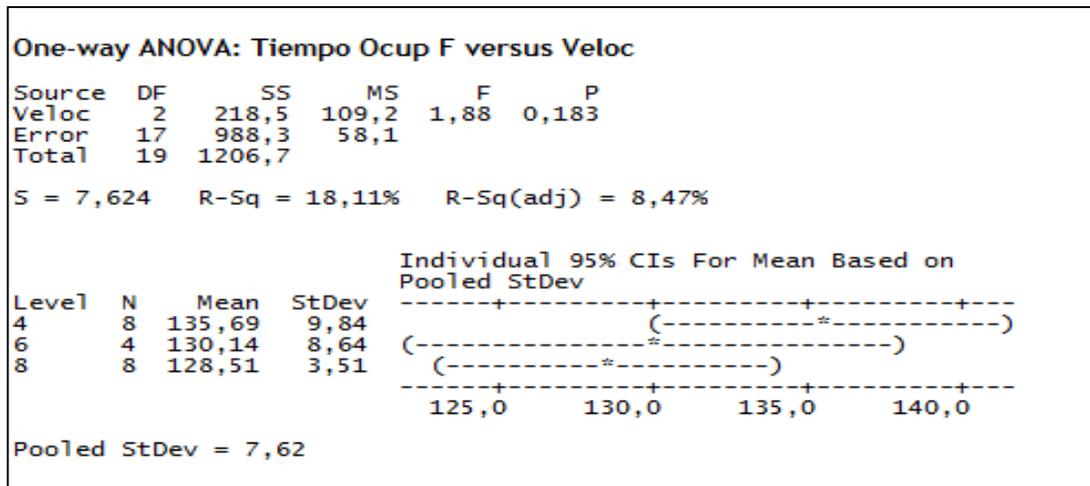


Tabla 14. ANOVA Tiempo de Ocu. FMeura vs Velocidad de agit. (DDE). (Fuente: Minitab)

Tiempo de Ocupación Filtro Meura vs Factor de Mezcla.

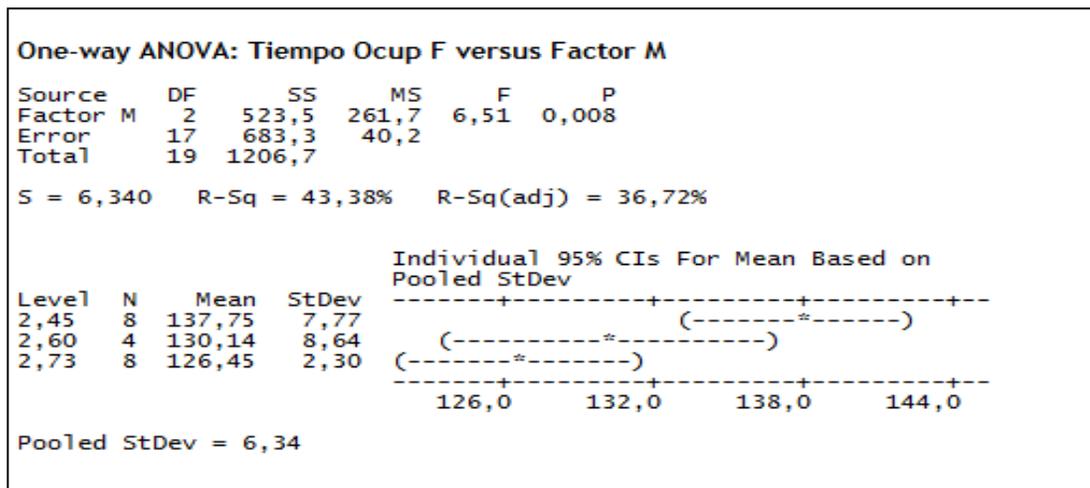


Tabla 15. ANOVA Tiempo de Ocu. FMeura vs Factor de Mezcla. (DDE). (Fuente: Minitab)

Siendo la media para los niveles altos de Velocidad de agitación y Factor de Mezcla, arrojando los mejores tiempos de ocupación de los Filtros Meura.

- Análisis de Diseño de Experimento sin punto centro.

A continuación en las siguientes figuras (desde la 37 a la 42) se presentan los Diagramas de Pareto sin tomar en cuenta las corridas de punto centro.

Tiempo de Maceración.

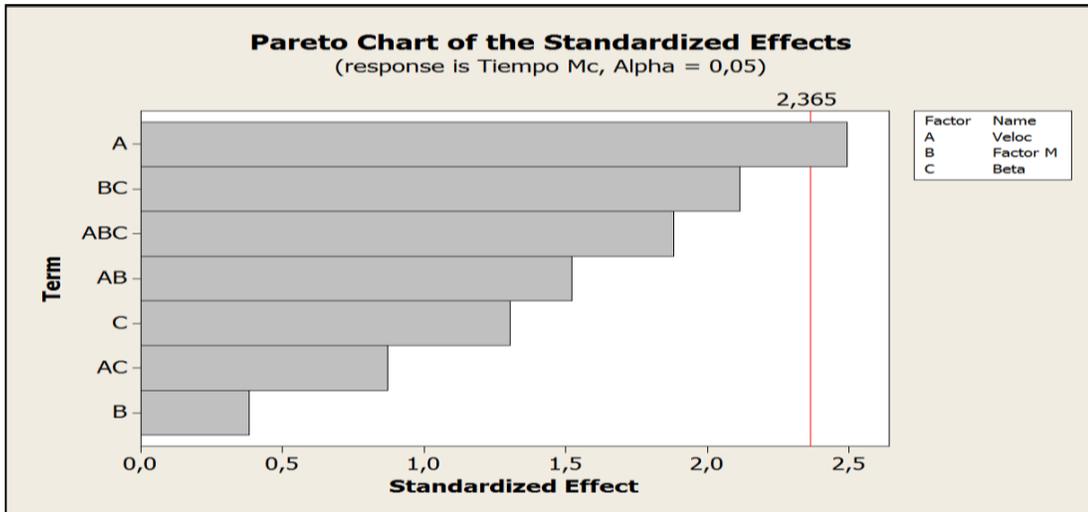


Figura 37. Pareto Tiempo de Maceración. Sin pt centro (DDE). (Fuente: Minitab)

Podemos observar que sin considerar el punto centro, La velocidad de agitación pasa a ser un factor significativo para el tiempo de Maceración.

Extracto Primer Mosto.

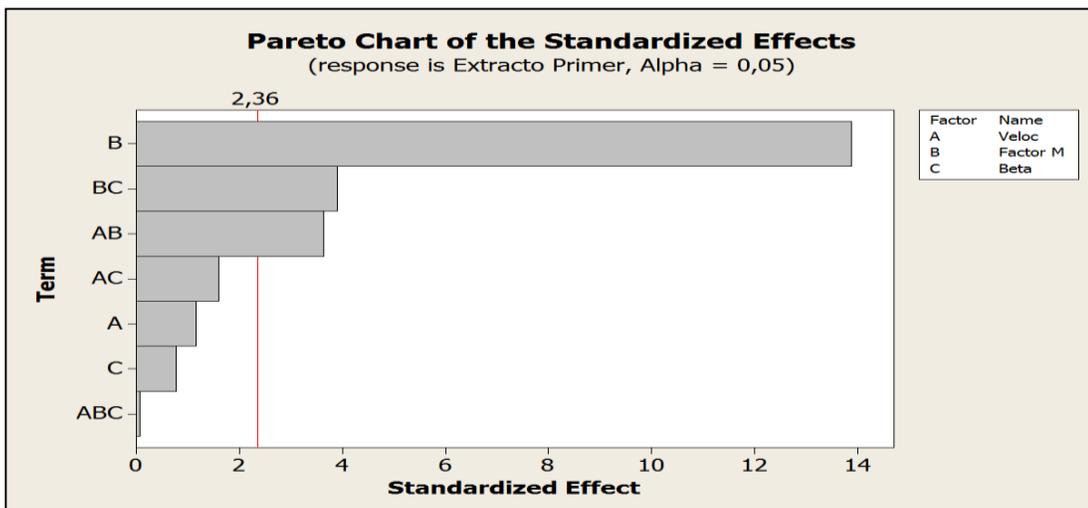


Figura 38. Pareto Extracto Primer Mosto. Sin pt centro (DDE). (Fuente: Minitab)

Para el extracto de Primer mosto, sigue siendo significativo el factor de mezcla, y se suma la interacción entre el factor de mezcla y la cantidad de Betaglucanasa y la velocidad de agitación con la cantidad de Betaglucanasa.

Extracto Digerible.

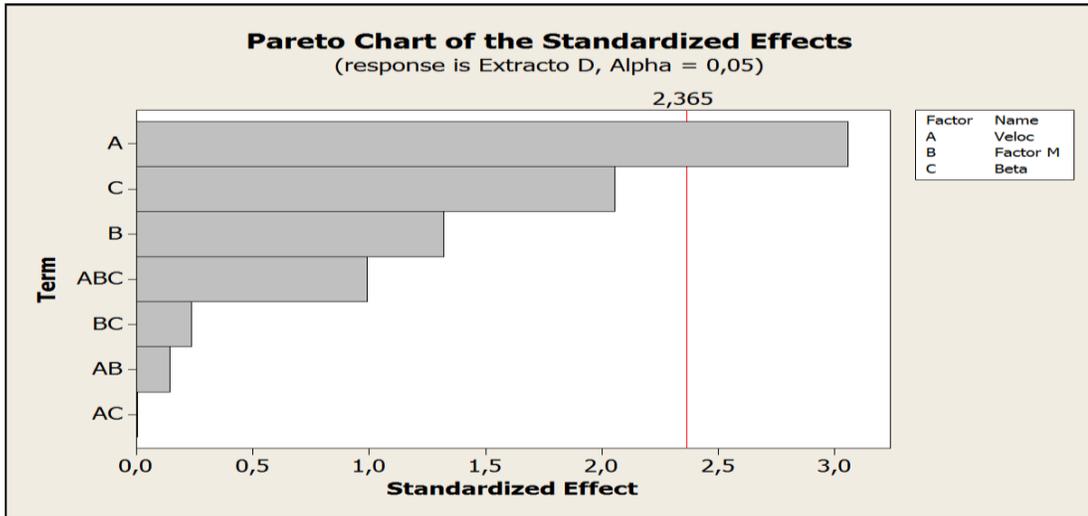


Figura 39. Pareto Extracto Digerible. Sin pt centro (DDE). (Fuente: Minitab)

Para el resultado del Extracto digerible sin punto centro, la velocidad de agitación influenciando de manera significativa.

Tiempo de ocupación Filtro Meura

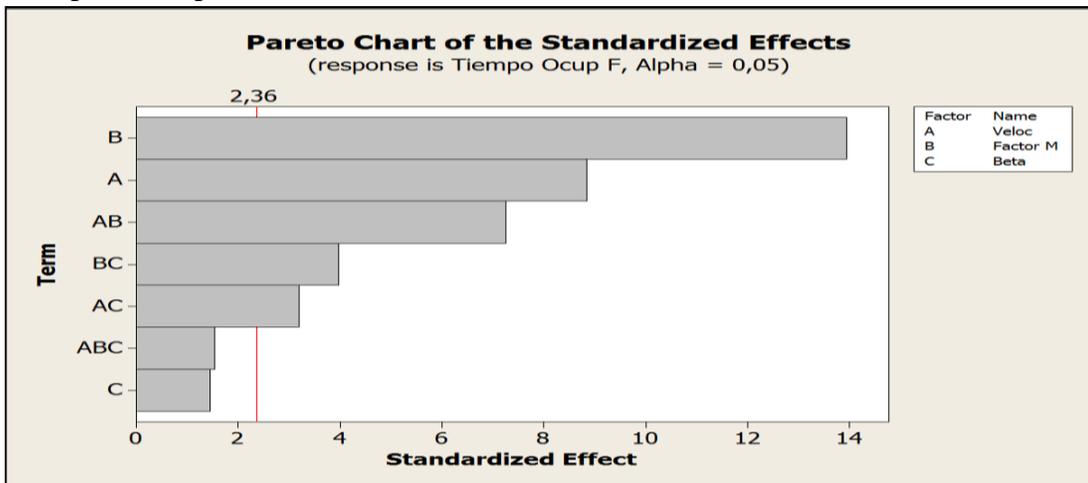


Figura 40. Pareto Tiempo de Ocupación Filtro Meura. Sin pt centro (DDE). (Fuente: Minitab)

Observamos que aumentaron las interacciones que pasan a ser significativas, obteniendo un coeficiente de determinación del 95,93%. Los P-valores obtenidos son:

Extracto Eluible.

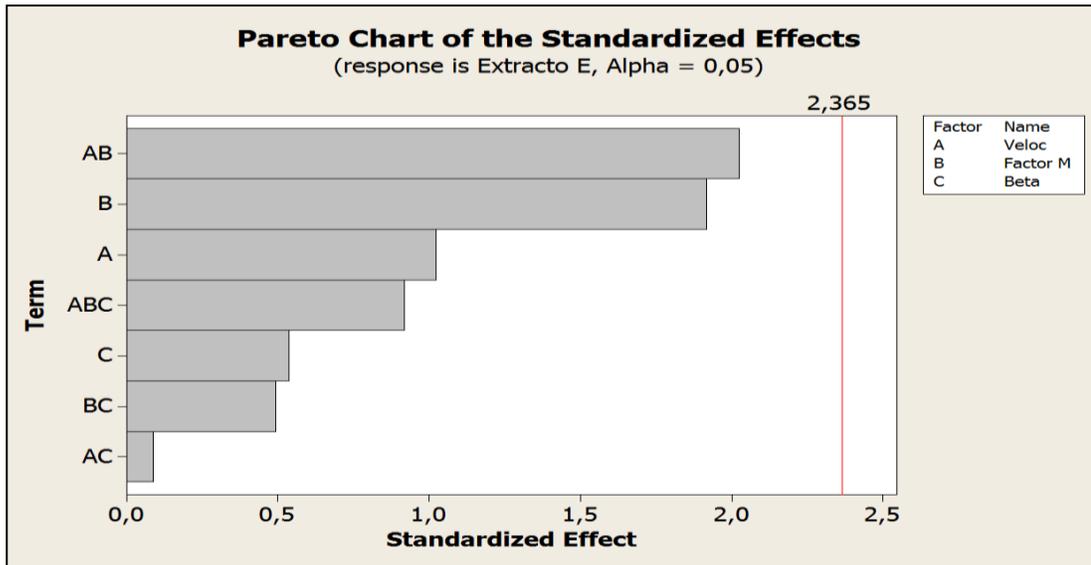


Figura 41. Pareto Extracto Eluible. Sin pt centro (DDE). (Fuente: Minitab)

Extracto Total.

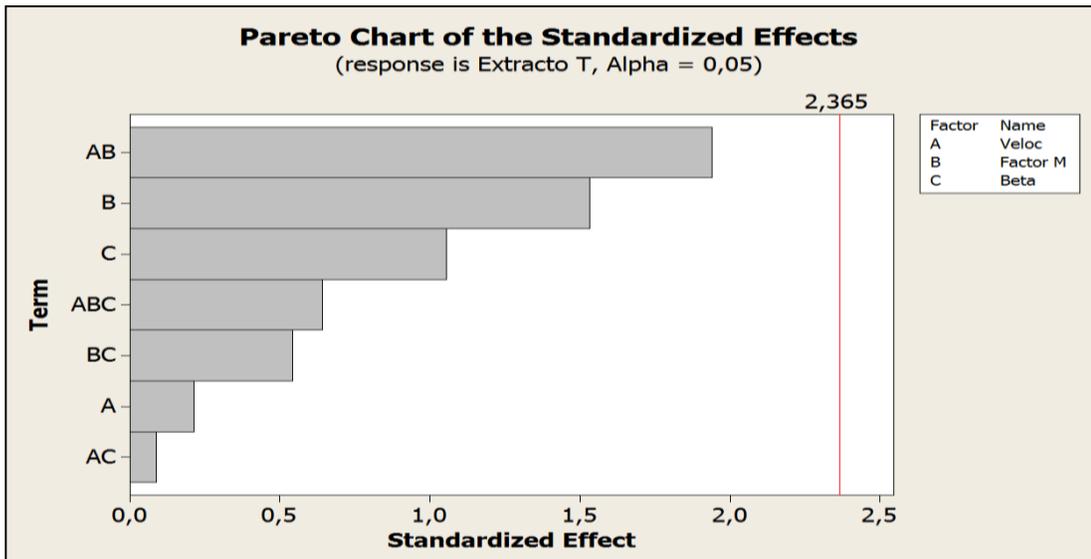


Figura 42. Pareto Extracto Total. Sin pt centro (DDE). (Fuente: Minitab)

Mientras que para el Extracto Eluible y Total sigue sin ser significativo ningún factor.

- Gráficas de cubo.

Minitab nos permite realizar una gráfica de cubo con el cual, podemos obtener los valores promedios de las respuesta con los mismos valores de sus factores, es decir las interacciones que dieron mejores resultados en promedio como se puede observar en las figuras siguientes, desde la figura 43 hasta la figura 48.

Tiempo de ocupación Filtro Meura.

