

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI



FACULTAD DE INDUSTRIAS AGROPECUARIAS Y CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA DE ALIMENTOS

Tema: "Sustitución de harina de trigo (*Triticum*) por harina de chontaduro (*Bactris gasipaes*) en la elaboración de una pasta tipo fettuccini"

Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del
Título de Ingeniera en Alimentos

AUTORA: Martínez Chugá Nayeli Stefania

TUTOR: MSc. Burbano Pulles Marco Rubén, PhD.

Tulcán, 2025.

CERTIFICADO DEL TUTOR

Certifico que la estudiante Martínez Chugá Nayeli Stefania con el número de cédula 0401930094 respectivamente ha desarrollado el Trabajo de Integración Curricular: "Sustitución de harina de trigo (*Triticum*) por harina de chontaduro (*Bactris gasipaes*) en la elaboración de una pasta tipo fetuccini".

Este trabajo se sujeta a las normas y metodología dispuesta en el Reglamento de la Unidad de Integración Curricular, Titulación e Incorporación de la UPEC, por lo tanto, autorizo la presentación de la sustentación para la calificación respectiva

Msc. Burbano Pulles Marco Rubén, PhD.

TUTOR

Tulcán, noviembre de 2025

AUTORÍA DE TRABAJO

El presente Trabajo de Integración Curricular constituye un requisito previo para la obtención del título de Ingeniera en la Carrera de alimentos de la Facultad de Industrias Agropecuarias y Ciencias Ambientales

Yo, Martínez Chugá Nayeli Stefania con cédula de identidad número 0401930094 respectivamente declaro que la investigación es absolutamente original, auténtica, personal y los resultados y conclusiones a los que he llegado son de mi absoluta responsabilidad.

A handwritten signature in blue ink, reading "Nayeli Martínez". The signature is stylized with loops and a long horizontal stroke extending to the left.

Martínez Chugá Nayeli Stefania

AUTORA

Tulcán, noviembre de 2025

ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Yo, Martínez Chugá Nayeli Stefania declaro ser autor de los criterios emitidos en el Trabajo de Integración Curricular: "Sustitución de harina de trigo (*Triticum*) por harina de chontaduro (*Bactris gasipaes*) en la elaboración de una pasta tipo fettuccini" y eximo expresamente a la Universidad Politécnica Estatal del Carchi y a sus representantes de posibles reclamos o acciones legales.

A handwritten signature in blue ink, reading "Nayeli Martínez". The signature is stylized with loops and a long horizontal stroke extending to the left.

Martínez Chugá Nayeli Stefania

AUTORA

Tulcán, noviembre de 2025

AGRADECIMIENTO

Mi gratitud profunda a la Universidad Politécnica Estatal del Carchi, por brindarme la oportunidad de formación académica y personal en presencia de todos mis docentes y amigos.

A mi primera tutora de tesis, la Msc. Vanessa Cadena, mi agradecimiento profundo por su guía y paciencia brindada, cada uno de sus conocimientos fueron necesarios para culminar el Plan de TIC.

A mi segundo tutor de tesis, el PhD. Marco Burbano, le agradezco por la asesoría y su constancia en la culminación de la investigación.

De manera especial, al PhD. Miguel Anchundía, le agradezco por su compromiso, sabiduría y apoyo constante han sido una fuente de inspiración y guía en momentos cruciales de mi vida académica y personal. Agradezco profundamente su tiempo y dedicación para orientarme y motivarme a seguir adelante, aprendiendo de cada reto y creciendo día a día.

Nayeli Martínez

DEDICATORIA

"Deléitate en Dios, y él cumplirá tus deseos más profundos"

Salmo 37:4

Dedico este trabajo a Dios, quien fue mi guía y fortaleza en los momentos desafiantes y confié en que su luz seguirá iluminando mi camino en nuevos retos y oportunidades.

En memoria de mi querida abuela María Dolores Enríquez, a quien dedico este logro con profundo amor y gratitud. Su recuerdo constante y sus valiosas enseñanzas alcanzado iluminan mi camino cada día. Su gran cariño y su ejemplo de vida permanecen vivos en mi corazón, inspirándome a ser mejor ya nunca rendirme.

Reconozco con profundo cariño y gratitud a mis padres, Olga Chugá y José Martínez, quienes siempre estuvieron dispuestos a escucharme y brindarme su apoyo incondicional en mi formación académica. Su perseverancia y confianza en mí han sido faros que iluminaron mi camino; nunca olvidaré ese respaldo y me comprometo a no defraudarlos. Este logro también es fruto de su esfuerzo y amor constante.

Para mis tres infaltables hermanos, José Luis, Rubén y Richard quienes han sido mi compañía incondicional y un ejemplo para seguir, gracias por confiar en mí hasta el final de este proceso y apoyo en mis desafíos que tuve que enfrentar.

ÍNDICE

RESUMEN	17
ABSTRACT	18
INTRODUCCIÓN	19
I. EL PROBLEMA	20
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	20
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	21
1.3. JUSTIFICACIÓN	22
1.4. OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	23
1.4.1. Objetivo General	23
1.4.2. Objetivos Específicos	23
1.4.3. Preguntas de Investigación	23
II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	24
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	24
2.2. MARCO TEÓRICO	27
2.2.1. Chontaduro.....	27
2.2.1.1. Descripción botánica y morfológica	28
2.2.2. Trigo.....	30
2.2.2.1. Taxonomía	31
2.2.2.2. Descripción botánica y morfológica	31
2.2.3. Tipos de harinas.....	33
2.2.3.1. Harina de cereales.....	33
2.2.3.2. Harina de legumbres	33
2.2.3.3. Harina de fruta	33
2.2.3.4. Harina de tallos y raíces.....	34
2.2.3.5. Conservación	35
2.2.3.6. Requisitos generales de la harina.....	36

III. METODOLOGÍA	39
3.1. ENFOQUE METODOLÓGICO	39
3.1.1. Enfoque	39
3.1.2. Tipo de Investigación.....	39
3.2. IDEA A DEFENDER	40
3.2.1. Hipótesis nula.....	40
3.2.2. Hipótesis alternativa.....	40
3.3. DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	40
3.3.1. Definición de variables.....	40
3.3.2. Operacionalización de las variables.....	41
3.4. MÉTODOS UTILIZADOS	42
3.4.1. Fase 1. Elaboración de harina de chontaduro para utilizarla en la sustitución parcial de una pasta tipo fettuccini	42
3.4.2. Evaluación fisicoquímicos de la harina de chontaduro.	44
3.4.2.1. Rendimiento	44
3.4.2.2. Humedad.....	44
3.4.2.3. Ceniza	45
3.4.2.4. Acidez por titulación.....	45
3.4.2.5. Determinación de proteína por el método de Kjeldahl.....	46
3.4.2.6. Análisis de grasa.....	47
3.4.2.7. Análisis microbiológico	48
3.4.3. Fase 2. Elaboración de pasta tipo fettuccini empleando harina de trigo y harina de chontaduro.....	49
3.4.3.1. Formulación de ingredientes para elaboración de la pasta fettuccini	49
3.4.4. Evaluación fisicoquímica de la pasta tipo fettuccini con harina de trigo y harina de chontaduro.....	51
3.4.4.1. Humedad pasta fresca	51
3.4.4.2. Humedad pasta seca.....	52