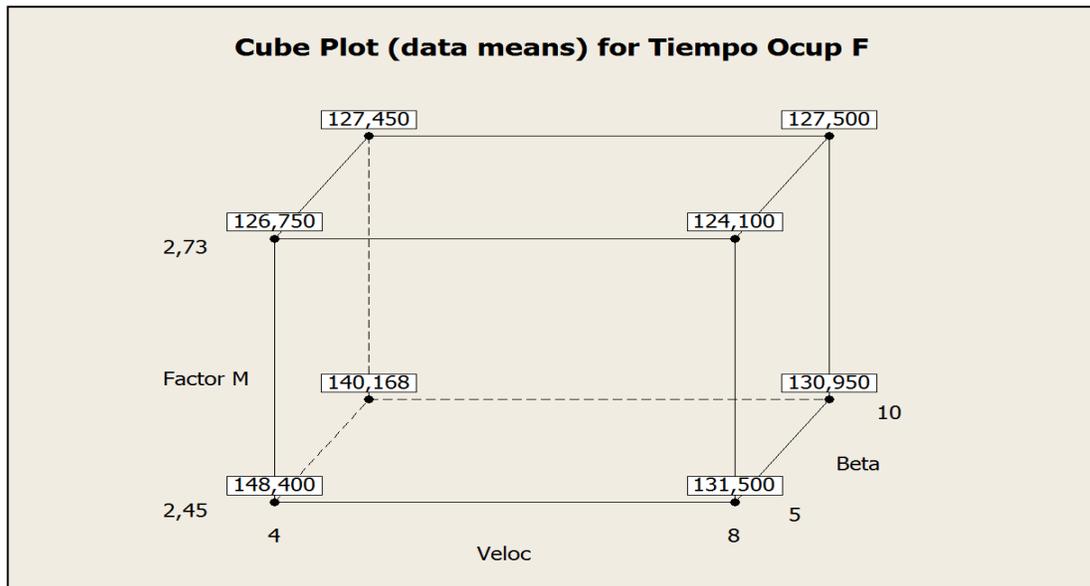


Figura 43. Gráfica de Cubo Tiempo de Ocupación Filtro Meura (DDE). (Fuente: Minitab)

Obteniendo la mejor media para el tiempo de ocupación del Filtro con la combinación de 8rpm de velocidad de agitación, 2,73 de factor de mezcla y 5Kg de β -Glucanasa.

Tiempo de Maceración.

Con una combinación similar a la del Tiempo de Ocupación del Filtro Meura, se puede observar que se obtuvo el tiempo de maceración (125,80min) más corto en el siguiente gráfico.

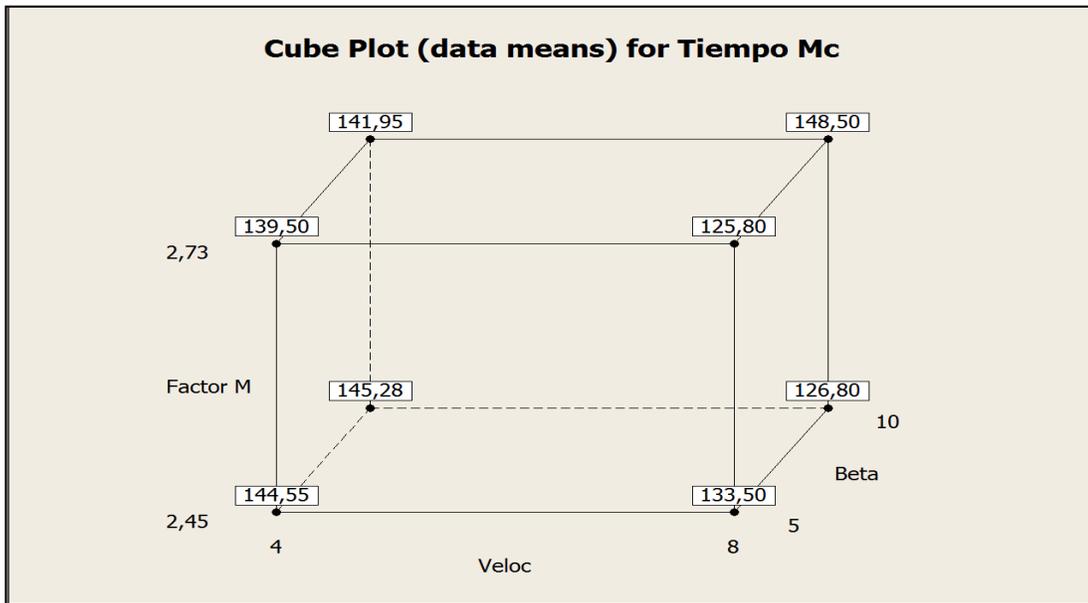


Figura 44. Gráfico de Cubo Tiempo de Maceración (DDE). (Fuente: Minitab)

Extracto Digerible.

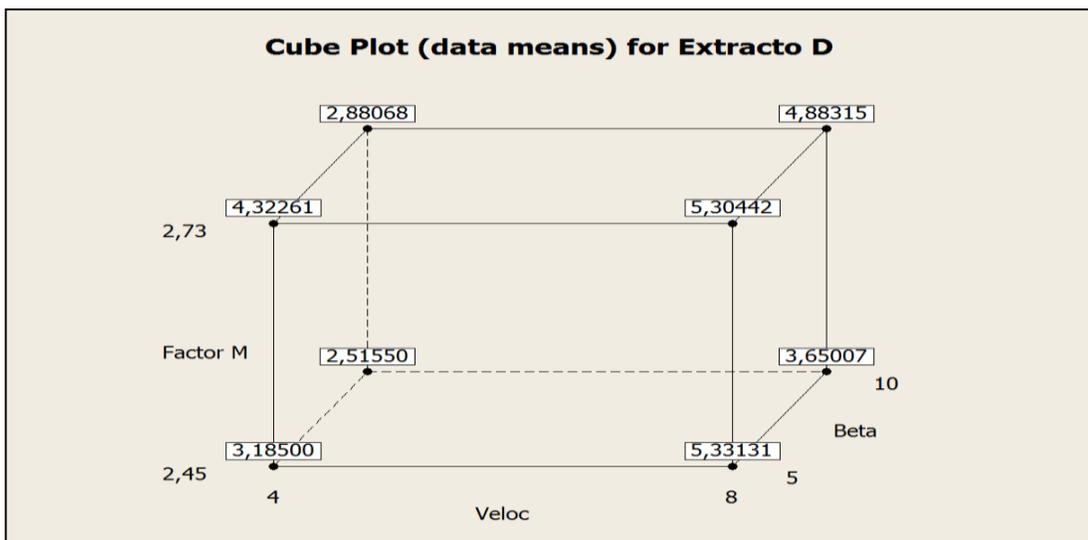


Figura 45. Gráfico de Cubo Extracto Digerible (DDE). (Fuente: Minitab)

Existiendo varias combinaciones cuyas medias arrojaron un extracto digerible dentro de norma, siendo la mejor 2,5155%p/p con 4rpm, 10Kg de β -Glucanasa y 2,45 de factor de mezcla.

Extracto Eluible.

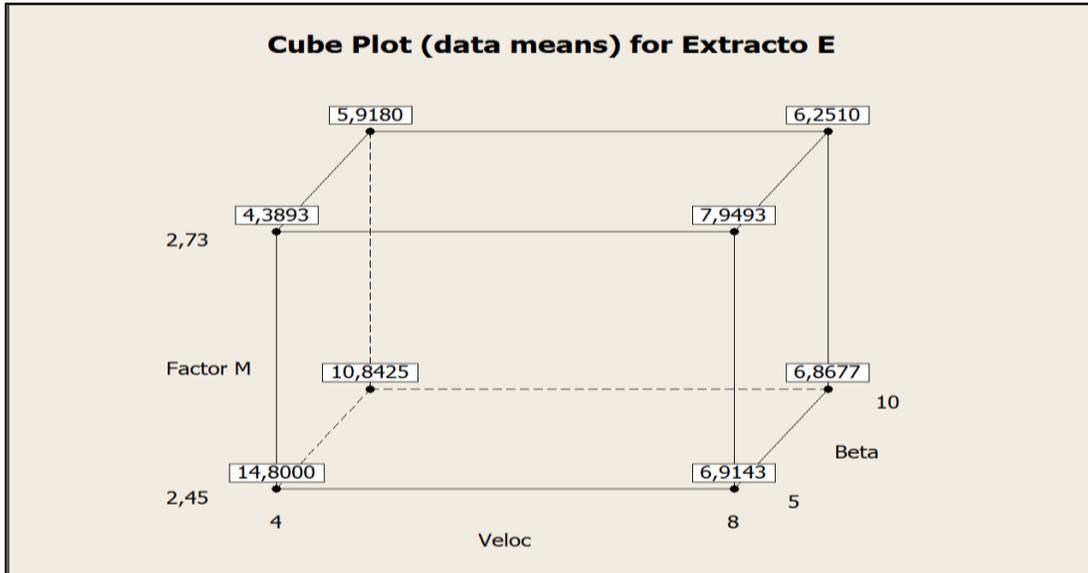


Figura 46. Gráfico de Cubo Extracto Eluible (DDE). (Fuente: Minitab)

La interacción con una mejor media arrojada, fue 4rpm, 5Kg de β -Glucanasa y 2,73 de factor de mezcla. Aunque de igual manera se encuentra fuera de norma, como era de esperarse ya que estos factores no son significativos para determinar el extracto eluible, por lo menos los rangos tomados no son suficientes para demostrarlo.

Grados de Fermentación.

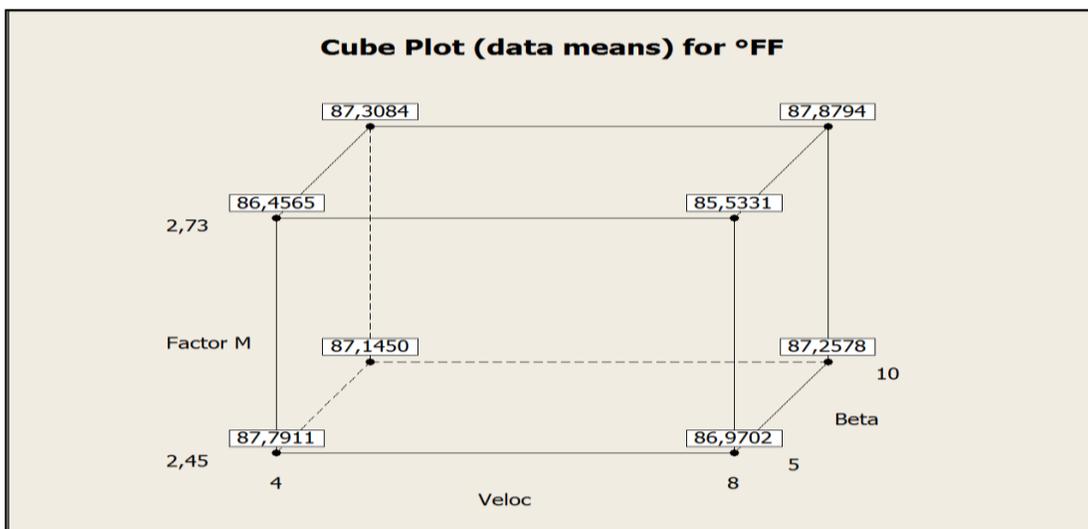


Figura 47. Gráfico de Cubo Grados de Fermentación (DDE). (Fuente: Minitab)

Para los grados de fermentación, todas las medias de las interacciones arrojaron resultados superiores al 85%, que es el valor mínimo buscado, pero la mejor interacción fue para 10Kg de β -Glucanasa, 2,73 de factor de mezcla y 8rpm de velocidad de agitación, con una media de 87,88%.

Aminonitrogeno Libre (FAN)

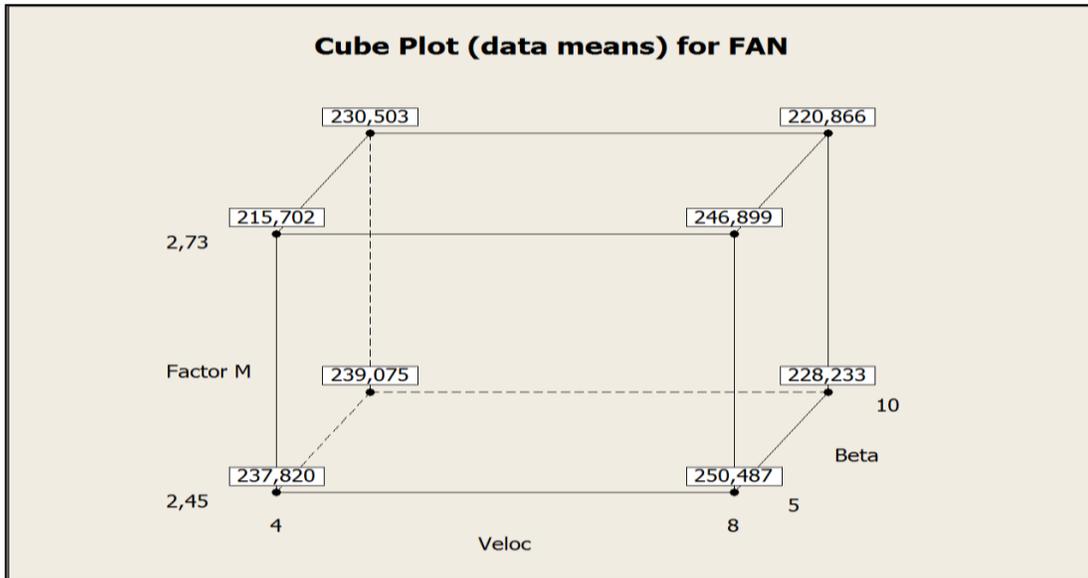


Figura 48. Gráfico de Cubo FAN (DDE). (Fuente: Minitab)

Las medias de las interacciones se encontraron dentro de norma para el FAN, por lo que no implicó ningún problema el haber modificado las variables ya mencionadas en procesos anteriores.

- Gráficas de contorno.

Con estos tres factores que se realizó el diseño de experimento se puede crear una gráfica de contorno, que permite observar la relación tridimensional entre estos factores y la respuesta, en dos dimensiones. Las siguientes fueron realizadas con las respuestas vs el factor de mezcla y la velocidad de agitación siendo estos los ejes. Las siguientes graficas que puede observar (desde la figura 49 hasta la figura 54) nos muestran el comportamiento de algunas variables de respuesta en este tipo de gráfico.

Tiempo de Ocupación Filtro Meura.

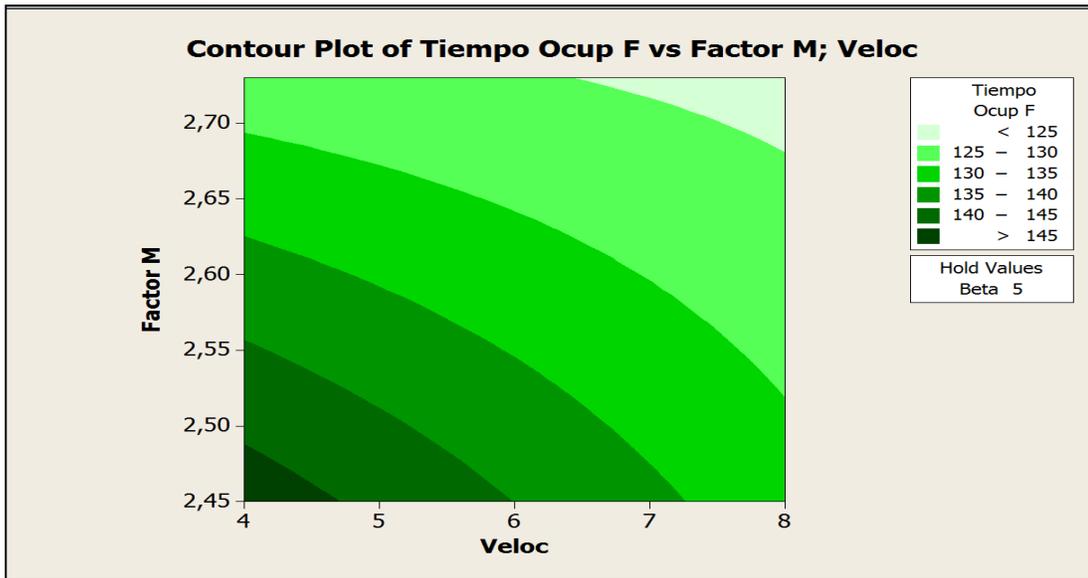


Figura 49. Grafica de Contorno Tiempo de Ocup. Filtro Meura. Bajo (DDE). (Fuente: Minitab)

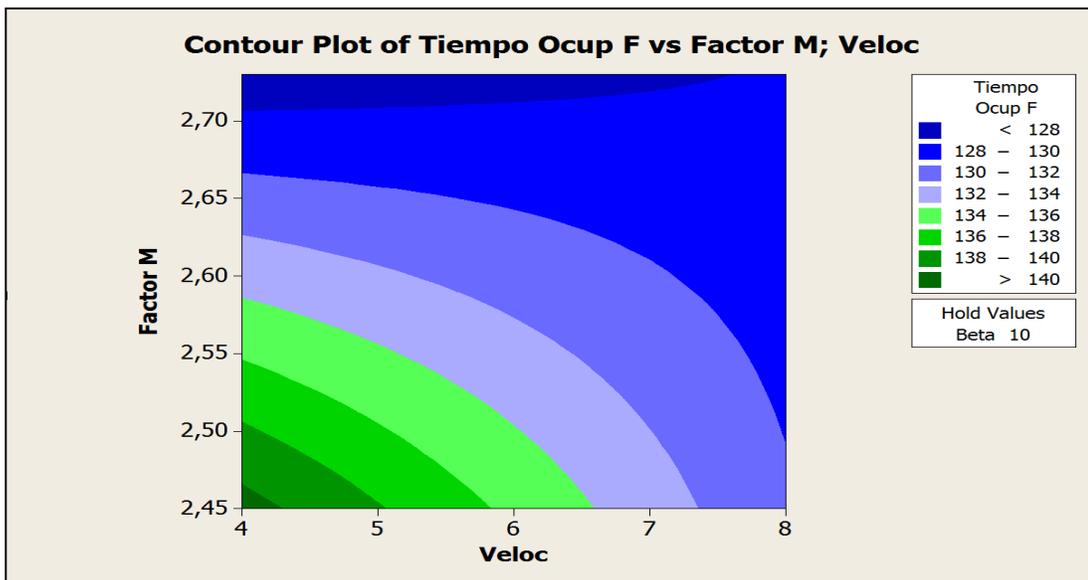


Figura 50. Grafica de Contorno Tiempo de Ocup. Filtro Meura. Alto (DDE)

Podemos observar que el comportamiento para ambos casos (nivel bajo y nivel alto) requiere de un factor de mezcla alto.

Extracto Digerible.