3.4.4.3. Cenizas.....	52
3.4.5. Fase 3 Determinación del análisis de perfil viscoelástico de las masas los tratamientos desarrollados de la pasta tipo fettuccini	53
3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	56
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	59
4.1. RESULTADOS	59
4.1.1. Rendimiento del chontaduro a harina	59
4.1.2. Evaluación fisicoquímica de harina de chontaduro.....	59
4.1.3. Análisis microbiológico de la harina de chontaduro (<i>Bactris gasipaes</i>)	60
4.1.4. Evaluación del comportamiento viscoelástico de las masas obtenidas a partir de los tratamientos formulados para pasta tipo fettuccini.....	60
4.1.5. Análisis funcional de las formulaciones de pasta tipo fettuccini con sustitución parcial de harina convencional por harina de chontaduro (<i>Bactris</i> <i>gasipaes</i>)	69
4.1.6. Análisis del comportamiento viscoelástico de las masas de fettuccini, evaluadas con Mixolab en diferentes formulaciones.	69
4.1.6. Análisis fisicoquímicos de la pasta a partir de la harina de chontaduro....	86
4.1.7. Análisis sensorial de las formulaciones de pasta tipo fettuccini con sustitución parcial de harina convencional por harina de chontaduro (<i>Bactris gasipaes</i>)..	96
4.2. DISCUSIÓN	100
4.2.1. Rendimiento del chontaduro a harina	100
4.2.2. Evaluación fisicoquímica de harina de chontaduro.....	100
4.2.3. Análisis microbiológico de la harina de chontaduro (<i>Bactris gasipaes</i>) ..	102
4.2.4. Evaluación del comportamiento viscoelástico de las masas obtenidas a partir de los tratamientos formulados para pasta tipo fettuccini.....	103
4.2.5. Análisis funcional de las formulaciones de pasta tipo fettuccini con sustitución parcial de harina convencional por harina de chontaduro (<i>Bactris</i> <i>gasipaes</i>)	104
4.2.6. Análisis fisicoquímico de la pasta	105

4.2.7. Evaluación sensorial	107
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	109
5.1. CONCLUSIONES.....	109
5.2. RECOMENDACIONES	110
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	111
VII. ANEXOS.....	116

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Taxonomía del Chontaduro (<i>Bactris gasipaes</i>)	28
Tabla 2. Composición química por cada 100 g de chontaduro	29
Tabla 3. Taxonomía del trigo	31
Tabla 4. Curvas reológicas para la identificación del tipo de fluido.....	38
Tabla 5. Operacionalización de variables	41
Tabla 6. Formulación porcentual de la pasta tipo fettuccini	49
Tabla 7. Diseño del experimento de la investigación	58
Tabla 8. Rendimiento de harina de chontaduro.....	59
Tabla 9. Análisis físicos químicos de la harina de chontaduro (<i>Bactris gasipaes</i>)	59
Tabla 10. Análisis microbiológico de la harina de chontaduro (<i>Bactris gasipaes</i>).....	60
Tabla 11. Tabla de parámetros reológicos del modelo de la ley de la potencia del tratamiento 0	61
Tabla 12. Tabla de parámetros reológicos del modelo de la ley de la potencia del tratamiento 1	63
Tabla 13. Tabla de parámetros reológicos del modelo de la ley de la potencia del tratamiento 2	64
Tabla 14. Tabla de parámetros reológicos del modelo de la ley de la potencia del tratamiento 3	66
Tabla 15. Prueba de normalidad para el aspecto índice de comportamiento.	66
Tabla 16. Análisis de varianza aplicado en el parámetro índice de comportamiento.	66
Tabla 17. Prueba de Tukey para el aspecto índice de comportamiento (n)	67
Tabla 18. Media del valor de k en referencia a los cuatro tratamientos analizados..	67
Tabla 19. Prueba de normalidad para el aspecto índice de consistencia.	67
Tabla 20. Análisis de varianza aplicado en el parámetro índice de consistencia.....	68
Tabla 21. Prueba de Tukey para el aspecto índice de comportamiento (n).....	68
Tabla 22. Análisis funcional de los tratamientos.	69
Tabla 23. Análisis de varianza para el tratamiento 0	72
Tabla 24. Análisis de varianza para el tratamiento 1	75
Tabla 25. Análisis de varianza para el tratamiento 2	77
Tabla 26. Análisis de varianza para el tratamiento 3	80
Tabla 27. Prueba de normalidad y homocedasticidad en estabilidad.....	80
Tabla 28. Análisis de varianza del aspecto estabilidad	81
Tabla 29. Prueba de Tukey del aspecto estabilidad.....	81
Tabla 30. Prueba de normalidad y homocedasticidad en par C1	82
Tabla 31. Análisis de varianza del aspecto par C1	82

Tabla 32. Prueba de normalidad y homocedasticidad en tiempo C2.....	83
Tabla 33. Análisis de varianza del aspecto tiempo C2.	83
Tabla 34. Prueba de Tukey del aspecto tiempo C2.....	83
Tabla 35. Prueba de normalidad y homocedasticidad en par C2	84
Tabla 36. Análisis de varianza del aspecto par C2.	84
Tabla 37. Prueba de Tukey del aspecto par C2.....	85
Tabla 38. Prueba de normalidad y homocedasticidad en temperatura C2.	85
Tabla 39. Análisis de varianza del aspecto Tiempo C2.....	86
Tabla 40. Prueba de Tukey del aspecto tiempo C2.....	86
Tabla 41. Prueba de normalidad y homocedasticidad en el parámetro humedad pasta fresca	87
Tabla 42. Análisis de varianza del aspecto humedad pasta fresca.....	87
Tabla 43. Prueba de Tukey del aspecto humedad pasta fresca.	87
Tabla 44. Prueba de normalidad y homocedasticidad en el parámetro ceniza pasta fresca.....	88
Tabla 45. Análisis de varianza de el parámetro ceniza pasta fresca.	88
Tabla 46. Prueba de Tukey del aspecto ceniza pasta fresca	88
Tabla 47. Prueba de normalidad y homocedasticidad en el parámetro humedad pasta seca.	89
Tabla 48. Análisis de varianza del aspecto humedad pasta seca.	89
Tabla 49. prueba de Tukey en el parámetro humedad pasta seca.	90
Tabla 50. Prueba de normalidad de homocedasticidad del parámetro ceniza pasta seca	90
Tabla 51. Análisis de varianza del parámetro ceniza pasta seca.....	91
Tabla 52. Prueba de Tukey en el aspecto ceniza pasta seca	91
Tabla 53. Prueba de normalidad y homocedasticidad en el aspecto acidez.	92
Tabla 54. Prueba de Kruskal Wallis en el parámetro acidez.....	92
Tabla 55. Prueba de Dunn para el parámetro ceniza pasta seca.....	92
Tabla 56. Prueba de normalidad y homocedasticidad en el parámetro proteína....	93
Tabla 57. Análisis de varianza del aspecto proteína.....	93
Tabla 58. Prueba de Tukey del aspecto proteína	93
Tabla 59. Prueba de normalidad y homocedasticidad en el parámetro de grasa ...	94
Tabla 60. Análisis de varianza para grasa	94
Tabla 61. Prueba de Tukey para grasa	94
Tabla 62. Análisis físicos químicos de la pasta tipo fettuccini.....	96
Tabla 63. Prueba de Kruskal Willis en el parámetro color	96
Tabla 64. Prueba de Wilcoxon en el aspecto color	97

Tabla 65. Prueba de Kruskal Wallis aplicado en el parámetro olor	97
Tabla 66. Análisis de varianza para el atributo olor.....	97
Tabla 67. Prueba de Kruskal Wallis en el parámetro sabor.....	98
Tabla 68. Análisis de varianza para el atributo sabor.....	98
Tabla 69. Prueba de Kruskal Wallis aplicada en el parámetro textura.....	99
Tabla 70. Prueba de Wilcoxon aplicada al parámetro textura	99
Tabla 71. Prueba de Kruskal Wallis en el aspecto aceptación general.....	99
Tabla 72. Prueba de Wilcoxon aplicada al parámetro aceptación general.....	100
Tabla 73. Evaluación sensorial de los tratamientos desarrollados de la pasta tipo fetuccini	100
Tabla 74. Parámetros reológicos para el tratamiento 0 repetición 1	147
Tabla 75. Parámetros reológicos para el tratamiento 0 repetición 2	147
Tabla 76. Parámetros reológicos para el tratamiento 0 repetición 3	148
Tabla 77. Parámetros reológicos para el tratamiento 1 repetición 1	149
Tabla 78. Parámetros reológicos para el tratamiento 1 repetición 2	149
Tabla 79. Parámetros reológicos para el tratamiento 1 repetición 3	150
Tabla 80. Parámetros reológicos para el tratamiento 2 repetición 1	151
Tabla 81. Parámetros reológicos para el tratamiento 2 repetición 2	151
Tabla 82. Parámetros reológicos para el tratamiento 2 repetición 3	152
Tabla 83. Parámetros reológicos para el tratamiento 3 repetición 1	153
Tabla 84. Parámetros reológicos para el tratamiento 3 repetición 2	153
Tabla 85. Parámetros reológicos para el tratamiento 3 repetición 2	154

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Curvas reológicas	38
Figura 2. Diagrama de flujo para la elaboración de harina de chontaduro	42
Figura 3. Diagrama de flujo para la elaboración de pasta tipo fetuccini de harina de trigo y harina de chontaduro.....	50
Figura 4. Esfuerzo de corte en función de la tasa de corte.	60
Figura 5. Viscosidad en función de la tasa de corte.	61
Figura 6. Esfuerzo de corte en función de la tasa de corte.	62
Figura 7. Viscosidad en función de la tasa de corte.	62
Figura 8. Esfuerzo de corte en función de la tasa de corte	63
Figura 9. Viscosidad en función de la tasa de corte.	64
Figura 10. Esfuerzo de corte en función de la tasa de corte.	65
Figura 11. Viscosidad en función de la tasa de corte.	65

Figura 12. Diagrama de barras en el aspecto índice de comportamiento.	67
Figura 13. Diagrama de barras para el aspecto índice de consistencia	68
Figura 14. Reograma de par y temperatura en función del tiempo del tratamiento 0 Repetición 1 con el 0% de sustitución de harina de chontaduro.....	70
Figura 15. Reograma de par y temperatura en función del tiempo del tratamiento 0 Repetición 2 con el 0 % de sustitución de harina de chontaduro.....	71
Figura 16. Reograma de par y temperatura en función del tiempo del tratamiento 0 Repetición 3 con el 0 % de sustitución de harina de chontaduro.....	71
Figura 17. Reograma de par y temperatura en función del tiempo del tratamiento 1 Repetición 1 con el 6 % de sustitución de harina de chontaduro.....	73
Figura 18. Reograma de par y temperatura en función del tiempo del tratamiento 1 Repetición 2 con el 6 % de sustitución de harina de chontaduro.....	74
Figura 19. Reograma de par y temperatura en función del tiempo del tratamiento 1 Repetición 3 con el 6 % de sustitución de harina de chontaduro.....	74
Figura 20. Reograma de par y temperatura en función del tiempo del tratamiento 2 Repetición 1 con el 12 % de sustitución de harina de chontaduro.....	76
Figura 21. Reograma de par y temperatura en función del tiempo del tratamiento 2 Repetición 2 con el 12 % de sustitución de harina de chontaduro.....	76
Figura 22. Reograma de par y temperatura en función del tiempo del tratamiento 2 Repetición 3 con el 12 % de sustitución de harina de chontaduro.....	77
Figura 23. Reograma de par y temperatura en función del tiempo del tratamiento 3 Repetición 1 con el 18 % de sustitución de harina de chontaduro.....	79
Figura 24. Reograma de par y temperatura en función del tiempo del tratamiento 3 Repetición 2 con el 18 % de sustitución de harina de chontaduro.....	79
Figura 25. Reograma de par y temperatura en función del tiempo del tratamiento 3 Repetición 3 con el 18 % de sustitución de harina de chontaduro.....	80
Figura 26. Diagrama de barras para el aspecto estabilidad.....	81
Figura 27. Diagrama de caja y bigote del aspecto par C1.....	82
Figura 28. Diagrama de barras del aspecto tiempo C2.....	84
Figura 29. Diagrama de barras del aspecto par C2.	85
Figura 30. Diagrama de barras del aspecto temperatura C2.....	86
Figura 31. Diagrama de barras del aspecto humedad pasta fresca	87
Figura 32. Diagrama de barras del aspecto ceniza pasta fresca	89
Figura 33. Diagrama de barras del aspecto humedad pasta seca.....	90
Figura 34. Diagrama de barras del aspecto ceniza pasta seca.	91
Figura 35. Diagrama de barras del aspecto del aspecto proteína.....	93
Figura 36. Cocción del chontaduro	119
Figura 37. Pelado del chontaduro	119
Figura 38. Troceado del chontaduro.....	119

Figura 39. Secado del chontaduro.....	119
Figura 40. Molienda del chontaduro	119
Figura 41. Tamizado de la harina de chontaduro.....	119
Figura 42. Almacenado de la harina de chontaduro	120
Figura 43. Humedad de la harina de chontaduro	120
Figura 44. Acidez de la harina de chontaduro.....	120
Figura 45. Determinación de proteína en harina de chontaduro	120
Figura 46. Ceniza de la harina de chontaduro	120
Figura 47. Análisis microbiológico de Coliformes y E.coli de la harina de chontaduro	120
Figura 48. Análisis microbiológico de Aerobios de la harina de chontaduro.....	121
Figura 49. Análisis microbiológico de Mohos y Levaduras de la harina de chontaduro	121
Figura 50. Elaboración de la pasta con harina de trigo y chontaduro.....	121
Figura 51. Masas de los tratamientos de la pasta	121
Figura 52. Humedad pasta fresca de la pasta fetuccini con harina de trigo y harina de chontaduro	121
Figura 53. Humedad pasta seca de la pasta fetuccini con harina de trigo y harina de chontaduro.....	121
Figura 54. Ceniza de la pasta fresca fetuccini con harina de trigo y harina de chontaduro.....	122
Figura 55. Ceniza de la pasta fresca fetuccini con harina de trigo y harina de chontaduro.....	122
Figura 56. Acidez de la pasta fetuccini con harina de trigo y harina de chontaduro	122
Figura 57. Proteína de la pasta fetuccini con harina de trigo y harina de chontaduro	122
Figura 58. Análisis de viscosidad de la masa de la pasta fetuccini.....	122
Figura 59. Análisis sensorial de la pasta fetuccini	122
Figura 60. Resultados tratamiento 0 repetición 1	123
Figura 61. Resultados tratamiento 0 repetición 2	124
Figura 62. Resultados tratamiento 0 repetición 3	125
Figura 63. Resultados tratamiento 1 repetición 1	126
Figura 64. Resultados tratamiento 1 repetición 2	127
Figura 65. Resultados tratamiento 1 repetición 3	128
Figura 66. Resultados tratamiento 2 repetición 1	129
Figura 67. Resultados tratamiento 2 repetición 2	130
Figura 68 Resultados tratamiento 2 repetición 3	131