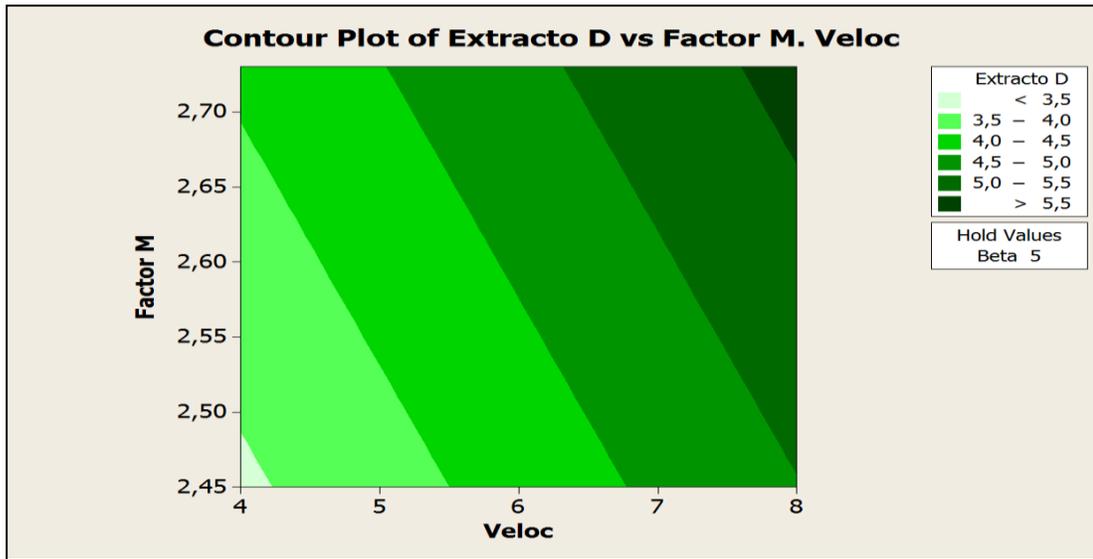


Figura 51. Gráfico de Contorno Extracto Digerible. Bajo (DDE). (Fuente: Minitab)

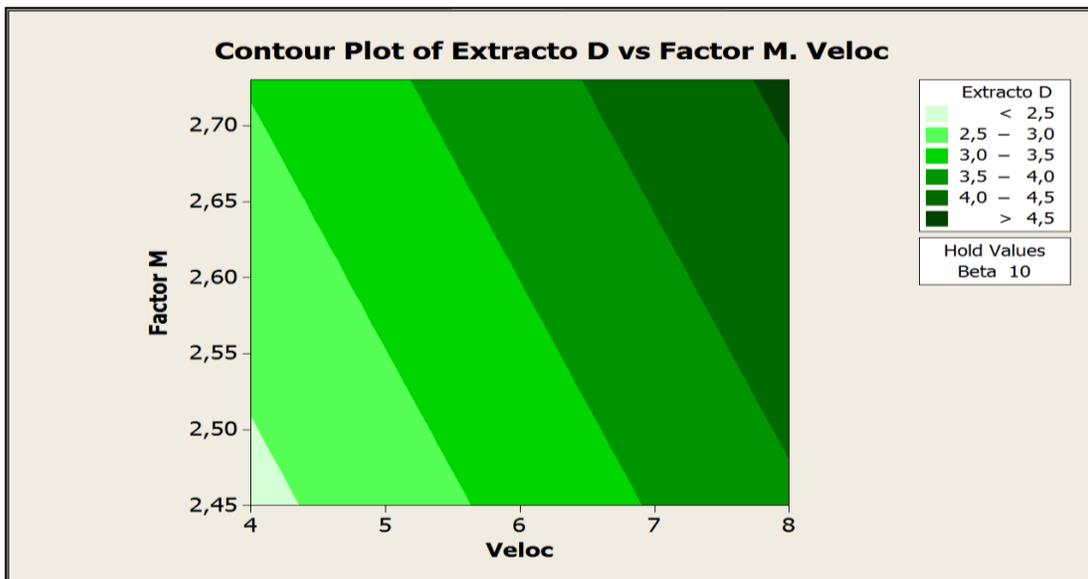


Figura 52. Gráfico de Contorno Extracto Digerible. Alto (DDE). (Fuente: Minitab)

Las zonas óptimas para el extracto Eluible no varían mucho si se está en el nivel bajo o alto de la Cantidad de Betaglucanasa.

Extracto Eluible.

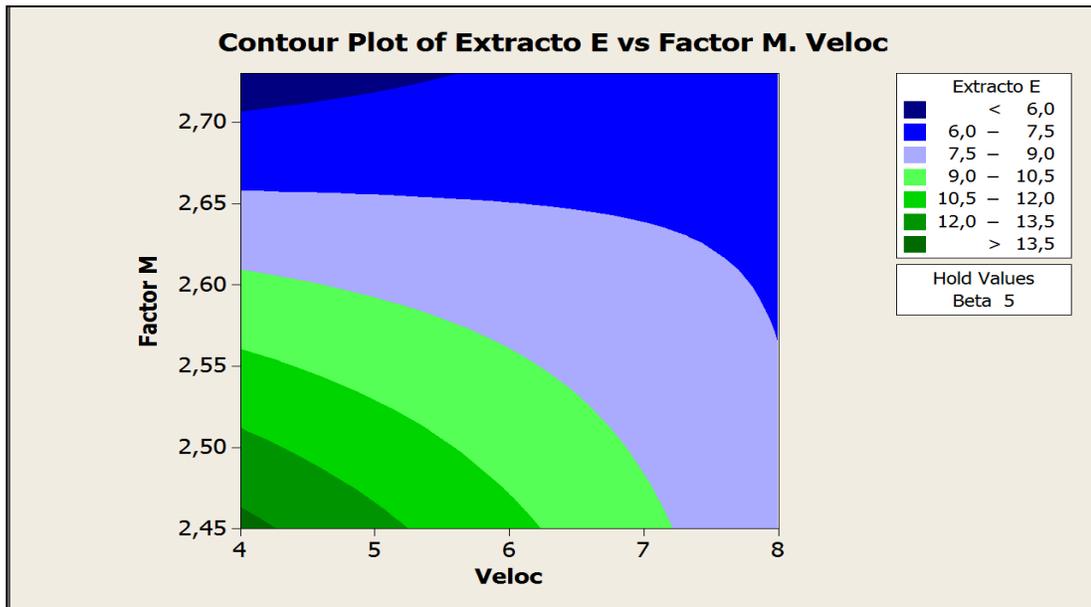


Figura 53. Gráfico de Contorno Extracto Eluible. Bajo (DDE). (Fuente: Minitab)

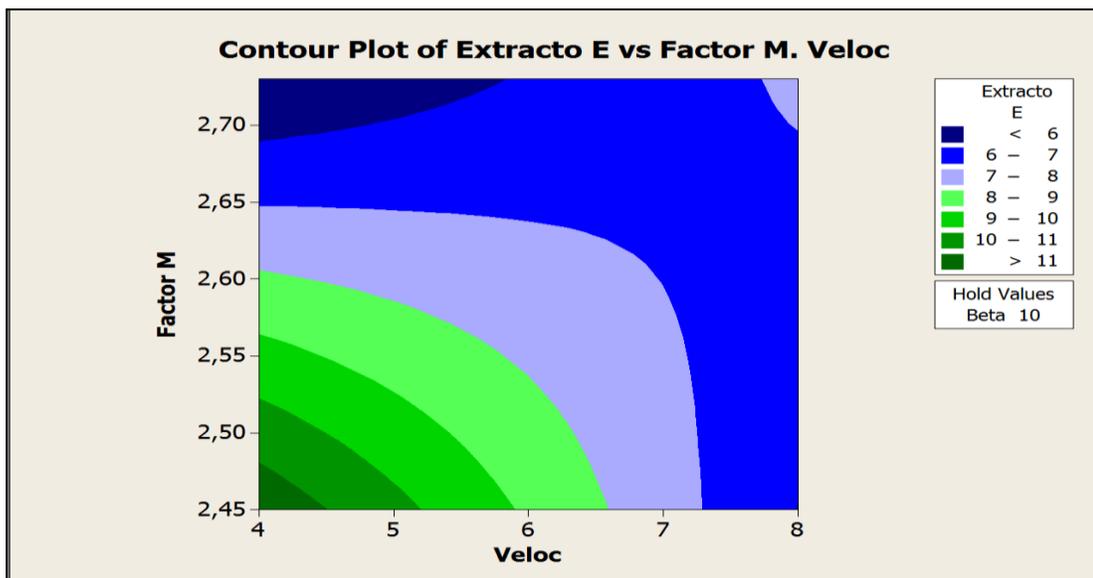


Figura 54. Gráfico de Contorno Extracto Eluible. Alto (DDE). (Fuente: Minitab)

Obteniendo zonas óptimas para el extracto eluible casi similares para el nivel bajo o alto.

- Verificación de los supuestos del modelo

Los supuestos de “Normalidad de los Residuos” e “Igualdad de las Varianzas”, deben ser verificados para que las inferencias realizadas resulten válidas.

Extracto Digerible

Las figuras 55 y 56 que observa a continuación nos muestran la normalidad de los residuos y la igualdad de las Varianzas del Extracto Digerible.

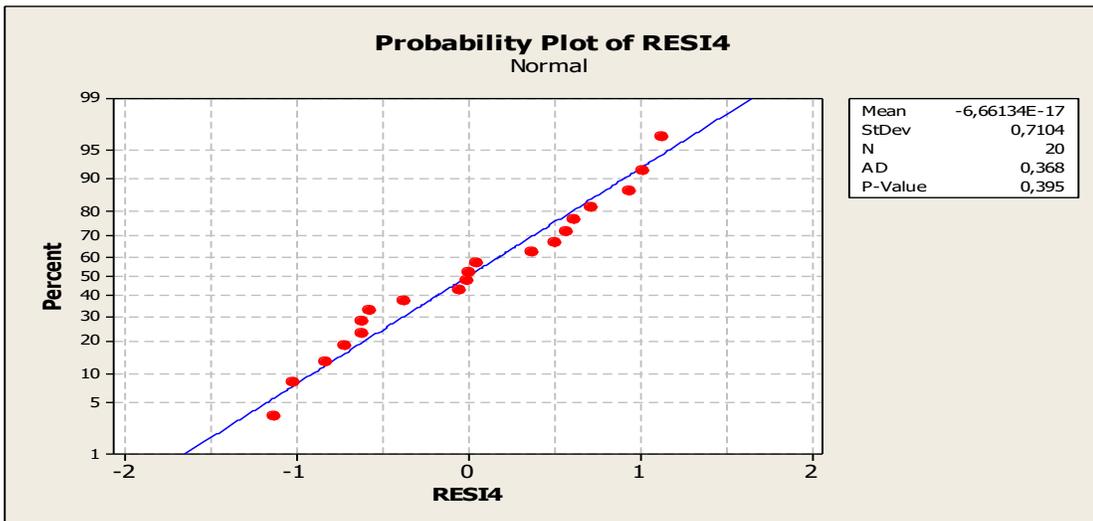


Figura 55. Normalidad de Los Residuos. Extracto Digerible (DDE). (Fuente: Minitab)

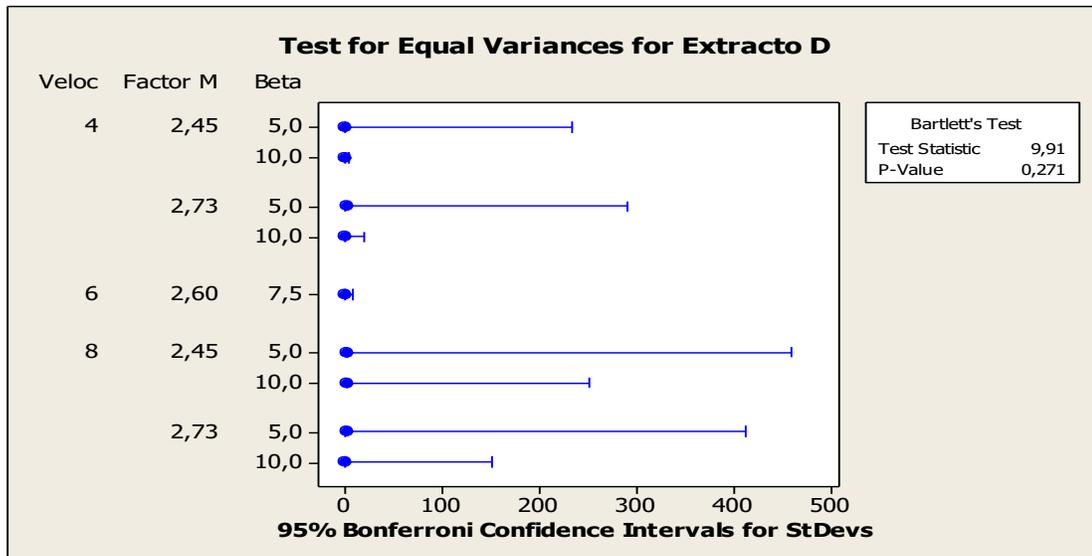


Figura 56. Igualdad de las Varianzas Extracto Digerible (DDE). (Fuente: Minitab)

Extracto Eluible

A continuación se observa en las figuras 57 y 58, la Normalidad de los Residuos y la Igualdad de las Varianzas para el Extracto Eluible respectivamente.

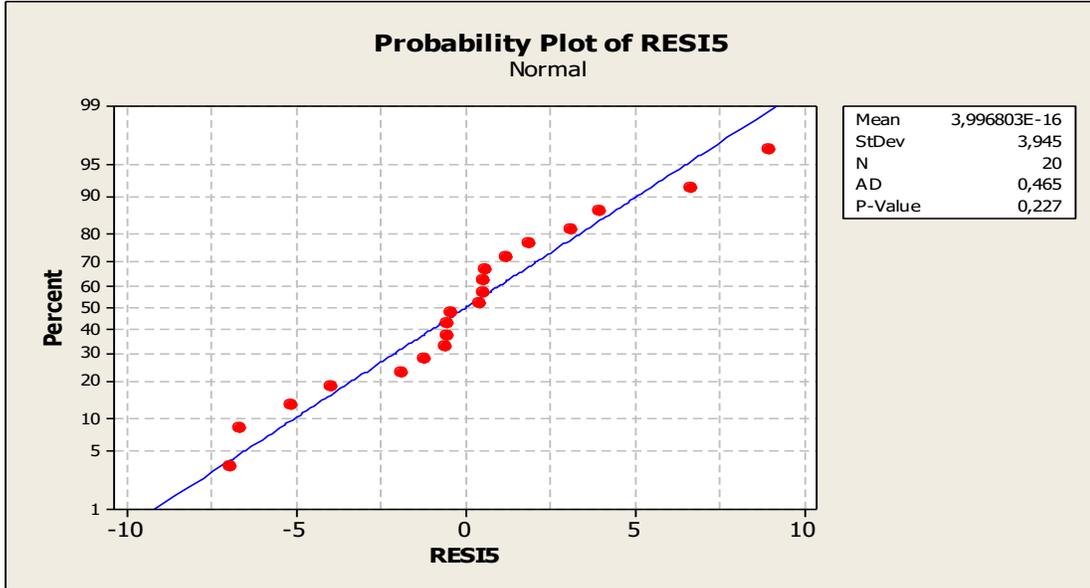


Figura 57. Normalidad de los residuos Extracto Eluible (DDE). (Fuente: Minitab)

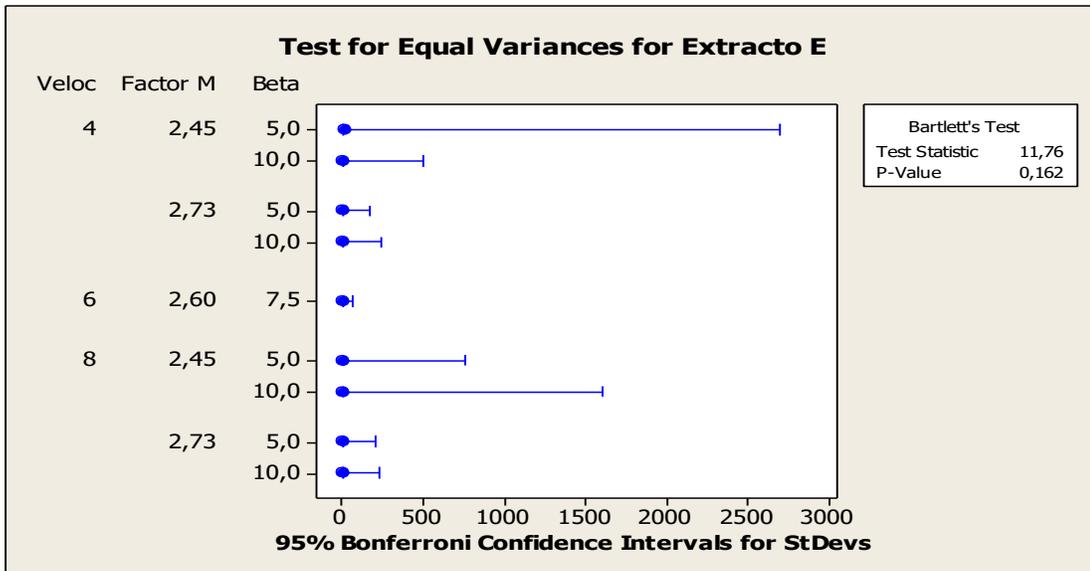


Figura 58. Normalidad de las varianzas Extracto Eluible (DDE). (Fuente: Minitab)

Extracto Total.

Para el Extracto Total la Normalidad de los residuos y la Igualdad de las Varianzas se observa en las siguientes figuras.