Figura 69. Resultados tratamiento 3 repetición 1	132
Figura 70. Resultados tratamiento 3 repetición 2	133
Figura 71. Resultados tratamiento 3 repetición 3	134
Figura 72. Viscosidad/tasa de corte tratamiento 0 repetición 1	135
Figura 73. Viscosidad/tasa de corte tratamiento 0 repetición 2	136
Figura 74. Viscosidad/tasa de corte tratamiento 0 repetición 3	137
Figura 75. Viscosidad/tasa de corte tratamiento 1 repetición 1	138
Figura 76. Viscosidad/tasa de corte tratamiento 1 repetición 2	139
Figura 77. Viscosidad/tasa de corte tratamiento 1 repetición 3	140
Figura 78. Viscosidad/tasa de corte tratamiento 2 repetición 1	141
Figura 79. Viscosidad/tasa de corte tratamiento 2 repetición 2	142
Figura 80. Viscosidad/tasa de corte tratamiento 2 repetición 3	143
Figura 81. Viscosidad/tasa de corte tratamiento 3 repetición 1	144
Figura 82. Viscosidad/tasa de corte tratamiento 3 repetición 2	145
Figura 83. Viscosidad/tasa de corte tratamiento 3 repetición 3	146
Figura 84. Hoja de la Evaluación sensorial	155

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Acta de la sustentación de Predefensa del TIC	116
Anexo 2. Certificado del abstract por parte de idiomas	117
Anexo 3. Memorias.....	119
Anexo 4. Análisis funcional tratamiento 0	123
Anexo 5. Análisis funcional tratamiento 1	126
Anexo 6. Análisis funcional tratamiento 2	129
Anexo 7. Análisis funcional tratamiento 3	132
Anexo 8. Gráficas de viscosidad tratamiento 0	135
Anexo 9. Gráficas de viscosidad tratamiento 1	138
Anexo 10. Gráficas de viscosidad tratamiento 2	141
Anexo 11. Gráficas de viscosidad tratamiento 3	144
Anexo 12. Viscosidad, tasa de corte y esfuerzo de corte tratamiento 0.....	147
Anexo 13. Viscosidad, tasa de corte y esfuerzo de corte tratamiento 1	149
Anexo 14. Viscosidad, tasa de corte y esfuerzo de corte tratamiento 2.....	151
Anexo 15. Viscosidad, tasa de corte y esfuerzo de corte tratamiento 3.....	153
Anexo 16. Ficha	155

RESUMEN

El estudio evaluó la sustitución parcial de harina de trigo (*Triticum aestivum*) por harina de chontaduro (*Bactris gasipaes*) en la elaboración de pasta tipo fettuccini, con el objetivo de analizar su efecto sobre las propiedades fisicoquímicas, reológicas, funcionales y sensoriales del producto final. La harina de chontaduro utilizada presentó una composición de humedad del 6.38 %, cenizas del 0.79 %, acidez del 0.16 %, proteína del 5.92 % y grasa del 14.09 %, cumpliendo con los criterios de calidad establecidos por la norma NTE INEN 616. Se aplicó un diseño completamente al azar con tres repeticiones, evaluando niveles de sustitución del 0 %, 6 %, 12 % y 18 %, siendo el tratamiento T3 (18 %) el de mejor desempeño. En el análisis fisicoquímico, la pasta fresca presentó una humedad de 24.89 % y la pasta seca de 12.66 %, con contenidos de cenizas de 2.582 % y 3.493 %, respectivamente, además de acidez de 0.18 %, proteína de 11.26 % y grasa de 2.32 %. Estos valores reflejan un equilibrio adecuado entre estabilidad, valor nutricional y cumplimiento de la norma NTE INEN 1375 para pastas. En el aspecto reológico, la masa del tratamiento T3 mostró un comportamiento pseudoplástico, con un índice de consistencia (K) de 4039.358 Pa·sⁿ y un índice de comportamiento (n) de 0.06, evidenciando una masa firme y elástica. El ensayo Mixolab indicó una estabilidad de 8.60 min, Par C1 de 1.13 Nm, tiempo C2 de 17.06 min, Par C2 de 0.46 Nm y tiempo C3 de 60.47 min, demostrando buena gelatinización y control en la retrogradación del almidón. En la evaluación sensorial, el tratamiento T2 (12 %) obtuvo la mayor aceptación global (puntuación 4) por su color, sabor y textura semejantes a la pasta convencional. En conclusión, la incorporación del 18 % de harina de chontaduro permite obtener una pasta funcional, nutritiva y sensorialmente aceptable, viable para su aplicación industrial.

Palabras Claves: *Bactris gasipaes*, Fettuccini, sustitución de harina de trigo, Mixolab, evaluación integral.

ABSTRACT

The study evaluated the partial replacement of wheat flour (*Triticum aestivum*) with peach palm flour (*Bactris gasipaes*) in the production of fettuccine-type pasta, with the aim of analyzing its effect on the physicochemical, rheological, functional, and sensory properties of the final product. The chontaduro flour used had a moisture content of 6.38 %, ash content of 0.79 %, acidity of 0.16 %, protein content of 5.92 %, and fat content of 14.09 %, meeting the quality criteria established by the NTE INEN 616 standard. A completely randomized design with three replicates was applied, evaluating substitution levels of 0 %, 6 %, 12 %, and 18 %, with treatment T3 (18 %) performing best. In the physicochemical analysis, the fresh pasta had a moisture content of 24.89 % and the dry pasta had a moisture content of 12.66 %, with ash contents of 2.582 % and 3.493 %, respectively, as well as acidity of 0.18 %, protein of 11.26 %, and fat of 2.32 %. These values reflect an adequate balance between stability, nutritional value, and compliance with the NTE INEN 1375 standard for pasta. In terms of rheology, the T3 treatment mass showed pseudoplastic behavior, with a consistency index (K) of 4039.358 Pa·sⁿ and a behavior index (n) of 0.06, indicating a firm and elastic mass. The Mixolab test indicated a stability of 8.60 min, Par C1 of 1.13 Nm, C2 time of 17.06 min, Par C2 of 0.46 Nm, and C3 time of 60.47 min, demonstrating good gelatinization and control of starch retrogradation. In the sensory evaluation, treatment T2 (12 %) obtained the highest overall acceptance (score 4) due to its color, flavor, and texture similar to conventional pasta. In conclusion, the incorporation of 18% peach palm flour allows for the production of functional, nutritious, and sensorially acceptable pasta that is viable for industrial application.

Keywords: *Bactris gasipaes*, Fettuccini, wheat flour replacement, Mixolab, holistic evaluation.

INTRODUCCIÓN

La pasta fetuccine es un alimento de consumo mundial que forma parte esencial de la dieta diaria en muchas culturas, valorada por su versatilidad culinaria, facilidad de preparación y buen perfil nutricional. Tradicionalmente, este producto era elaborado a partir de sémola de trigo duro y huevo, lo que hace que el porcentaje de carbohidratos sea alto y su proteína sea de baja calidad. Es por ello por lo que en los últimos años ha surgido un interés creciente por el desarrollo de productos alimenticios más nutritivos y funcionales, impulsando la búsqueda de ingredientes alternativos que permitan mejorar el perfil nutricional sin comprometer la calidad sensorial y tecnológica del producto final (Jiménez-Vera et al., 2018).