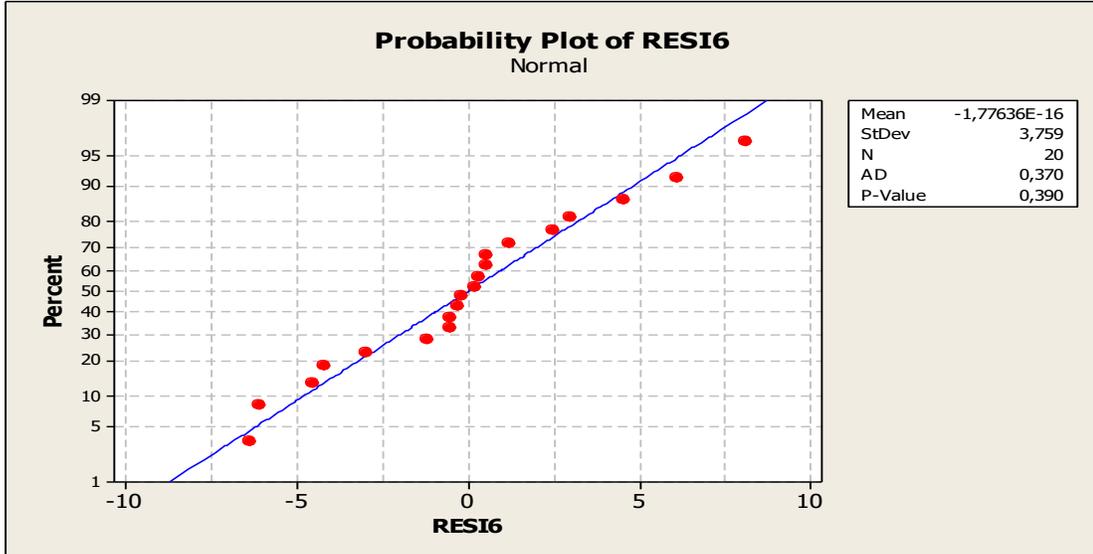


Figura 59. Normalidad de los residuos Extracto Total. (DDE). (Fuente: Minitab)

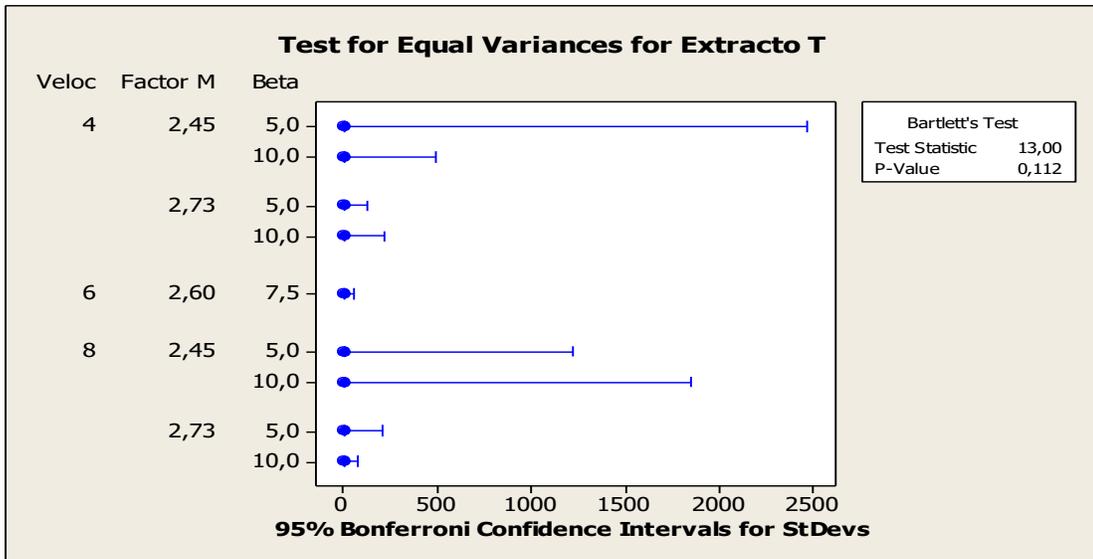


Figura 60. Igualdad de las Varianzas Extracto Total (DDE). (Fuente: Minitab)

Tiempo de Ocupación Filtro Meura.

En las siguientes figuras (61 y 62) podrá observar la Normalidad de los Residuos y la Igualdad de las Varianzas para el Tiempo de Ocupación del Filtro Meura durante la ejecución del Diseño de Experimento.

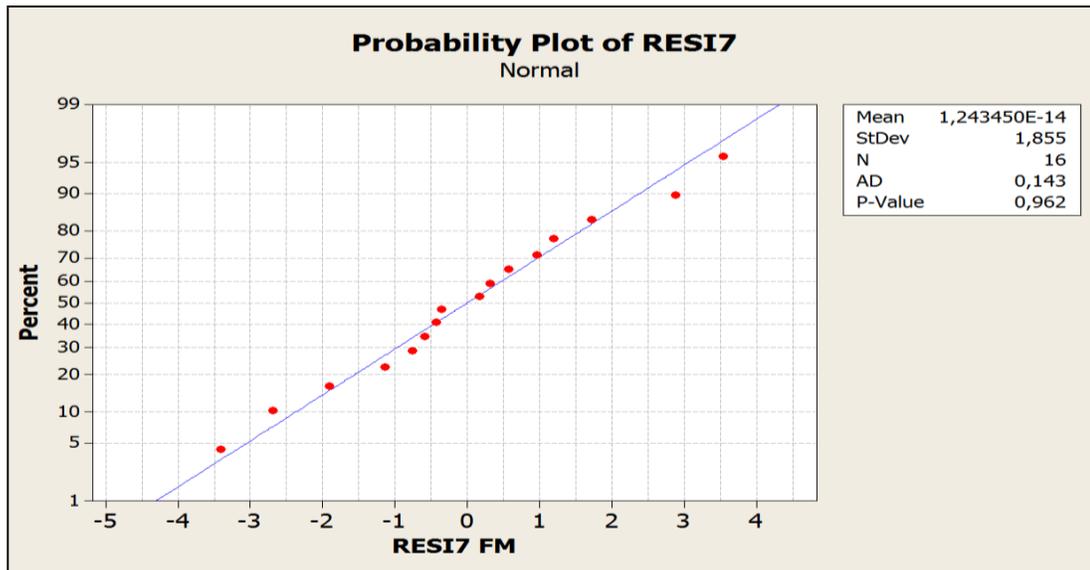


Figura 61. Normalidad de los residuos Tiempo de ocupación Filtro Meura (DDE). (Fuente: Minitab)

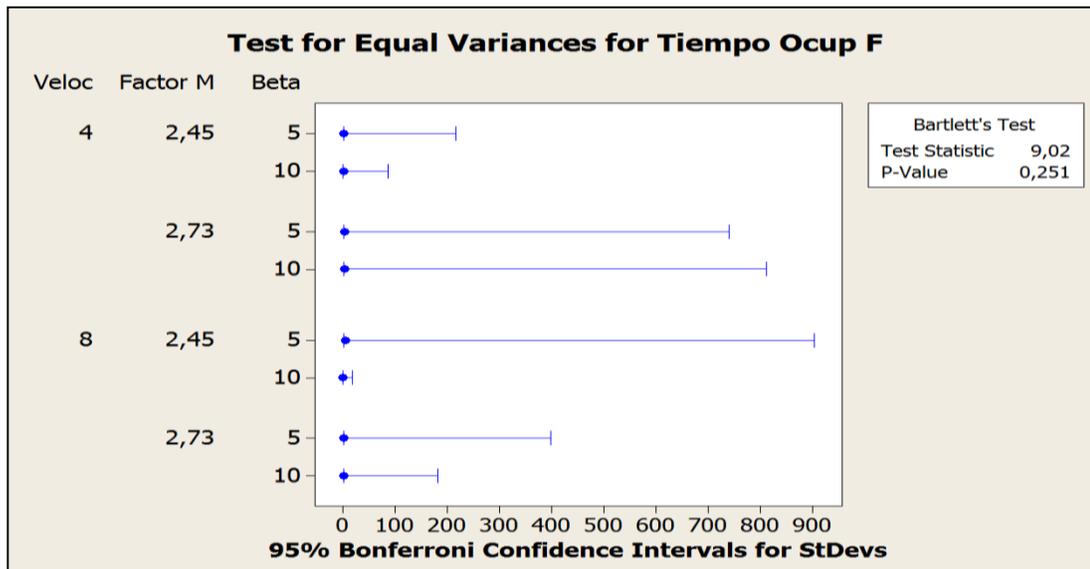


Figura 62. Igualdad de las Varianzas Tiempo de ocupación Filtro Meura (DDE). (Fuente: Minitab)

Tiempo de Maceración.

Mientras que las siguientes figuras (63 y 64) nos muestran la Normalidad de los Residuos y la Igualdad de las Varianzas para el Tiempo de Maceración.

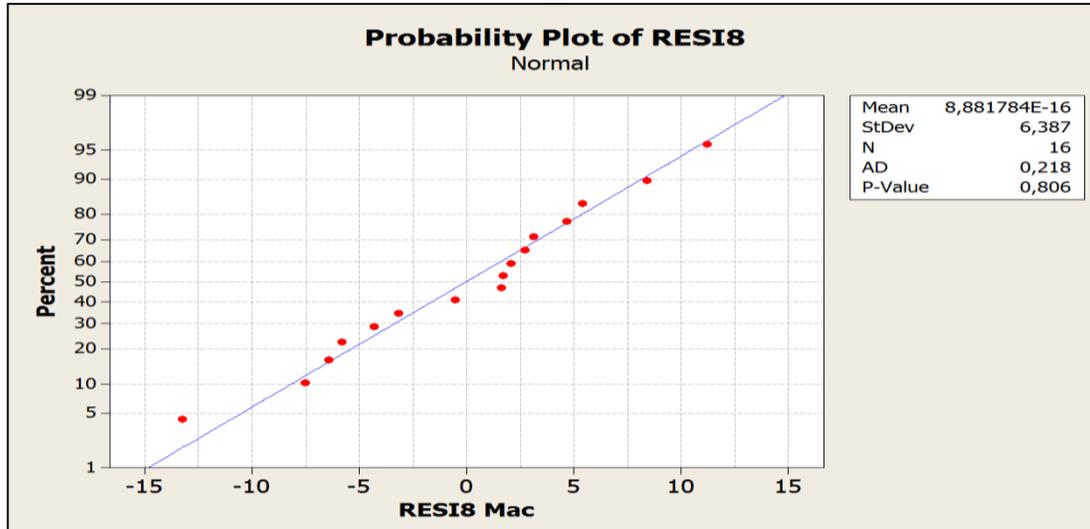


Figura 63. Normalidad de los residuos Tiempo de Maceración (DDE). (Fuente: Minitab)

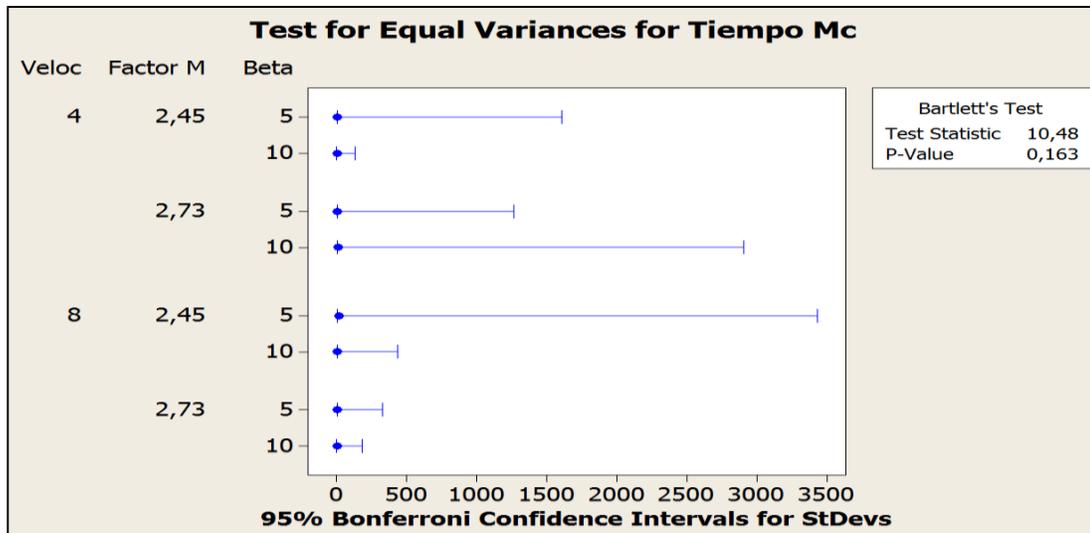


Figura 64. Igualdad de las Varianzas Tiempo de Maceración (DDE). (Fuente: Minitab)

Observamos que todos los supuestos se cumplen, tanto para la normalidad de los residuos como para la igualdad de varianzas de las respuestas de estudio.

- Optimización de Respuesta.

Minitab nos permite optimizar la respuesta que buscamos en base a las variables que afecten a dicha respuesta, indicándonos que valores deben tomar estas variables para alcanzar el resultado deseado o la mayor proximidad que el proceso es capaz de alcanzar, como lo pueden observar en las siguientes tablas.

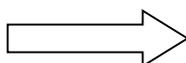
Tiempo de Maceración y Filtración.

Veloc	Factor M	Beta
8,0	2,730	10,0
[8,0]	[2,730]	[5,0]
4,0	2,450	5,0

Tabla 16. Optimización de Respuesta Tiempo de Maceración y Filtración (DDE). (Fuente: Minitab)

Valores:

Vel.agi=8rpm
FactorM=2,73
Cant. β -Gluc=5Kg



Respuesta:

TiempoMac=129,26min
TiempoFilt=123,48min

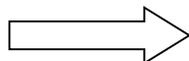
Extracto Digerible y Eluible.

Veloc	Factor M	Beta
8,0	2,730	10,0
[4,0]	[2,730]	[10,0]
4,0	2,450	5,0

Tabla 17. Optimización de Respuesta Ext. Digerible y Eluible (DDE). (Fuente: Minitab)

Valores:

Vel.agi=4rpm
FactorM=2,73
Cant. β -Gluc=10Kg



Respuesta:

Ext. Dig=3,04%
Ext. Elu=5,03%

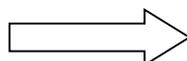
Extracto Total.

Veloc	Factor M	Beta
8,0	2,730	10,0
[4,0]	[2,730]	[10,0]
4,0	2,450	5,0

Tabla 18. Optimización de Respuesta Extracto Total (DDE). (Fuente: Minitab)

Valores:

Vel.agi=4rpm
FactorM=2,73
Cant. β -Gluc=10Kg



Respuesta:

Ext. Total= 8,16%

Debido a la influencia de la cantidad de Enzima β -Glucanasa sobre el extracto digerible, eluible y por ende del extracto total, junto a la influencia de la influencia del factor de mezcla, se procedió a realizar un nuevo Diseño de Experimento Factorial 2^k , pero a nivel de laboratorio, simulando el proceso de maceración y filtración de mosto, para analizar el afrecho resultante de estas simulaciones, para este caso los factores y valores a considerar fueron los observados en la siguiente tabla.



Tabla 19. Factores Diseño de Experimento Laboratorio (DDELab). (Fuente: Elaboración propia)

Las medidas necesitadas para realizar un cocimiento real, fueron llevadas a escala, y se programaron las etapas en el macerador del laboratorio, con los tiempos más cercanos posibles a los usados realmente en la elaboración de mosto cervecero, de tal manera de evitar alterar en lo menos posible el proceso de filtración y maceración.

Siendo un Diseño de experimento factorial 2^k , con k =número de factores. $2^{(4)}=16$. 16 réplicas necesarias en este DDE, con una réplica para cada corrida, un punto centro con CSM y uno sin CSM, con sus respectivas replicas, resultando 36 corridas para este Diseño de Experimento, cuyas corridas se pueden ver en la siguiente tabla número 20.

Coc #	Cant. β-gluc	CSM	Rampa Calen.	Fmezcla	Coc #	Cant. β-gluc	CSM	Rampa Calen.	Fmezcla
1	0	Sin	0,9	2	19	40	Con	0,9	2
2	40	Sin	0,6	3	20	0	Sin	0,9	2
3	0	Con	0,9	3	21	40	Con	0,9	3
4	0	Sin	0,6	2	22	40	Con	0,6	2
5	0	Con	0,6	3	23	40	Sin	0,9	2
6	0	Sin	0,6	3	24	20	Sin	0,75	2,5
7	40	Sin	0,9	3	25	0	Con	0,9	2
8	0	Con	0,9	2	26	20	Sin	0,75	2,5
9	40	Con	0,9	2	27	0	Sin	0,9	3
10	40	Sin	0,6	2	28	0	Sin	0,9	3
11	0	Sin	0,6	3	29	40	Sin	0,6	3
12	0	Con	0,9	3	30	0	Con	0,6	2
13	40	Con	0,6	3	31	40	Con	0,9	3
14	0	Con	0,6	3	32	0	Con	0,6	2
15	0	Sin	0,6	2	33	40	Sin	0,6	2
16	20	Con	0,75	2,5	34	40	Sin	0,9	2
17	40	Sin	0,9	3	35	20	Con	0,75	2,5
18	40	Con	0,6	3	36	40	Con	0,6	2

Tabla 20. Diseño de Experimento Laboratorio. (Fuente: Elaboración propia)

Obteniendo los siguientes resultados mostrados en la tabla 21, luego de realizar las 36 pruebas del Diseño de Experimento.