Con el propósito de mejorar el perfil nutricional de los productos farináceos, se ha impulsado la innovación mediante la incorporación de harina de chontaduro, un fruto amazónico que, a pesar de sus valiosas propiedades, aún no cuenta con una presencia significativa en el mercado alimentario ecuatoriano. La inclusión de esta harina en las formulaciones no solo incrementa el contenido de cenizas y eleva el valor nutricional de los productos, sino que también aporta compuestos funcionales beneficiosos y promueve la diversificación de materias primas dentro de la agroindustria nacional (Velasquí Núñez y Torres Jurado, 2020).

El presente estudio busca analizar con la sustitución parcial de harina de trigo por harina de chontaduro en proporciones del 6 %, 12 % y 18 % si influye en las propiedades reológicas de la masa, especialmente en aspectos como la textura y la viscosidad como también el evaluar las características fisicoquímicas establecidas en la norma NTE INEN 1375, que regula los requisitos que deben cumplir las pastas secas destinadas al consumo en Ecuador. Estos cambios son esenciales para asegurar tanto la funcionalidad como la aceptación del producto final.

I. EL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente la subalimentación e inseguridad alimentaria representan desafíos persistentes en regiones como África y América del Sur, evidenciándose en indicadores críticos como el retraso en el crecimiento infantil y elevadas tasas de mortalidad en menores de cinco años. A pesar de los esfuerzos institucionales globales, como el Marco Estratégico 2022-2031 de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), los avances en materia de disponibilidad y acceso a alimentos con alto valor nutricional han sido limitados en las últimas décadas (FAO, 2020). Esta situación se agrava por la escasa inclusión de alimentos funcionales o ricos en micronutrientes esenciales en la dieta de las poblaciones más vulnerables.

En Ecuador, la producción de *Bactris gasipaes* (palma de chontaduro) se concentra principalmente en las regiones de la Amazonía y la Costa. Según datos del Banco Central del Ecuador, en el año 2020 la productividad alcanzó los 11.10 t/ha; no obstante, en 2021 se observó una reducción del 2 %, situándose en 8.9 t/ha. Este decrecimiento se atribuye a múltiples factores, entre ellos, la limitada asistencia técnica (28 %), los bajos precios del fruto en el mercado (18 %), los elevados costos de la mano de obra (17 %) y condiciones agroclimáticas adversas (18 %), además del incremento en los precios de fertilizantes y otros insumos agrícolas (Valencia et al., 2013).

Estudios previos han documentado que entre el 40 % y el 50 % de la biomasa generada en la producción de palma de chontaduro corresponde a residuos agroindustriales, cuyo manejo inadecuado contribuye a la carga ambiental de las zonas productoras (Valencia et al., 2013). A pesar de las iniciativas de aprovechamiento sostenible, como la extracción de palmito y el uso de la madera en la construcción, el potencial de valorización de estos subproductos en zonas como el litoral ecuatoriano permanece en gran medida desaprovechado. La limitada tecnificación e industrialización, así como la descomposición prematura del fruto por deficiencias en la postcosecha, restringen su aprovechamiento integral.

Adicionalmente, el chontaduro, al ser una fruta no climatérica, presenta una vida útil reducida, lo que limita su transformación y comercialización (Zamora Villón, J. E., 2022).

La ausencia de iniciativas industriales orientadas al aprovechamiento de (*Bactris gasipaes*) en el ámbito nacional evidencia una escasa integración entre los eslabones de la cadena de valor, una limitada inversión en investigación y desarrollo, y una baja valorización por parte del consumidor de sus atributos nutricionales. En contraste, experiencias internacionales como la de la empresa colombiana Frudelpa han demostrado la viabilidad del aprovechamiento integral del chontaduro mediante su incorporación en matrices alimentarias como harinas, galletas, arepas, jaleas y ajíes, generando productos de valor agregado con alta aceptación comercial (Acevedo et al., 2014).

Por otra parte, el consumo de pastas en Ecuador evidenció un incremento del 13.8 % posterior a la pandemia por COVID-19, con una tendencia creciente hacia la demanda de alimentos con propiedades funcionales, mayor contenido de fibra dietética y proteínas de alta biodisponibilidad. Sin embargo, según Fuentes et al. (2023), las pastas tradicionales continúan siendo deficitarias en términos de micronutrientes, proteínas y minerales, a pesar de su rol como fuente calórica fundamental en la dieta cotidiana.

Ante este contexto, la presente investigación propone la formulación y elaboración de una pasta alimenticia a base de harina de chontaduro, obtenida mediante secado convectivo, con sustitución parcial de harina de trigo. El objetivo es desarrollar un producto con características sensoriales, fisicoquímicas, microbiológicas, reológicas y funcionales, que aporte valor nutricional y represente una alternativa innovadora para diversificar la oferta alimentaria nacional, contribuyendo además al aprovechamiento sostenible de subproductos agroindustriales de la palma de chontaduro.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo influye la sustitución de harina de trigo (*Triticum*) por harina de chontaduro (*Bactris gasipaes*) en las características de una pasta tipo Fetuccini?

1.3. JUSTIFICACIÓN

El cultivo de palma de chontaduro (*Bactris gasipaes*) representa un aporte significativo para el sector agrícola ecuatoriano, contribuyendo con el 4 % al Producto Interno Bruto (PIB) agrícola, el 2.8 % al Valor Agregado Bruto (VAB) agropecuario y el 0.8 % a las exportaciones no petroleras del país (Peralta & Álvarez, 2024). En este contexto, el aprovechamiento integral de esta materia prima mediante su transformación en nuevos productos representa una estrategia sostenible para mejorar la calidad nutricional de los alimentos y diversificar la industria agroalimentaria.

El chontaduro es un fruto nativo de los bosques tropicales de la Amazonía que destaca por su composición nutricional: contiene entre 40–50 % de humedad, presenta alta capacidad antioxidante, niveles significativos de carotenoides, polifenoles, fibra dietética, almidón, grasas saludables, beta-carotenos, bajo contenido de sodio y azúcares (Reyes Cuesta et al., 2000). Estas características lo posicionan como una alternativa funcional para la elaboración de harina con potencial de aplicación industrial, especialmente en productos de alto valor nutricional, de fácil almacenamiento y comercialización a bajo costo.

La harina de chontaduro, por su contenido de carbohidratos y propiedades funcionales, puede emplearse en la formulación de productos precocidos como pastas alimenticias, cumpliendo con los parámetros establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1375. Además, su bajo costo de producción y buen rendimiento la convierten en una opción viable para sustituir parcialmente harinas tradicionales como la de trigo (Acevedo et al., 2014).

Desde un enfoque tecnológico, la caracterización reológica de la pasta elaborada con harina de chontaduro es esencial para evaluar propiedades como elasticidad, cohesividad y firmeza, las cuales están directamente relacionadas con la textura, la calidad sensorial y la aceptabilidad del producto. Estas propiedades permiten definir puntos críticos de cocción como el estado *al dente*, así como establecer la resistencia a la deformación durante el consumo (Lascano Sumbana, 2010).

Por tanto, esta investigación se orienta a promover la industrialización del chontaduro a través de su transformación en harina y su incorporación en formulaciones de pasta, evaluando sus propiedades fisicoquímicas, reológicas y sensoriales, con el fin de obtener un alimento nutricionalmente enriquecido e inocuo para el consumidor.

1.4. OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo General

Evaluar los efectos de la sustitución de harina de trigo (*Triticum*) por harina de chontaduro (*Bactris gasipaes*) en la elaboración de una pasta tipo fettuccini.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar el rendimiento de harina de chontaduro (*Bactris gasipaes*) obtenida mediante secado convectivo.
- Evaluar las características fisicoquímicas y microbiológicas de la harina de chontaduro (*Bactris gasipaes*).
- Caracterizar las propiedades reológicas, fisicoquímicas y funcionales de la pasta obtenida de los tratamientos.
- Evaluar las características sensoriales de los tratamientos mediante la prueba hedónica de 5 puntos.

1.4.3. Preguntas de Investigación

- ¿Cómo determinar el rendimiento de harina de chontaduro?
- ¿Cuáles son las principales características fisicoquímicas y microbiológicas de la harina de chontaduro que afectan su calidad y seguridad alimentaria?
- ¿Cómo influye el uso de harina de chontaduro en las propiedades reológicas, fisicoquímicas y funcionales de la masa de pasta en comparación con harinas tradicionales?
- ¿Qué diferencias sensoriales perciben los consumidores entre la pasta elaborada con harina de chontaduro y la pasta convencional, mediante la prueba hedónica de 5 puntos?

II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación realizada por Quijosaca (2014) "Utilización del chontaduro (*Bactris gasipaes*) en la elaboración de productos de panificación" se plantea que se obtuvo una harina de chontaduro mediante un proceso de deshidratación a temperatura controlada de 70 °C, utilizando un horno de convección durante un período de cinco horas, resultando una harina apta para el consumo humano, cuyas propiedades bromatológicas y microbiológicas cumplieron con los estándares establecidos en la norma NTE INEN 616:2006 caracterizándose por su alto contenido de grasa, lo que permitió disminuir la cantidad de grasas hidrogenadas en la formulación de los productos lo que mejora sus atributos sensoriales les hace más atractivos para el consumo. Se estableció que la harina de chontaduro puede incorporarse en productos de panificación en una proporción máxima del 30 %, ya que superiores porcentajes afectan las características reológicas de la masa, de igual forma las formulaciones lograron un mayor nivel de aceptación que en aquellas que se empleó una dosificación del 10 % de harina de chontaduro, tanto en la preparación de pan a base de harina de trigo como en la de almidón de maíz. La investigación se centró en la obtención de harina de chontaduro a través de un proceso de deshidratación a temperatura controlada y en su aplicación en diferentes productos de panificación, destacando los beneficios tanto para la salud como para la calidad sensorial del pan.

El estudio realizado por Bravo y Moreno (2015) "Evaluación de las propiedades fisicoquímicas y sensoriales del pan tipo molde con sustitución parcial de harina de chontaduro (*Bactris Gasipaes*)" plantea que la calidad del producto fue evaluada mediante análisis fisicoquímicos, reológicos y sensoriales, realizados en el laboratorio de química y en la planta piloto de la Universidad de La Salle, sede Norte basándose el estudio en la deshidratación de la pulpa de chontaduro para la obtención de harina, la cual se incorporó en la formulación de pan con diferentes niveles de sustitución determinando los análisis que la harina de chontaduro presentó un contenido de proteína del 4.07 ± 0.29 %, cenizas del 2.40 ± 0.14 %, grasa del 6.19 ± 0.37

%, fibra total del 1.26 ± 0.39 %, carbohidratos totales del 42.34 ± 0.56 % y humedad del 4.38 ± 0.39 % mientras que las propiedades reológicas se realizaron pruebas de textura (TPA) para comparar los distintos tratamientos mientras que la evaluación sensorial fue llevada a cabo por un panel de jueces entrenados, reflejando los resultados que variaciones en el color de los panes donde la muestra con un 15 % de harina de chontaduro presentó un tono amarillo oscuro mientras que la formulación con un 5 % mostró un color menos intenso y el panel sensorial tuvo dificultades para identificar el atributo de masticabilidad, evidenciándose diferencias significativas en los resultados de esta prueba. Este trabajo resalta la importancia de aprovechar subproductos como la harina de chontaduro para la mejora de productos tradicionales, como el pan, mediante una metodología rigurosa que incluye análisis fisicoquímicos, reológicos y sensoriales.

Verdesoto Yugcha (2025) en su estudio de "Sustitución parcial de harina de trigo por harina de chontaduro (*Bactris gasipaes kunth*) en la elaboración de pastas" estudió la parcial susitución (10, 20 y 30 %) de harina de trigo por harina de chontaduro (*Bactris gasipaes Kunth*), estableció los parámetros bromatológicos y farinográficos de las harinas, resaltando que la harina de chontaduro mostró mayor contenido de grasa y menor de carbohidratos que la de trigo, mientras el mayor contenido de humedad correspondió a la mezcla con 10 % de harina de chontaduro. Con el aumento del porcentaje de harina de chontaduro, acrecentaron la absorción de agua, desarrollo e índice de tolerancia de las mezclas de harinas, mientras que su estabilidad disminuyó. Destaca la relevancia de la harina de chontaduro como un ingrediente que no solo aporta características nutricionales distintivas, sino que también influye en las propiedades de las mezclas de harinas utilizadas en la producción de pastas.

Mohamed (2019), en su estudio titulado "Parámetros Mixolab de la harina compuesta de trigo y quinua, su relación con las características de calidad", evaluó el comportamiento de mezclas de harina de trigo con diferentes porcentajes de quinua (5, 10 y 15 %). Los resultados mostraron que el aumento en el nivel de sustitución con quinua incrementa la absorción de agua y el tiempo de desarrollo de la masa, así como el torque de retrogradación (par de retroceso C4). Por otro lado, se observó una disminución en el porcentaje de humedad de la harina, la estabilidad de la masa, algunos parámetros relacionados con proteínas y almidón. Además, la investigación indicó que la incorporación de harina de trigo y chontaduro en la elaboración de pasta tipo fettuccini, en proporciones de 0, 6, 12 y 18 %, representa

una alternativa tecnológica que mejora la textura y manejabilidad de la masa, a la vez que incrementa el contenido proteico del producto final. La adición de harina de quinua elevó las proteínas, grasas, fibra cruda y cenizas, y redujo el extracto libre de nitrógeno (NFE). Incorporar quinua en panificación mejoró el valor nutricional, especialmente proteínas y antioxidantes. Aunque modificó algunas propiedades físicas y sensoriales, los panelistas aceptaron productos con hasta 15 % de harina de quinua. Mohamed midió parámetros Mixolab, como C1 para retención de agua y estabilidad, y C2 para calidad de proteínas, lo que respalda la viabilidad del uso de harinas alternativas para mejorar el perfil nutricional y funcional de productos derivados del trigo.

Investigaciones recientes han explorado el uso de pseudocereales como la quínoa (*Chenopodium quinoa*) en la elaboración de pastas alimenticias, con el objetivo de diversificar fuentes nutritivas y reducir la dependencia del trigo. Montero et al. (2006) en un estudio evaluó mezclas de harina de quínoa y arroz, determinando las propiedades reológicas y mecánicas de las masas mediante variaciones en proporción de ingredientes, temperatura y contenido de humedad. Se identificó que una formulación con 50 % de quínoa y 50 % de arroz optimiza la fuerza elástica (167 N) y presenta un módulo de Young de 1.49×10^{14} N/m², comparable al de pastas comerciales de trigo. No obstante, aunque el aroma y sabor fueron bien valorados, la aceptabilidad general se vio afectada por la textura, color y apariencia del producto final, este estudio proporciona evidencia sobre la viabilidad técnica del uso parcial de harina de quinua en la formulación de pastas, logrando características mecánicas comparables y sugiere oportunidades de mejora en parámetros sensoriales para fomentar su aceptación en el mercado. Además, contribuye al desarrollo de productos funcionales libres de gluten y con mayor valor nutricional.