Coc	<i>Cant. β-gluc</i>	<i>CSM</i>	<i>Rampa Calen.</i>	<i>FMezcla</i>	pH	Ext. 1er Mosto	Ext. Ult H ₂ O	Ext. Dig	Ext. Elu	Ext. Total
1	0	Sin	0,9	2	5,57	35,530	11,424	5,66	28,26	33,92
2	40	Sin	0,6	3	5,48	25,440	12,800	2,51	32,08	34,59
3	0	Con	0,9	3	5,41	25,380	12,290	8,42	26,12	34,54
4	0	Sin	0,6	2	5,51	35,550	10,970	2,56	41,32	43,88
5	0	Con	0,6	3	5,47	25,020	12,490	2,39	45,01	47,40
6	0	Sin	0,6	3	5,49	25,867	10,490	4,27	30,55	34,82
7	40	Sin	0,9	3	5,56	24,530	12,230	3,12	33,70	36,82
8	0	Con	0,9	2	5,48	35,620	11,370	4,13	44,04	48,17
9	40	Con	0,9	2	5,48	35,340	9,930	4,73	31,60	36,33
10	40	Sin	0,6	2	5,45	35,787	8,482	5,06	23,29	28,35
11	0	Sin	0,6	3	5,55	25,627	12,510	3,87	27,69	31,56
12	0	Con	0,9	3	5,48	24,540	11,085	3,11	26,23	29,34
13	40	Con	0,6	3	5,51	24,840	9,800	2,87	26,53	29,40
14	0	Con	0,6	3	5,53	25,070	10,660	9,87	22,21	32,08
15	0	Sin	0,6	2	5,48	35,500	11,320	6,18	34,76	40,94
16	20	Con	0,75	2,5	5,56	29,219	10,756	4,78	24,65	29,43
17	40	Sin	0,9	3	5,52	24,182	9,214	4,45	15,75	20,20
18	40	Con	0,6	3	5,55	25,040	10,220	5,19	21,95	27,14
19	40	Con	0,9	2	5,54	34,188	8,785	3,37	20,55	23,92
20	0	Sin	0,9	2	5,56	35,013	10,895	2,24	33,56	35,80
21	40	Con	0,9	3	5,41	24,832	10,558	5,86	22,67	28,53
22	40	Con	0,6	2	5,43	36,701	12,102	6,47	28,36	34,83
23	40	Sin	0,9	2	5,58	36,464	9,688	6,09	24,33	30,42
24	20	Sin	0,75	2,5	5,59	29,208	10,464	5,28	26,78	32,06
25	0	Con	0,9	2	5,54	36,715	10,880	4,95	40,44	45,39
26	20	Sin	0,75	2,5	5,60	29,084	9,937	3,56	24,93	28,49
27	0	Sin	0,9	3	5,43	25,350	11,100	2,15	40,78	42,93
28	0	Sin	0,9	3	5,60	25,347	12,224	4,84	30,23	35,07
29	40	Sin	0,6	3	5,50	26,057	11,543	5,01	25,10	30,11
30	0	Con	0,6	2	5,56	34,687	13,055	5,96	32,93	38,89
31	40	Con	0,9	3	5,58	25,226	11,261	3,97	28,18	32,15
32	0	Con	0,6	2	5,55	36,452	13,112	6,97	30,19	37,16
33	40	Sin	0,6	2	5,50	37,510	16,845	5,96	28,87	34,83
34	40	Sin	0,9	2	5,57	36,544	10,397	5,59	25,02	30,61
35	20	Con	0,75	2,5	5,59	29,506	10,491	6,68	24,53	31,21
36	40	Con	0,6	2	5,54	38,257	12,055	5,86	29,15	35,01

Tabla 21. Resultados Diseño de Experimento Laboratorio. (Fuente: Elaboración propia)

Durante la ejecución de estas pruebas, se perdieron datos como extractos de ultima agua y un extracto digerible (Remarcados en rojo), por lo cual se procedió a realizar una regresión lineal simple para estimar estos extractos, los resultados en el recuadro anterior, remarcados en rojo, son los obtenidos de esta regresión lineal, que arrojó las siguientes ecuaciones:

$$\text{Ext. Dig} = 7,79 - 0,0040\text{Cant.}\beta\text{-gluc} - 1,96\text{RampaCalen} - 0,549\text{F.Mezcla}$$

$$\text{Ext. Ult. H}_2\text{O} = 13,1 - 0,0127\text{Cant.}\beta\text{-gluc} - 2,75\text{RampaCalen} + 0,164\text{F.Mezcla}$$

- Análisis de Diseño Factorial.

En las siguientes graficas (desde la figura 65 hasta la figura 69) se presentan los Diagramas de Pareto para diversas variables de respuesta en este Diseño de Experimento realizado en el Laboratorio (DDELab).

Extracto de Primer Mosto.

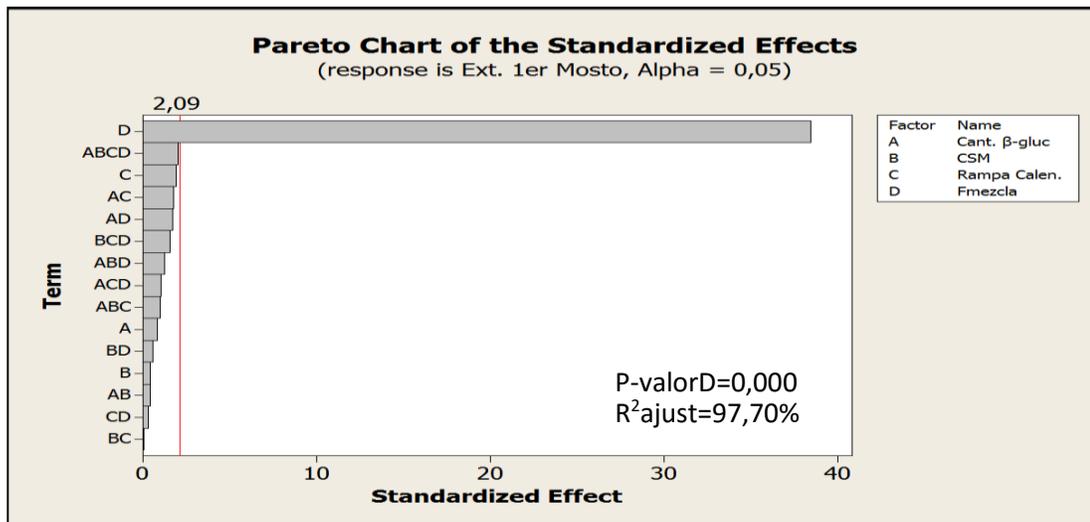


Figura 65. Diagrama de Pareto Extracto Primer Mosto (DDELab). (Fuente: Minitab)

Con un P-valor = 0,000 el Factor de Mezcla es altamente significativo para determinar el extracto de Primer Mosto, con un R²Ajust= 97,70%.

Extracto Última Agua.

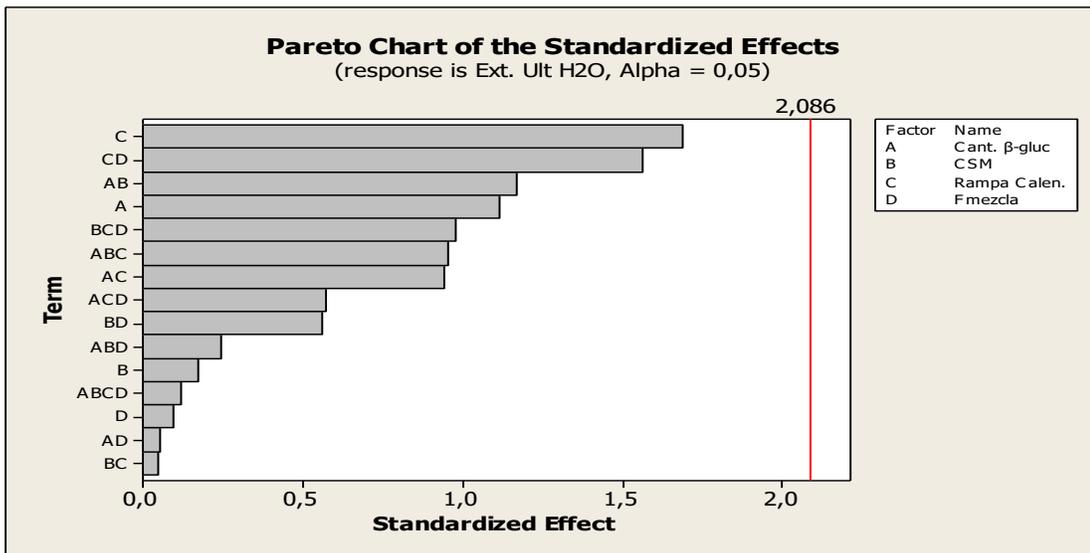


Figura 66. Diagrama de Pareto Extracto Ultima Agua (DDELab). (Fuente: Minitab)

Resultando que para el extracto de última agua, los factores que más influyen son la rampa de calentamiento y la interacción entre el factor de mezcla y la rampa de calentamiento pero sin ser significativos. Cabe destacar que este proceso fue realizado manualmente, hecho que pudo influir en estos resultados finales para el extracto de última agua.

Extracto Eluible.

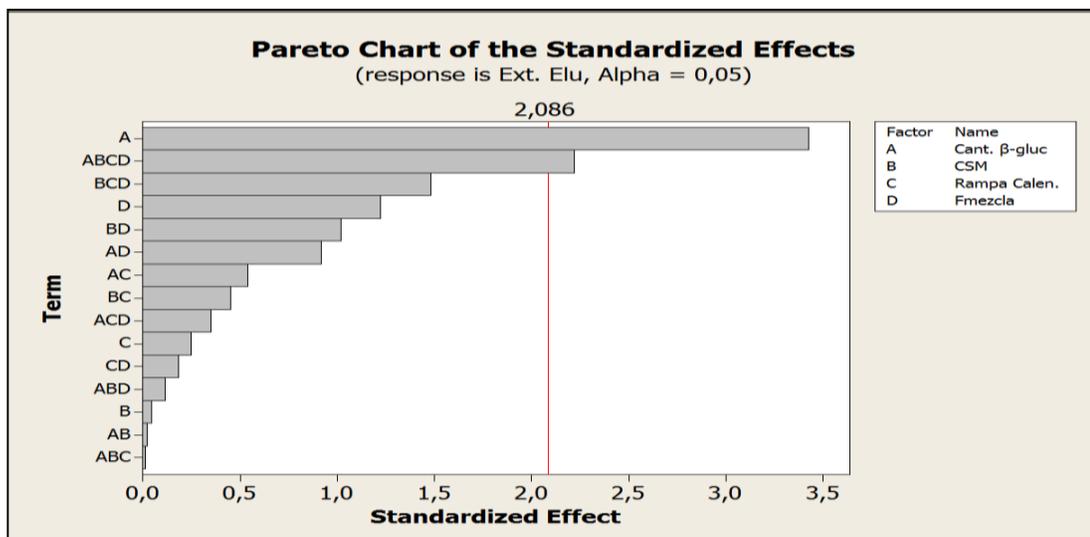


Figura 67. Diagrama de Pareto Extracto Eluible (DDELab). (Fuente: Minitab)

El extracto Eluible se ve afectado por la Cantidad de β -glucanasa y por la interacción entre los cuatro factores, hecho que no es común estadísticamente, pero existe la posibilidad que ello se deba a la cantidad de β -glucanasa dosificada, que es mayor en gran medida a la dosificada normalmente (Ya que no era posible dosificar la cantidad necesaria por ser de tamaño muy pequeño difícil de manipular con una propipeta).

Extracto Digerible.

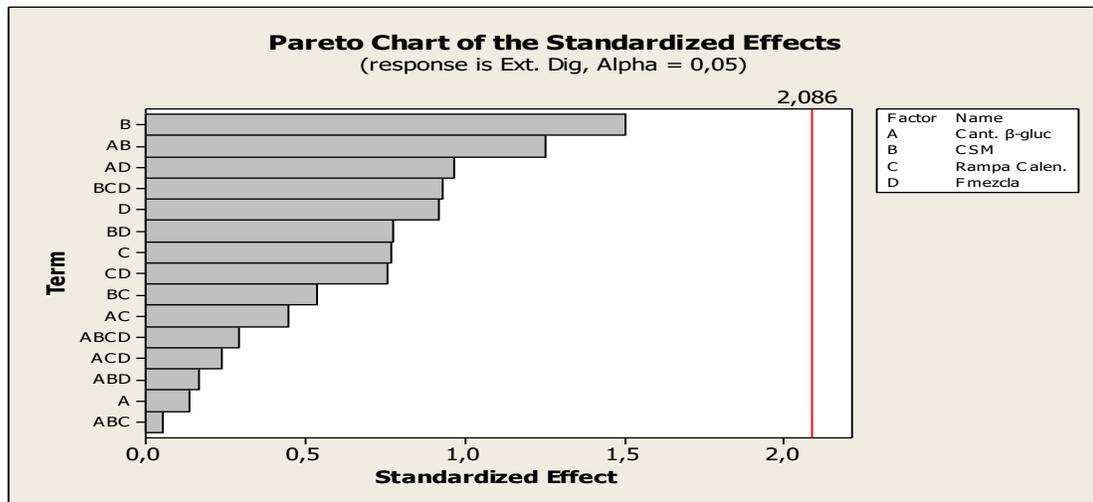


Figura 68. Diagrama de Pareto Extracto Digerible (DDELab). (Fuente: Minitab)

Obteniendo desde Minitab que ningún factor fue significativo para determinar el extracto Digerible, siendo la Cebada Sin Maltear la que presento mayor influencia.

Extracto Total.

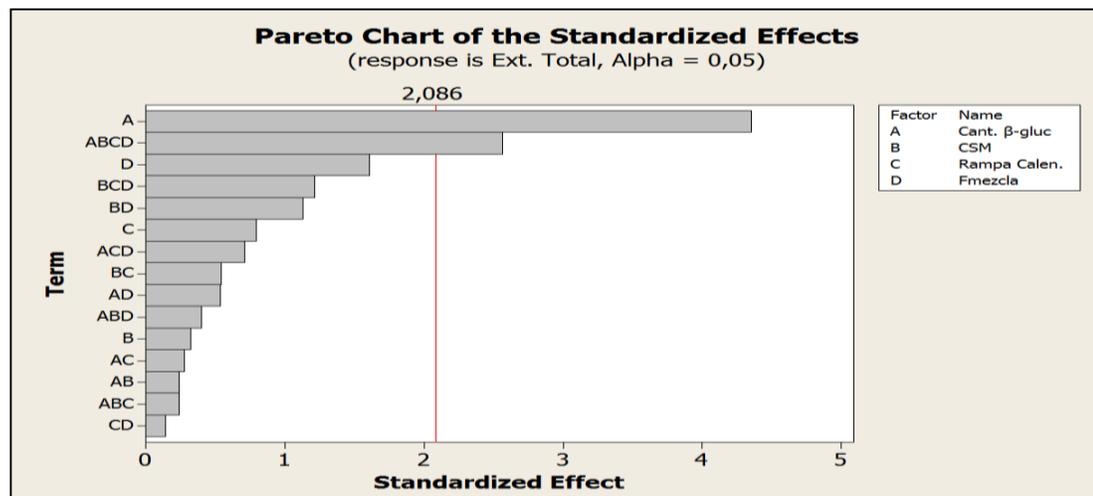


Figura 69. Diagrama de Pareto Extracto Total (DDELab). (Fuente: Minitab)

Para el extracto total, los factores significativos son: La cantidad de β -glucanasa con un P-valor=0,000, y la interacción de los cuatro factores con un P-valor=0,018, resultado posiblemente obtenido debido a lo explicado previamente.

- Anova

Se realizó un nuevo análisis de varianza con Minitab para este diseño de experimento, el resumen se puede observar en las siguientes tablas.

Extracto Primer Mosto vs Factor de Mezcla.

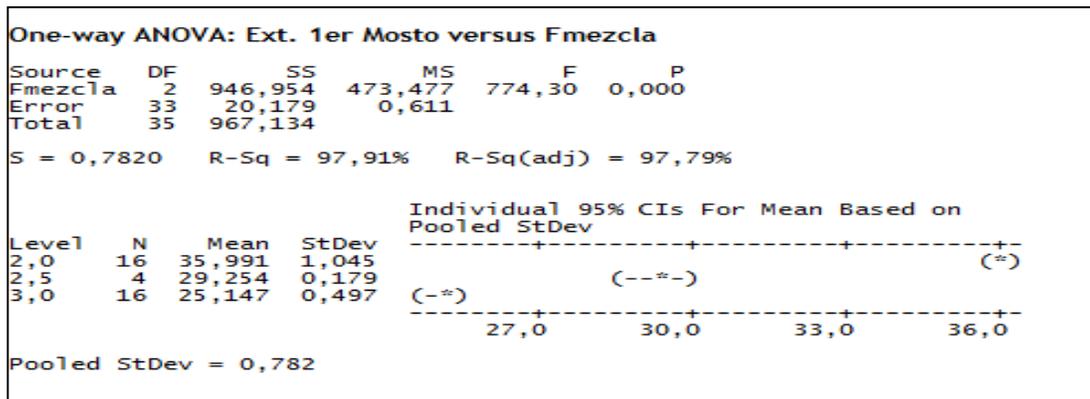


Tabla 22. ANOVA Extracto Primer Mosto vs Factor de Mezcla (DDELab). (Fuente: Minitab)

Con un R^2 Ajust=97,7% y un P-valor=0,000 observamos la gran influencia que tiene el factor de mezcla sobre el extracto de Primer mosto, que no presenta curvatura en su comportamiento con la variación de Factor de Mezcla.

Extracto Eluible vs Cantidad de β -glucanasa.

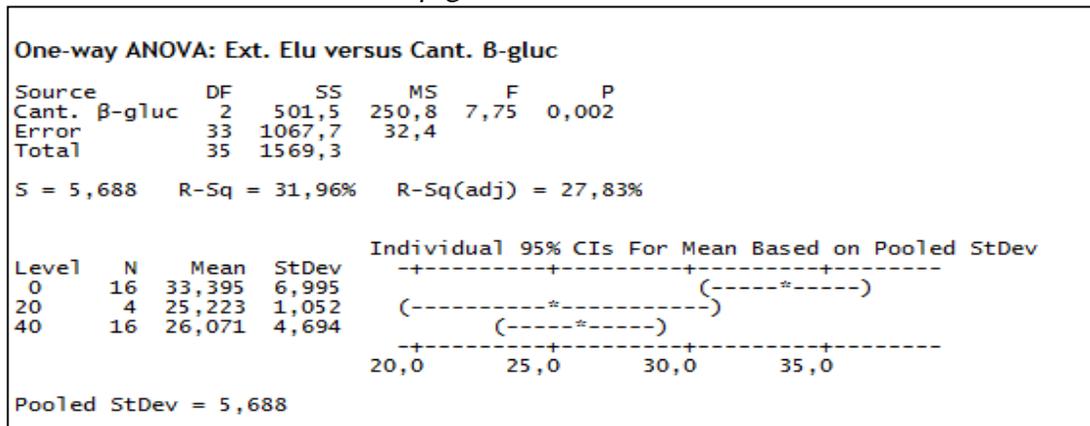


Tabla 23. ANOVA Extracto Eluible vs Cant. Betaglucanasa (DDELab). (Fuente: Minitab)

Con P-valor=0,002 es significativa la cantidad de β -glucanasa para determinar el valor del extracto eluible, adicionalmente con un R^2 Ajust=27,83% se observa que existe una curvatura no muy pronunciada con estos valores tomados para la cantidad de β -glucanasa dosificada.

En el siguiente análisis de varianzas podemos observar una curvatura muy poco pronunciada, con un factor de determinación del 37,30% y siendo significativo el factor de la Betaglucanasa para el extracto total.

Extracto total vs Cantidad de β -glucanasa.

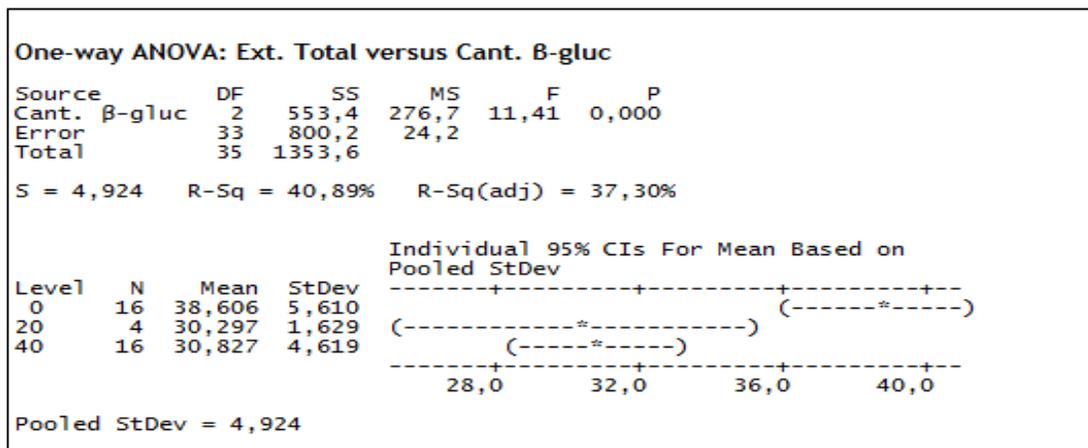


Tabla 24. ANOVA Extracto Total vs Cant. Betaglucanasa (DDELab). (Fuente: Minitab)

- Análisis de Diseño de Experimento sin punto centro.

Los Diagramas de Pareto mostrados a continuación (figuras 70, 71 y 72) provienen del análisis del Diseño de Experimento sin punto centro, tanto para el Extracto Eluible, Extracto Digerible y Extracto Total.

Extracto Eluible:

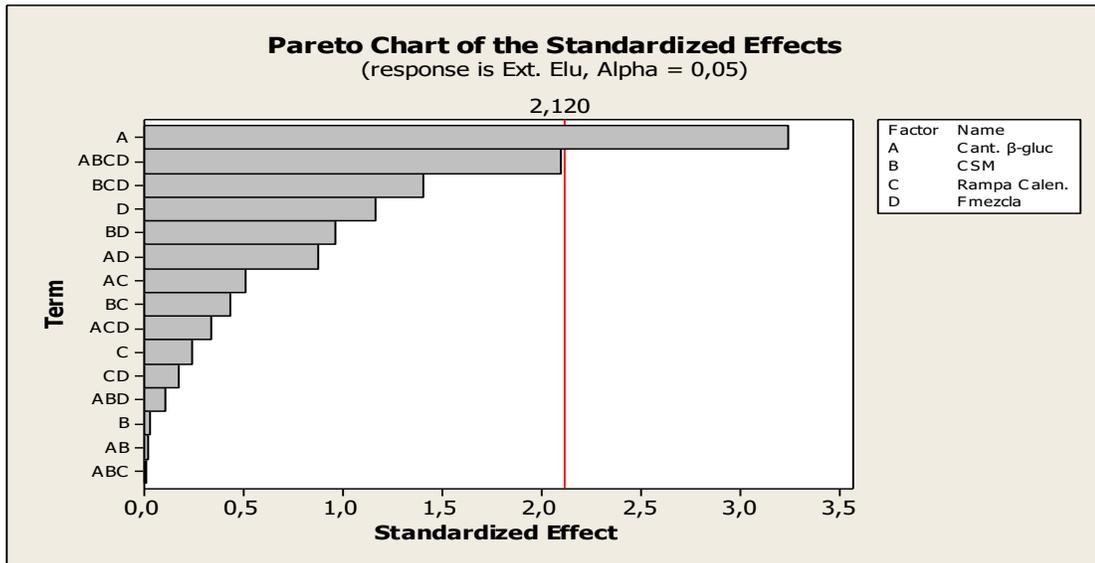


Figura 70. Diagrama de Pareto Extracto Eluible (DDELab). (Fuente: Minitab)

Siguiendo siendo significativa la cantidad de β -glucanasa, pero ya no siéndolo la interacción entre los cuatro factores.

Extracto Digerible:

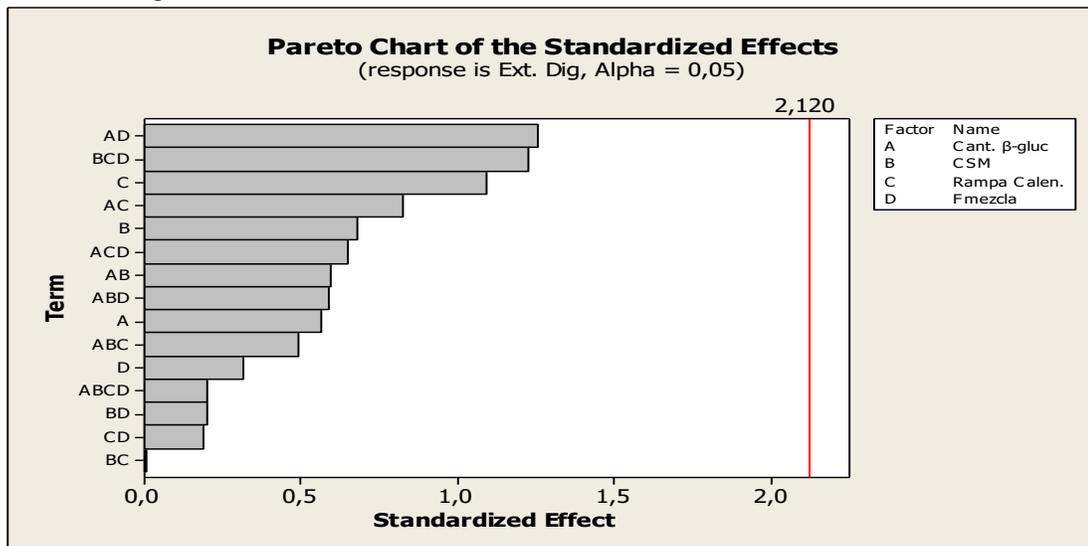


Figura 71. Diagrama de Pareto Extracto Digerible (DDELab). (Fuente: Minitab)

Donde siguen sin ser significativos los factores para determinar el extracto digerible, como resultado con la presencia de punto centro.

Extracto Total:

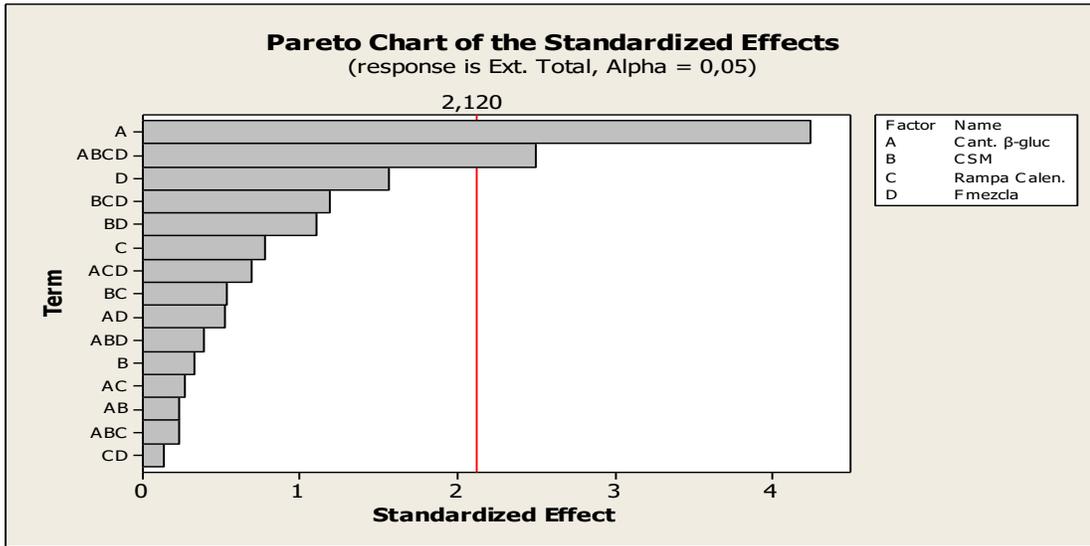


Figura 72. Diagrama de Pareto Extracto Total (DDELab). (Fuente: Minitab)

Observamos que para el extracto total, la β -glucanasa y la interacción de los cuatro factores son significativos para el extracto total del nepe.

- Gráficas de Cubo.

Al ser cuatro, los factores considerados, se presentaran dos cubos, uno con un factor de mezcla 1:2 y el otro con 1:3, como se muestra siguientes figuras número 73, 74 y 75 para los Extractos Digeribles, Eluibles y Total respectivamente.

Extracto Digerible:

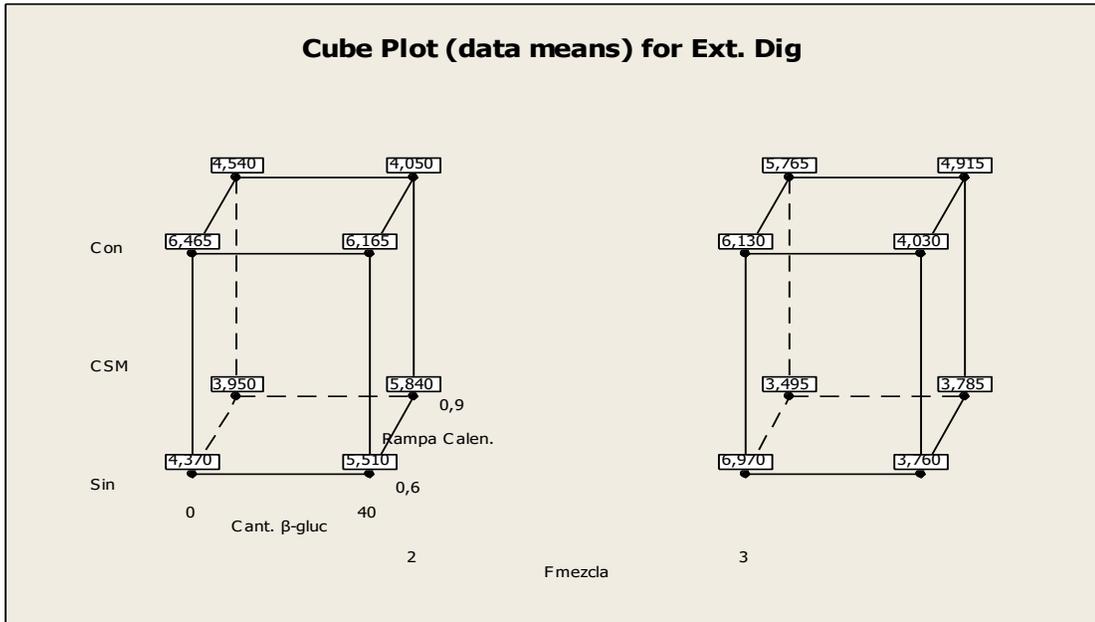


Figura 73. Cubo Extracto Digerible (DDELab). (Fuente: Minitab)

Siendo la menor media de extracto digerible para las corridas con 1:3 de factor de mezcla, Sin CSM, 0,9 de rampa de calentamiento y 0 Kg de β-glucanasa.

Extracto Eluible:

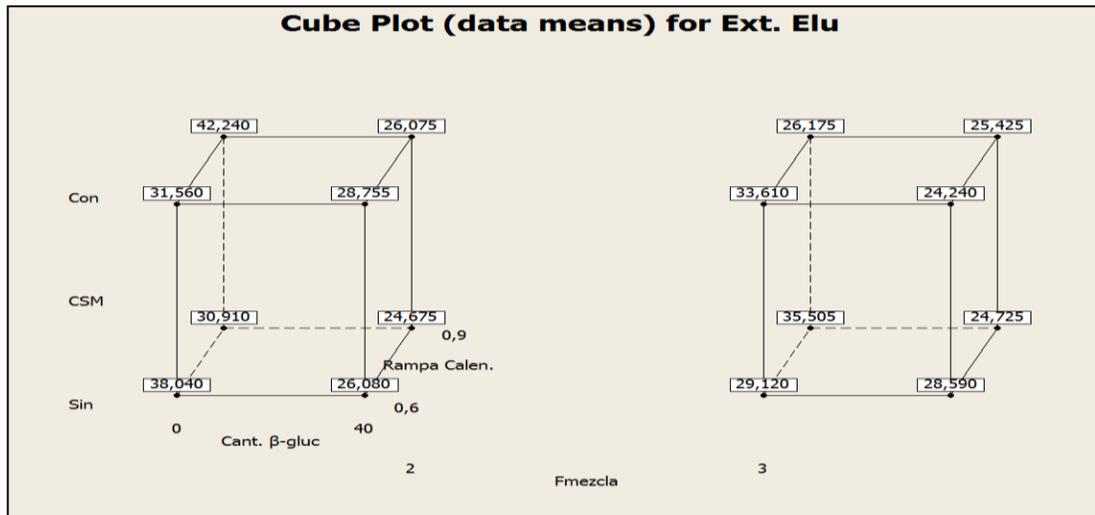


Figura 74. Cubo Extracto Eluible (DDELab). (Fuente: Minitab)

Resultando un menor extracto eluible para las combinaciones realizadas con 1:3 de factor de mezcla, con presencia de CSM, 0,6 °C/min de rampa de calentamiento y 40 Kg de β -glucanasa.

Extracto Total:

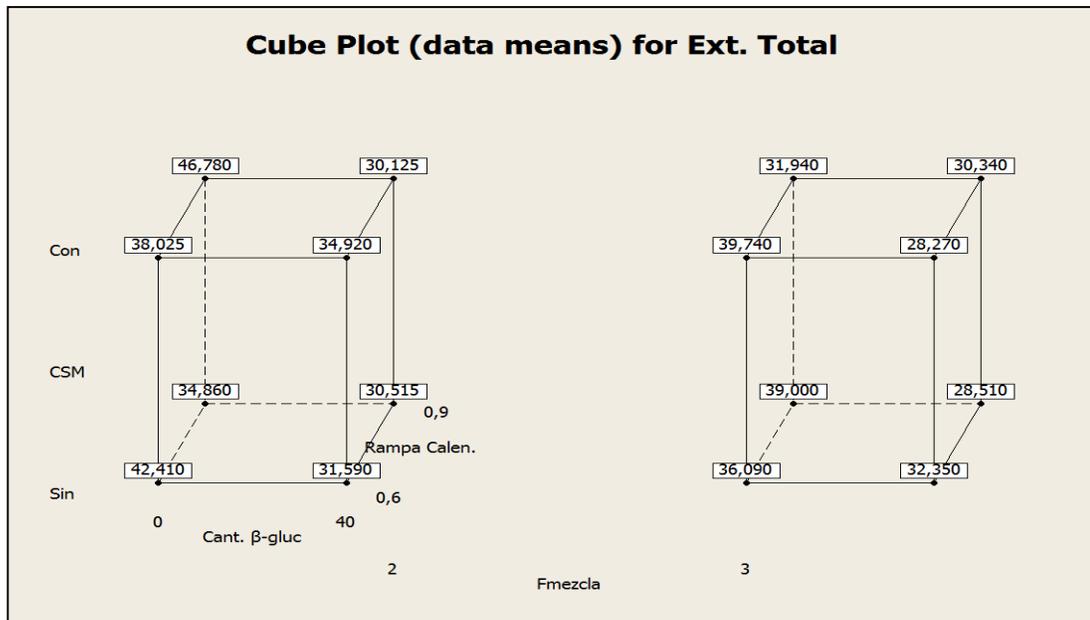


Figura 75. Cubo Extracto Total (DDELab). (Fuente: Minitab)

Obteniendo el menor extracto total con la misma combinación que arrojó el extracto eluible, 1:3, Con CSM, 0,6°C/min y 40Kg de β -glucanasa.

- Gráficas de Contorno.

Los gráficos de contorno a continuación nos muestran el comportamiento del Extracto Total vs el Factor de Mezcla y la Cantidad de β -glucanasa, a un nivel bajo (Figura 76) con una Rampa de Calentamiento de 0,6°C/min y a un nivel alto (Figura 77) con una Rampa de Calentamiento de 0,9°C/min.

Extracto Total.