El incremento sostenido del precio del trigo importado ha generado una presión inflacionaria sobre productos de consumo básico como el pan y las pastas alimenticias, lo que ha motivado la búsqueda de alternativas con materias primas nacionales. En este contexto, Lascano Sumbana (2010) desarrolló un estudio reológico que evaluó mezclas de harina de trigo importado CWRS#1 con harinas nacionales de cebada (*Hordeum vulgare*), maíz (*Zea mays*), quinua (*Chenopodium quinoa*), trigo (*Triticum vulgare*) y papa (*Solanum tuberosum*) en porcentajes de sustitución del 10, 20 y 30 (% p/p), a través de análisis farinográficos, alveográficos y ensayos en el Mixolab®. Los resultados evidenciaron que las mezclas trigo importado–

cebada nacional (10, 20 y 30 %) y trigo importado–trigo nacional (30 %) presentaron un comportamiento reológico comparable al de la harina patrón, con buena viabilidad tecnológica en panificación y aceptación sensorial sin diferencias estadísticamente significativas. No obstante, en pastas alimenticias se identificó una mayor fragilidad estructural con altos niveles de sustitución. Este estudio demuestra la factibilidad de emplear harinas locales como sustitutos parciales del trigo importado, contribuyendo así al desarrollo de productos funcionales, al fortalecimiento de la soberanía alimentaria y a la reducción de la dependencia de insumos importados en la industria de panificación y pastas.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Chontaduro

El chontaduro (*Bactris gasipaes*), también conocido como "pupuña" o "peach palm", es una fruta tropical originaria de América Central y la región amazónica de Sudamérica. Esta planta, tradicionalmente cultivada por comunidades indígenas, se distingue por su pulpa de color anaranjado, con una textura suave y un sabor que varía entre dulce y ligeramente ácido, dependiendo de su madurez (Basto et al. 2016).

En términos nutricionales, el chontaduro es una excelente fuente de carbohidratos, fibra, vitaminas (A, C y algunas del complejo B) y minerales como el potasio y el hierro. También destaca por su contenido de antioxidantes, que contribuyen a la protección frente al estrés oxidativo, y de grasas saludables, especialmente ácidos grasos monoinsaturados. Esto lo convierte en un alimento adecuado para dietas equilibradas. Además, la fruta puede ser consumida de diversas formas, como cocida, asada, en jugos o batidos, y su semilla es utilizada para la elaboración de productos derivados como aceites y harinas (Bravo Pérez y Moreno Prada 2015).

Desde una perspectiva agrícola, el chontaduro es una planta resistente que se adapta bien a distintas condiciones climáticas y altitudes, lo que facilita su cultivo en diversas regiones de Ecuador, Colombia, Panamá y Venezuela. Su cultivo ha ganado popularidad debido a su potencial para integrarse en sistemas agroforestales y su creciente demanda tanto nacional como internacional. En la actualidad, el chontaduro está siendo considerado para el desarrollo de productos funcionales, dada su riqueza en compuestos bioactivos (Dussán-Sarria et al. 2019).

En la tabla 1 se describe la taxonomía del chontaduro.

Tabla 1. Taxonomía del Chontaduro (*Bactris gasipaes*)

Categoría	Clasificación
Reino	Plantae (Reino de las plantas)
Filo	Angiospermae (Plantas con flores)
Clase	Monocotyledonae (Monocotiledóneas)
Orden	Arecales (Orden de las palmas)
Familia	Arecaceae (Familia de las palmas)
Género	Bactris
Especie	<i>Bactris gasipaes</i>

Fuente: (Dussán-Sarria, Hurtado-Hurtado, et al. 2019)

2.2.1.1. Descripción botánica y morfológica

- **Sistema aéreo**

El sistema aéreo de *Bactris gasipaes* se caracteriza por su tallo solitario, que puede alcanzar hasta 20 m de altura, siendo más común encontrar individuos con alturas entre 12 y 15 m. El diámetro del tallo varía entre 15 y 30 cm. Este presenta espinas negras o marrones, puntiagudas, dispuestas en los anillos formados entre las cicatrices foliares. Las espinas emergen perpendicularmente del tronco y pueden alcanzar hasta 8 cm de longitud, tornándose quebradizas al alcanzar su madurez (Martínez-Girón et al. 2017).

El follaje está compuesto por una corona de entre 15 y 25 hojas, insertadas en distintos ángulos sobre los anillos del tallo. En la región central del tallo se encuentra el cogollo o "pálpito", de importancia tanto económica como nutricional. Las hojas, en plantas adultas, miden entre 1.5 y 4 m de largo, con un ancho de 30 a 50 cm. Todas las partes foliares están cubiertas por espinas más pequeñas y delgadas en comparación con las del tallo (Martínez-Girón et al. 2017).

- **Sistema radical**

El *Bactris gasipaes* presenta un sistema radical superficial y extendido, el cual se adapta eficientemente a suelos de baja fertilidad. Las raíces se originan en las zonas rizogénicas y su número varía en función de la demanda por unidad de área, lo que permite una optimización en la absorción de agua y nutrientes.

- **Floración**

Esta especie es una planta monoica que puede desarrollar entre dos y ocho inflorescencias al año. Estas se originan en las axilas de los anillos foliares ascendentes y están conformadas por un eje central con numerosas ramificaciones laterales simples. Cada ramificación está densamente cubierta por flores masculinas de color crema o amarillo claro, y en menor proporción, por flores femeninas. La floración

principal ocurre entre los meses de junio y septiembre, y la cosecha se produce aproximadamente cuatro meses después. También se ha reportado una floración secundaria en los meses de marzo y abril. Las primeras inflorescencias suelen aparecer a partir del tercer año de desarrollo de la planta (Molano Cetina, 2011).

- **Fructificación**

Cada racimo puede contener entre 10 y 120 frutos, cuya forma varía desde crónica u ovoide hasta elipsoidal y aplanada. Los frutos, que miden entre 3 y 5 cm de largo, poseen un epicarpio delgado que recubre la parte comestible: un mesocarpio carnoso de color blanco, amarillo o naranja. La maduración completa puede comprender más de 100 frutos, con un peso individual entre 100 y 150 g. Cada fruto contiene una única semilla de color oscuro, forma crónica, textura dura y aceitosa. En su interior se encuentra una almendra blanca, con características organolépticas similares a las del coco, cubierta por un endocarpio leñoso (Molano Cetina, 2011).

- **Composición Nutricional**

El centro internacional de Agricultura tropical (CIAT) manifiesta que el chontaduro es rico en aceites esenciales, vitamina A y E, fibras y almidón convirtiéndolo en un alimento completo por lo que muchos autores lo describen como una pro exótica y uno de los cultivos tropicales de mayores valores nutritivos, siendo un alimento natural más completo pues posee unas bondades enormes en aporte de proteínas aceites, vitaminas liposolubles y minerales (Ambrosio et al., 2020).