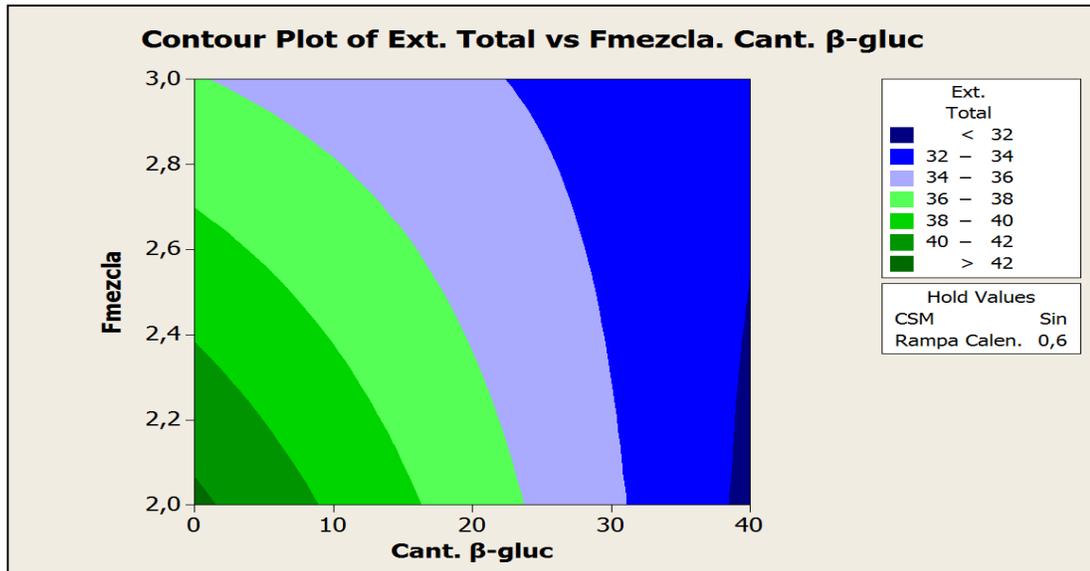


Figura 76. Grafica de contorno Extracto Total. Bajo (DDELab). (Fuente: Minitab)

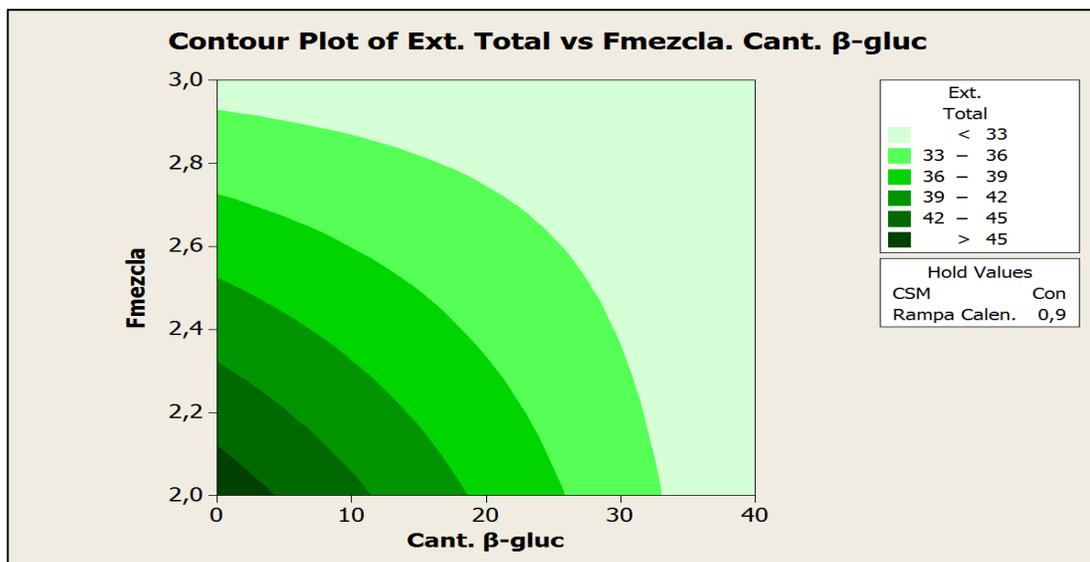


Figura 77. Grafica de contorno Extracto Total. Alto (DDELab). (Fuente: Minitab)

Observamos que el extracto total tiende a comportarse mejor para cantidades de β -glucanasa altas, y que con la presencia de CSM y una rampa de calentamiento de 0,9 la zona más óptima crece.

- Verificación de los supuestos del modelo.

Comprobando la Normalidad de los Residuos para verificar los supuestos, se obtuvieron las siguientes gráficas para el extracto Digerible (Figura 78 y 79), Extracto Eluible (Figuras 80 y 81) y Extracto Total (Figuras 82 y 83).

Extracto Digerible.

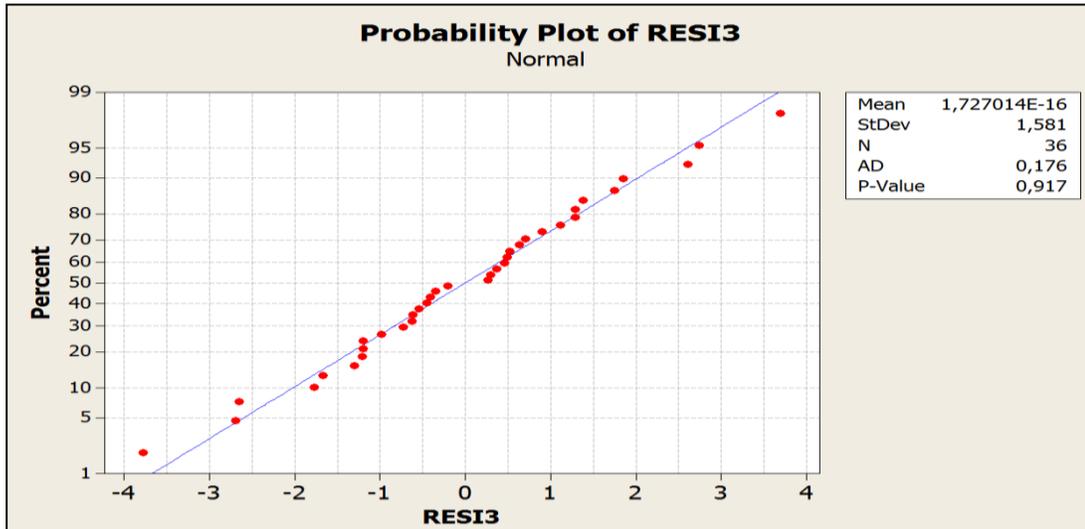


Figura 78. Normalidad de los residuos Extracto Digerible (DDELab). (Fuente: Minitab)

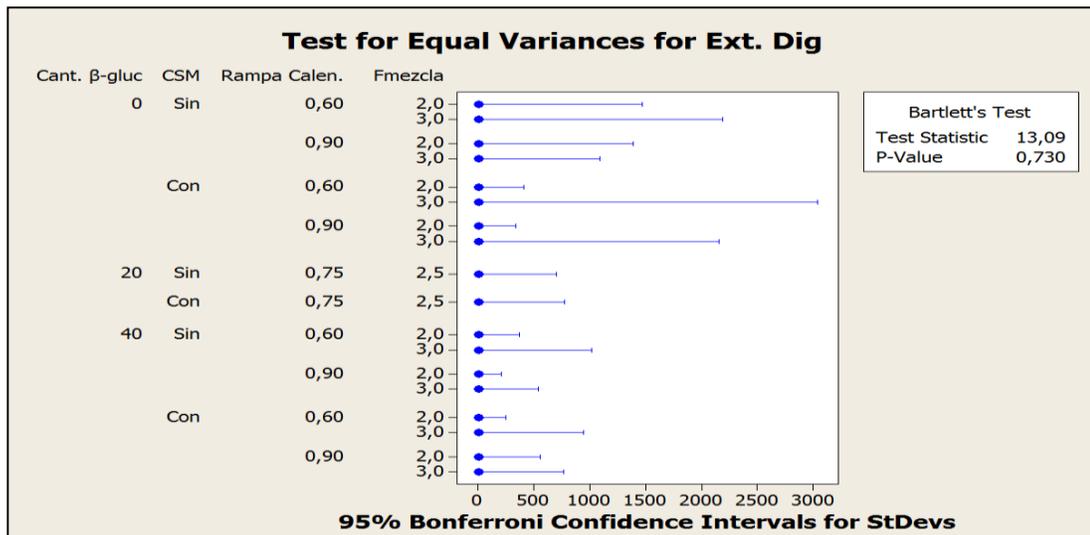


Figura 79. Igualdad de Varianzas Extracto Digerible (DDELab). (Fuente: Minitab)

Extracto Eluible.

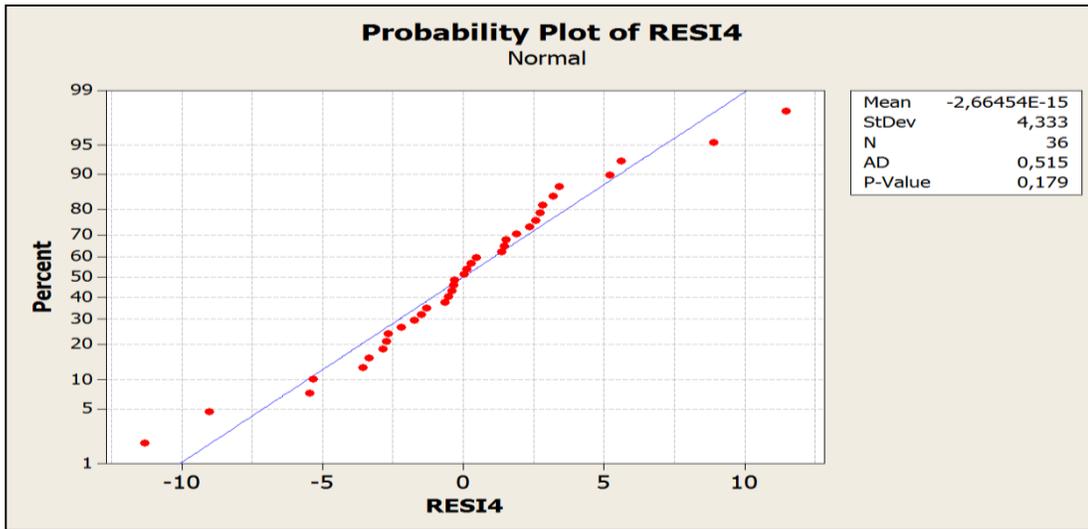


Figura 80. Normalidad de los residuos Extracto Eluible (DDELab). (Fuente: Minitab)

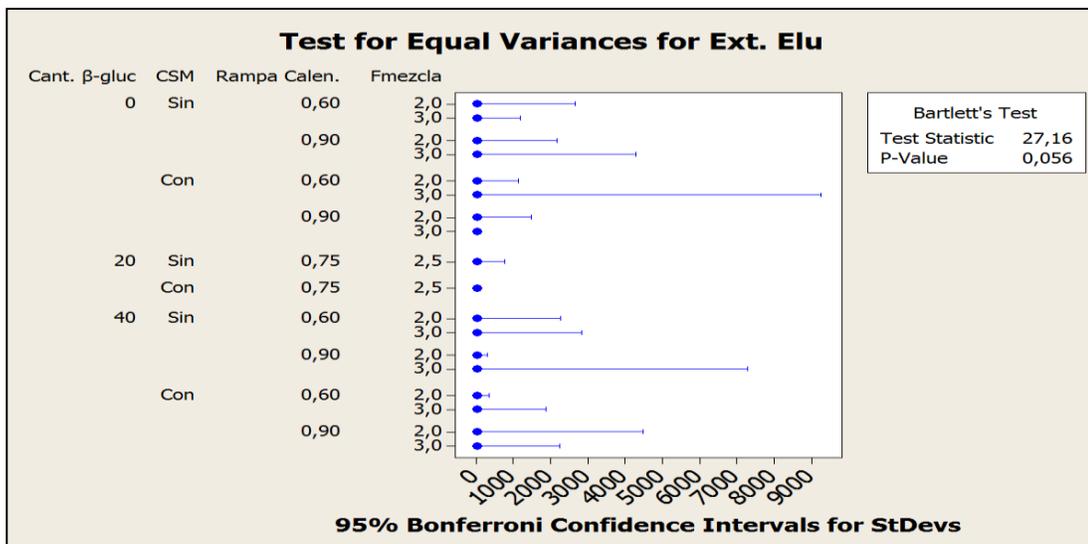


Figura 81. Igualdad de Varianzas Extracto Eluible (DDELab). (Fuente: Minitab)

Extracto Total.

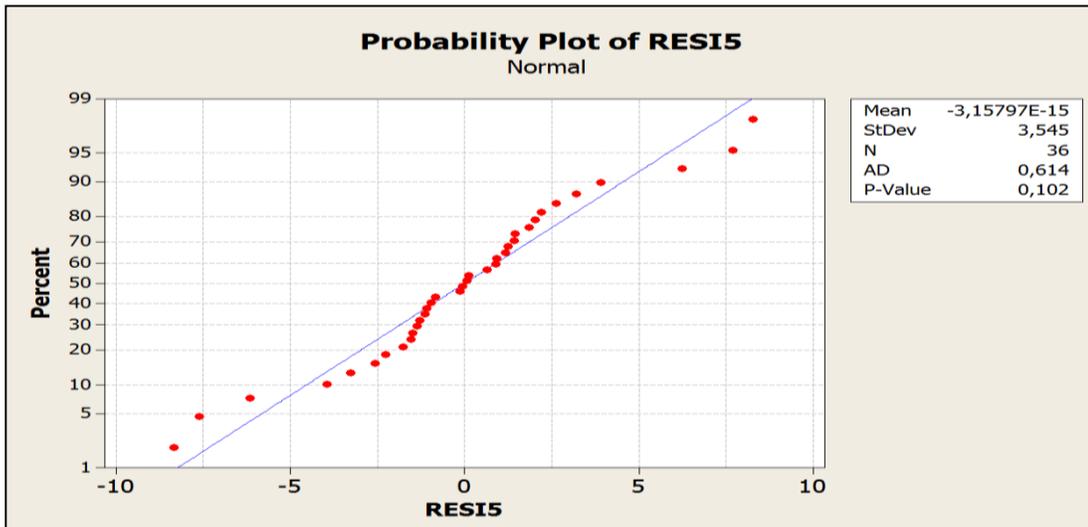


Figura 82. Normalidad de los residuos Extracto Total (DDELab). (Fuente: Minitab)

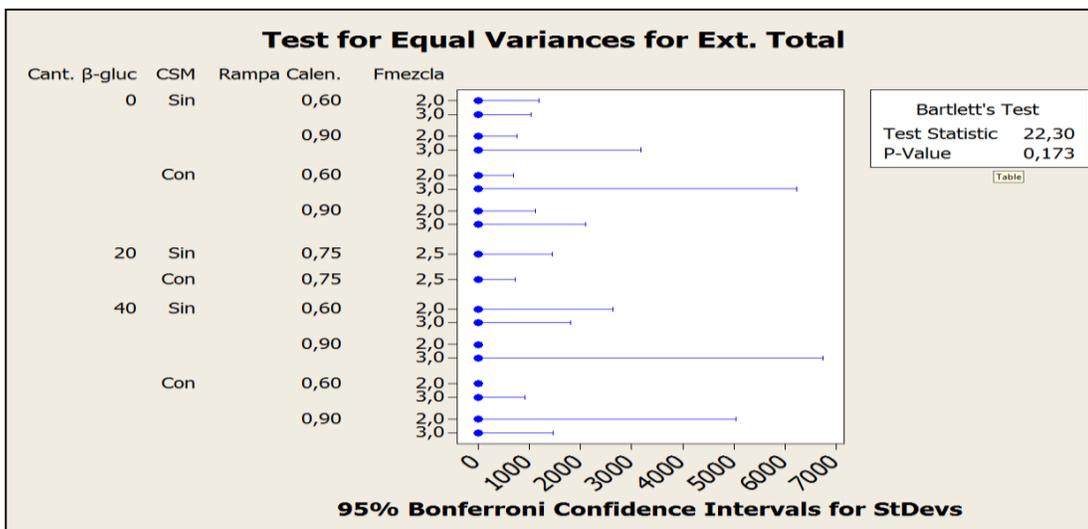


Figura 83. Igualdad de Varianzas Extracto Total (DDELab). (Fuente: Minitab)

Cumpléndose todos los supuestos del modelo, tanto para la normalidad de los residuos como para la igualdad de las varianzas.

- Optimización de respuesta.

Los valores que deben tomar los factores para obtener las mejores respuestas se observan en las siguientes tablas (Tabla 25, 26 y 27).

Extracto Primer Mosto y Última Agua.

Cant. β - 40,0 [40,0] 0,0	CSM Con Con Sin	Rampa Ca 0,90 [0,60] 0,60	Fmezcla 3,0 [3,0] 2,0
--	--------------------------	------------------------------------	--------------------------------

Tabla 25. Optimización de respuesta Extracto Primer Mosto y Última Agua (DDELab). (Fuente: Minitab)

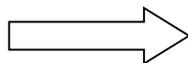
Valores:

Cant. β -gluc = 40Kg

CSM = Con

RampaCalent = 0,6°C/min

Fmezlca = 1:3



Respuesta:

Ext. 1er Mosto = 24,94%

Ext. Ult. H₂O = 10,01%

Extracto Digerible y Eluible.

Cant. β - 40,0 [40,0] 0,0	CSM Con Con Sin	Rampa Ca 0,90 [0,60] 0,60	Fmezcla 3,0 [3,0] 2,0
--	--------------------------	------------------------------------	--------------------------------

Tabla 26. Optimización de respuesta Extracto Digerible y Eluible (DDELab). (Fuente: Minitab)

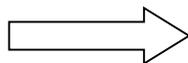
Valores:

Cant. β -gluc = 40Kg

CSM = Con

RampaCalent = 0,6°C/min

Fmezlca = 1:3



Respuesta:

Ext. Dig = 4,03%

Ext. Elu = 24,24%

Extracto Total.

Cant. β - 40,0 [40,0] 0,0	CSM Con Con Sin	Rampa Ca 0,90 [0,60] 0,60	Fmezcla 3,0 [3,0] 2,0
--	--------------------------	------------------------------------	--------------------------------

Tabla 27. Optimización de respuesta Extracto Total (DDELab). (Fuente: Minitab)

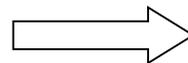
Valores:

Cant. β -gluc = 40Kg

CSM = Con

RampaCalent = 0,6°C/min

Fmezlca = 1:3



Respuesta:

Ext. Total = 28,27%

- **Mejorar.**

Las medidas para eliminar las mermas de extracto en el afrecho, comprobadas estadísticamente mediante los análisis previos, se pueden observar en la siguiente tabla.

Causa	Medida correctiva
Dosificación de β -glucanasa	Aumentar dosificación a 10Kg de β -glucanasa por cocimiento, para optimización de extracto total.
Factor de Mezcla	-Mantener el factor de mezcla 1:2,7 y realizar pruebas aumentándolo hasta donde permita la capacidad de proceso para optimizar extracto total. -Aumentar para reducir ext. 1erMosto, reducir para aumentar ext. 1ermosto
Velocidad de Agitación.	-Mantenerla en 4 para controlar Extracto Digerible. -Aumentarla a 8 para reducir tiempo de Maceración y Filtración.

Tabla 28. Factores a Mejorar para la reducción de Merma de Extracto. (Fuente: Elaboración propia)

Actividad 7. Plan de mejora, reducción de merma.

Presentar plan de mejora para reducción de merma de extracto, para ser aprobado y ejecutado.

- **Controlar.**

Para asegurar la reducción de merma de extracto en el Nepe, se propone el siguiente plan de control (Tabla 29), que requiere la involucración de gran parte del personal en diferentes etapas del proceso de elaboración de mosto cervecero.

Plan de control para reducción de merma en extracto total de Nepe.

Etapas	Actividades por etapa	Responsable.	Registro	Observaciones
Recepción	1) Medir extracto de Cebada Sin Maltear y ajustar Formula de Molienda. (Probar aumentando dosificación de CSM)	Operadores cocimiento y analistas de laboratorio.	Ext.CSM=	
Pre-mezcla	1) Ajustar dosificación de β -glucanasa por cocimiento (Aumentar) 2) Mantener factor de Mezcla 1:1,73 e inclusive probar leves aumentos. 3) Seguimiento KEX extraídos y reportar.	Operadores cocimiento.	Kg β -gluc= KEXext =	
Maceración	1) Controlar velocidad de agitación a 4 rpm durante el descanso de 45 minutos a 65°C. 2) Seguimiento al control de pH iniciando el descanso. 3) Mantener baja la Rampa de calentamiento (Pruebas con 0,6)	Operadores cocimiento.	pH= Vel.agit= RampaCalen=	
Filtración de mosto	1) Normalizar muestreo de Afrecho semanal para su análisis. 2) Realizar seguimiento a los KEX filtrados y reportar.	1) Analistas de Calidad Lab. 2) Operadores cocimiento.	KEXfil= Ext.1erMos = Ext.UltH ₂ O = Ext.Total =	

Tabla 29. Plan de control. (Fuente: Elaboración propia)

CONCLUSIONES

- El extracto total del Nepe se encuentra fuera de norma (superior al 8%p/p) en gran parte como consecuencia del alto extracto eluible presente en el afrecho (nepe), el cual se encontraba fuera de norma con un 76,47% de los datos históricos y un 85% del estudio del primer diseño de experimento ejecutado.
- La cantidad de agua dosificada durante la pre-mezcla (Factor de mezcla) influye fuertemente en el extracto obtenido en el Primer Mosto (a los 200 hL de mosto filtrado) con un factor de determinación aproximado al 97%, presenta una correlación fuerte negativa, obteniendo un extracto menor a medida que incrementa el factor de mezcla, al igual que para los tiempos de ocupación de la paila de mezcla y de los filtros meura, con el nivel alto del factor de mezcla 1:2,73 se obtuvieron menores tiempos de ocupación.
- La cantidad de β -glucanasa dosificada durante la pre-mezcla, tiene influencia no solo durante la filtración del mosto, sino también en el extracto total del nepe, siendo beneficiosa para el extracto digerible y eluible a mayor cantidad agregada.
- El extracto Digerible se ve afectado con el incremento de la velocidad de agitación, con un factor de determinación de 0,63 se sabe que existe una correlación positiva fuerte, a mayor velocidad, mayor extracto eluible, que es todo lo contrario a lo que se busca.
- El comportamiento de los Filtros Meura, no fue muy flexible para procesar estas mezclas con sus variantes, entrando en control por presión en un 61,11% de las pruebas realizadas, las cuales representaban un 54,55% del Filtro Meura 2 y un 45,45% pertenecientes al Filtro Meura 3. De todas estas pruebas que entraron

en control por presión, un 50% fue representado por pruebas con un factor de mezcla de 2,45 (valor bajo del Diseño de Experimento).

- Existe una diferencia significativa entre la temperatura medida directamente con un termómetro en la Paila de Mezcla y la temperatura de control mostrada por IFIX con una media de la diferencia de 0,48°C (IFIX>Paila). Las cuales debe ser calibrada para mayor precisión y exactitud.
- La sacarificación de la mezcla es de gran importancia para la filtración del mosto y para la calidad del producto final, hecho que para las pruebas ejecutadas en el primer diseño de experimento, fue totalmente controlado, pero para las pruebas ejecutadas con el segundo diseño de experimento en el laboratorio no, para los casos donde el factor de mezcla fue 1:2.
- Existe una diferencia significativa entre los filtros meura 2 y 3 con respecto a las presiones registradas durante la pre-compresión, primera compresión y segunda compresión, de un análisis realizado a los últimos 70 cocimientos durante el mes de abril, presentaron una media de diferencia para la pre-compresión de 61,2mbar (Presión máxima alcanzada), y durante la ejecución del primer diseño de experimento, la primera compresión arrojó una media de diferencia de 133mbar y de 61,2mbar para la segunda compresión, siendo siempre mayor las presiones de membrana registradas por el Filtro Meura 2 (presiones tomadas a los 2 minutos de sus respectivas etapas).
- Los grados de Fermentación y el Amino nitrógeno libre, no presentaron consecuencias desfavorables con la variación de los valores para estos tres factores con los que se trabajó.

RECOMENDACIONES

- Optimizar el funcionamiento del muestreo de nepe automático.
- Reparar y calibrar medidores de KEX filtrados en los Filtros Meura, realizar seguimiento a los KEX extraídos y a los KEX filtrados para determinar la merma desde la Extracción hasta la filtración.
- Reparar entradas de aire para compresiones en ambos filtros meura, existen entradas que no están en funcionamiento.
- Igualar presiones de ambos filtros meura durante la pre-compresión, primera compresión y segunda compresión.
- Realizar análisis de extracto en afrecho semanalmente, o implementar la medición extracto eluible, ya que es una actividad que no requiere de mucho esfuerzo, y se puede llevar mayor control ya que es la principal ocasionante de la merma de extracto.
- Realizar seguimiento al llenado de los filtros meura (formación de la torta), durante la descarga de nepe se puede observar variación del grosor de las tortas entre las placas.
- Optimizar el muestreo y análisis de pH de la mezcla, para mejorar la actividad enzimática durante el descanso a 65°C.
- Mejorar precisión y exactitud de las temperaturas en la Paila de Mezcla y la temperatura de control de IFIX.
- Calibrar medidor de flujo del Filtro Meura 3.

- Realizar pruebas con 10Kg de enzima β -glucanasa, 1:2,45 de Factor de Mezcla y 8rpm de velocidad de agitación durante el descanso de 45min a 65°C, ya que esta prueba arrojó un resultado interesante de 3,03% Ext. Digerible, 2,93% Ext. Eluible y 5,96% Ext. Total.

GLOSARIO

- ***Azúcares fermentables:*** Azúcares presentes en el mosto que serán fermentados, estos son: Glucosa, Maltosa, Maltotriosa.
- ***Betaglucanos:*** Grupo muy diverso de moléculas que pueden variar en relación a su masa molecular, solubilidad y viscosidad.
- ***Cebada Malteada:*** Grano de cebada que ha sido sometido a un proceso de germinación controlado, es la materia prima base de la cerveza y malta.
- ***Clarificación:*** Aglomeración del trub luego de la hervida, dejándolos sedimentarse para su posterior extracción, esto se realiza generalmente mediante centrifugas, filtración, Rotapools o Whirlpools.
- ***Desdoblamiento de Almidones:*** Transformación del almidón proveniente de la cebada en azúcares fermentables y dextrinas.
- ***Enzima:*** Proteínas de alto peso molecular, que actúan como biocatalizadores (catalizadores de reacciones químicas), activando determinadas reacciones o acelerándolas significativamente.
- ***Extracto:*** Compuestos disueltos provenientes de la malta y de las hojuelas.
- ***Extracto Digerible:*** Se considera un indicador de eficiencia de la maceración, pues este es resultado de la actividad enzimática en especial durante el descanso a 65°C por 45 minutos. Por norma debe ser menor igual al 4% peso/peso.
- ***Extracto Eluible:*** Resulta del riego con agua caliente durante el proceso de filtración, el extracto medido al afrecho mediante el sometimiento con agua a altas temperaturas se le conoce como extracto eluible. Por norma debe ser menor igual al 4% peso/peso.
- ***Extracto Total:*** Suma del extracto digerible y extracto eluible, debe ser menor igual al 8% peso/peso.
- ***Fermentación:*** Proceso catabólico de oxidación incompleta, totalmente anaeróbico (ausencia de oxígeno), siendo el producto final compuestos orgánicos.

- **Filtro Meura:** Filtro de prensa de placas y marcos, consta de un montaje alternado de placas cubiertas en ambos lados por un material filtrante, en este caso tela, y marcos huecos que proporcionan el espacio necesario para la acumulación de la torta (sólidos de la mezcla) durante la filtración.
- **Gelatinización:** Hinchazón del grano (cebada) debido a la absorción de agua y la consecuente pérdida de la estructura cristalina del almidón.
- **Licuefacción:** Disminución de la viscosidad del almidón gelatinizado.
- **Lúpulo:** Planta trepadora de la familia de las cannabáceas, esta es utilizada en el proceso cervecero para aportar el amargor característico de las cervezas.
- **Maceración:** Proceso principal durante la elaboración del mosto, en este proceso son mezclados la malta molida y las hojuelas con agua para disolver los componentes insolubles y convertirlos en extracto.
- **Minitab:** Software estadístico que permite ejecutar funciones básicas y avanzadas de análisis estadísticos.
- **Mosto:** Solución donde se encuentran todos los componentes del extracto, como carbohidratos, dextrinas, proteínas, polifenoles y minerales, es la solución a fermentar con la levadura.
- **Nepe o Afrecho:** Porción insoluble de la mezcla, y es un subproducto del proceso cervecero que es extraído durante la filtración de mosto caliente, este es rico en proteínas y fibras y es utilizado para la fabricación de alimentos balanceados para animales.
- **Sacarificación:** Desdoblamiento del almidón a maltosa y dextrinas.
- **Seis Sigma:** Metodología de trabajo centrada en la mejora de procesos mediante la reducción de la variabilidad que estos poseen. La meta de esta metodología es reducir a un máximo de 3,4 defectos por millón de oportunidades, apoyándose para ello en herramientas estadísticas.
- **Trub:** Partículas sólidas formadas durante la ebullición que van de 30 a 80 μm que son más pesadas que el mosto, por lo que son generalmente fáciles de sedimentar, este es un producto no deseado ya que no agrega valor a procesos posteriores y afecta aspectos que puede reducir la calidad del producto final.

REFERENCIAS

- Instructivo “**Afrecho de Cocimiento**” Laboratorio Central.
- Instructivo “**Determinación de Aminonitrogeno Libre**” Laboratorio Central.
- Instructivo “**Grado de Fermentación Final en Mosto y Cerveza**” Laboratorio Central.
- Instructivo “**Medición del PH**” Laboratorio Central.
- Instructivo para la elaboración y presentación del informe de pasantías 01/2015.
- Kunze, W. (2006). **Tecnología para Cerveceros y Malteros**. Berlín, Alemania: VLB Berlín.
- Portal Empresas Polar C.A: <http://portal.netpolar.com>.

ANEXOS

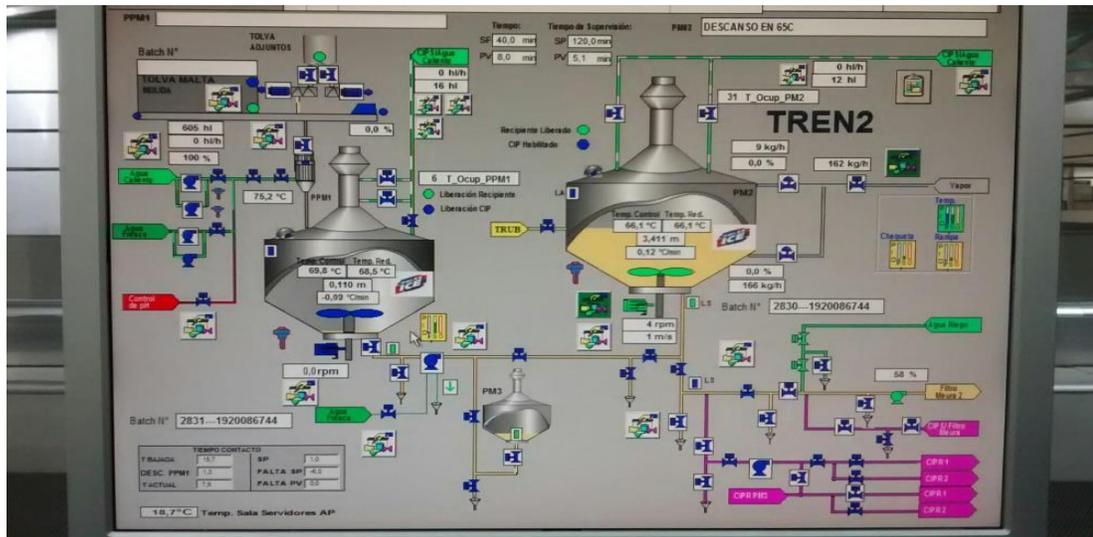
Anexo 1. Paila de Mezcla (Macerador). (Fuente: Portal Polar)



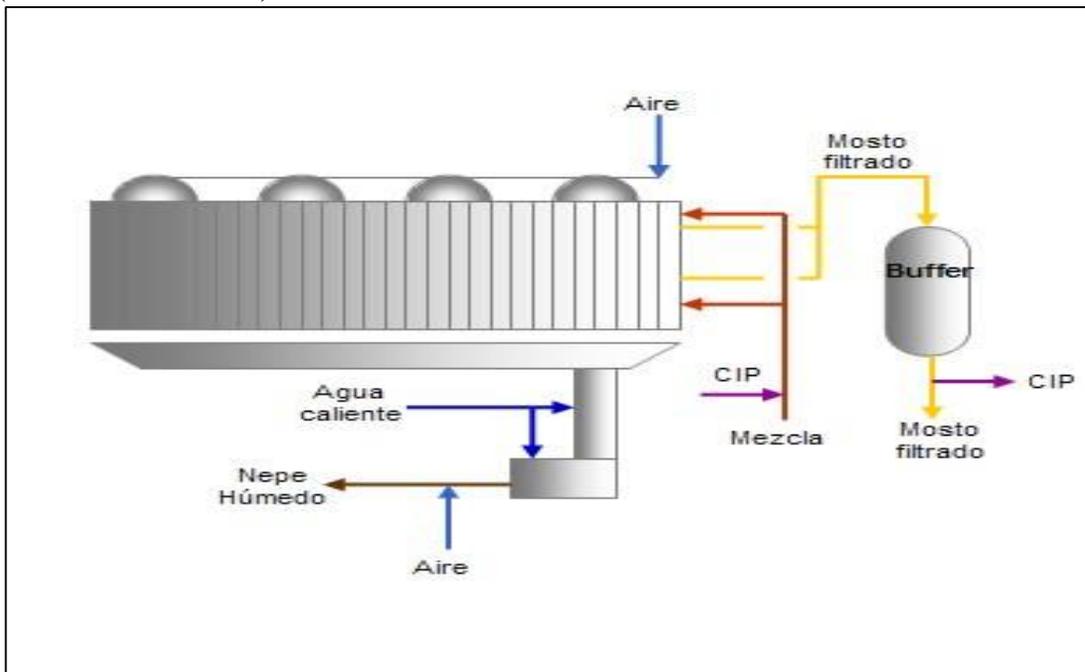
Anexo 2. Maceración (Fuente: Portal Polar)



Anexo 3. Monitoreo Proceso de Maceración (IFIX). (Fuente: Elaboración Propia)



Anexo 4. Flujo proceso de Filtración mediante un Filtro Meura. (Fuente: Portal Polar)



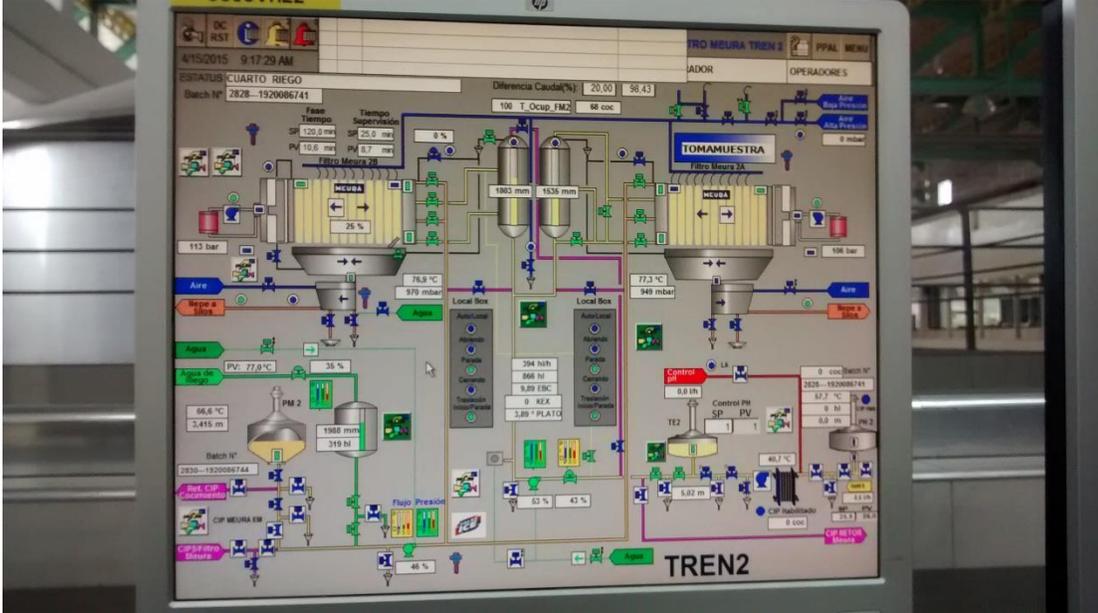
Anexo 5. Nepe descargado en tolva. (Fuente: Portal Polar)



Anexo 6. Placa y marco de un filtro meura. (Fuente: Portal Polar)



Anexo 7. Monitoreo Proceso de Maceración (IFIX). (Fuente: Elaboración Propia)



Anexo 8. Mosto Sacarificado vs Mosto no Sacarificado. (Fuente: Elaboración Propia)