- **Composición química**

Tabla 2. Composición química por cada 100 g de chontaduro

Composición	Cantidad
Proteína	33 %
Grasa	4.60 %
Carbohidratos	37.60 %
Cenizas	0.90 mg
Fibra	1 %
Hierro	0.70 mg
Vitamina A	(7.300 UI/100 g)
Ácido Ascórbico	20 mg/100 g
Calcio	23 mg/100 g
Tiamina	0.04 mg
Fósforo	49 mg
Rivoflavina	0.11 mg
Niacina	0.90 mg
Calorías	185

Fuente: (Cuaycal et al., 2023)

- **Permanencia de los granos andinos en el proceso de los alimentos.**

Los granos andinos, como *Amaranthus spp.* y *Lupinus mutabilis*, han despertado un creciente interés en la industria alimentaria por su alto contenido de proteínas, fibra y compuestos bioactivos. Diversos estudios han evidenciado que su incorporación en productos procesados, como los horneados o extruidos, contribuye significativamente al incremento del valor nutricional, particularmente en términos de proteínas de alto valor biológico y fibra dietética. *Amaranthus spp.*, por ejemplo, contiene entre 13% y 18% de proteína y un perfil completo de aminoácidos, destacando su elevado contenido de lisina. Además, aporta compuestos funcionales como escualeno, tocoferoles y polifenoles, los cuales favorecen la salud digestiva y podrían reducir el riesgo de enfermedades crónicas. Si bien algunos procesos térmicos pueden degradar ciertos antioxidantes, también pueden generar nuevos compuestos bioactivos a través de reacciones como la de Maillard (Meneses Quelal y Pulles, 2025).

En el caso de *Lupinus mutabilis*, su bajo contenido de carbohidratos y alto nivel de proteínas y aceites lo convierten en un ingrediente prometedor para alimentos funcionales, especialmente en contextos de desnutrición o enfermedades metabólicas. Sin embargo, procesos como el desamargado pueden disminuir su capacidad antioxidante, lo que plantea la necesidad de optimizar las técnicas de procesamiento. Asimismo, tratamientos previos como el remojo, la germinación y la fermentación han demostrado mejorar la biodisponibilidad de minerales y reducir los factores antinutricionales en granos como el amaranto (Meneses Quelal y Pulles, 2025).

Por otro lado, investigaciones recientes han resaltado el valor de otros pseudocereales andinos, como la kañihua (*Chenopodium pallidicaule*), que puede contener hasta un 19% de proteína y presenta perfiles de aminoácidos superiores incluso a los de la quinua. Esta evidencia refuerza el potencial de los granos andinos para el desarrollo de productos sin gluten y funcionales, con aplicaciones relevantes en salud pública y en el diseño de alimentos innovadores (Meneses Quelal y Pulles, 2025).

2.2.2. Trigo

El origen se encuentra en la región asiática y designa un grupo de cereales, tanto cultivados como silvestres, pertenecientes al género *Triticum* siendo plantas anuales de la familia de las gramíneas la especie de trigo más cultivada es el *Triticum*

aeestivum, conocido también como trigo harinero o trigo blando, siendo una planta alohexaploide, es decir, que tiene 42 cromosomas distribuidos en 6 conjuntos de tres especies diferentes, siendo el primer cereal desde el punto de vista comercial que representa el 45 % del total de los intercambios en 1998 donde destina su producción se destina al consumo humano, y anualmente se producen 100 kg de trigo por habitante en el mundo (Molano Cetina, 2011).

2.2.2.1. Taxonomía

Tabla 3. Taxonomía del trigo

Categoría	Clasificación
Reino	Plantae (Plantas)
División/Filo	Magnoliophyta (Plantas con flores)
Clase	Liliopsida (Monocotiledóneas)
Orden	Poales
Familia	Poaceae (Gramíneas)
Género	Triticum
Especie	Triticum aestivum

2.2.2.2. Descripción botánica y morfológica

- **Raíz**

El sistema radicular es de tipo fasciculado, caracterizado por una elevada ramificación y una extensión que puede superar el metro de longitud. No obstante, cerca del 50 % de las raíces se concentra en los primeros 25 cm del perfil del suelo. El crecimiento de las raíces permanentes se inicia una vez culminada la fase de desarrollo de las raíces del trigo correspondiente al estado fenológico de embuche (también denominado "engaño") (Ambrosio et al., 2020).

- **Tallo**

El tallo presenta una estructura recta, cilíndrica y herbácea, con escasa ramificación y un interior hueco. Comúnmente, posee seis nudos y su longitud oscila entre los 60 y 120 cm, dependiendo de la variedad de trigo cultivada (Ambrosio et al., 2020).

- **Hojas**

Son alargadas rectas y paralelinervias, balanceadas con un limbo de 20 a 30 cm de longitud y de uno a 2 cm de ancho (Ambrosio et al., 2020).

- **Espiga**

Es la inflorescencia del trigo y se forma por varias espigas que contienen las flores (Ambrosio et al., 2020).

- **Grano**

El trigo es una carióspside, es decir, una semilla cuya cubierta del fruto está fusionada con la del embrión. Su tallo es una caña hueca que presenta seis nudos y se alarga hacia la parte superior, alcanzando aproximadamente entre 0.5 y 2 metros de altura. La altura de la planta puede variar entre 30 y 180 cm, dependiendo de la variedad y las condiciones de cultivo. Las raíces del trigo son fasciculadas, con numerosas ramificaciones, y pueden superar 1 metro de profundidad, aunque alrededor del 50 % de ellas se concentran en los primeros 25 cm del suelo (Ambrosio et al., 2020).

- **Variedades.**

Trigo común o trigo blando (*Triticum aestivum*): es la variedad de trigo más usada actualmente y se utiliza para hacer pan, galletas, tostadas, entre otros de igual forma para seriales y es conocido por su bajo contenido de proteínas, así como gluten lo que se ideal para la producción de productos horneados suaves y esponjosos.

Trigo duro o trigo candeal (*Triticum durum*): es una variedad de trigo con un alto contenido de proteínas y gluten utilizado principalmente para hacer pasta, sémola y cuscús.

Trigo espelta (*Triticum spelta*): es una variedad antigua de trigo que se ha vuelto popular en los últimos años en vista de su sabor no es y su alto contenido de proteínas, utilizada para hacer pan galletas y otros productos horneados.

Trigo Kamut (*Triticum turgidum var. polonicum*): es un tipo de grano versátil y nutritivo que se puede utilizar en una variedad de recetas que tiene un alto contenido de proteínas, fibras y minerales esenciales por lo que es una gran adición a una dieta saludable.

Trigo rojo: es una variedad de trigo que se utiliza para hacer pan debido a su sabor y textura excelentes cuando se cuece en barras de pan.

Trigo farro: es una variedad de trigo que se ha vuelto popular debido a su resistencia a las enfermedades y que se adaptan a los métodos ecológicos por lo que se utiliza para hacer sartenes, pastas y otros productos horneados (Sánchez Ramos, 2024).

- **Composición nutricional**

El trigo es la mayor fuente de hidratos de carbono complejos que abastes en una proporción de proteínas del vegetal de 12 % y que contiene una variedad de

vitamina B, hierro, magnesio, fósforo, sin cada uno de los cuales son beneficiosos para la salud del ser humano ya que permiten mejorar el estreñimiento (Sánchez Ramos, 2024).

2.2.3. Tipos de harinas

2.2.3.1. Harina de cereales

Es un producto alimenticio que se obtiene mediante la molienda de granos de cereales como el trigo, maíz, avena, arroz, centeno, cebada, entre otros siendo ricos en nutrientes, almidón y contienen una gran variedad esencial como carbohidratos, proteínas, vitaminas, minerales (Bravo y Moreno, 2015).

2.2.3.2. Harina de legumbres

Esta se produce de la molienda de legumbres secas como garbanzos, lentejas, habas o guisantes siendo un tipo de harina de excelente fuente de proteínas vegetales y es naturalmente libre de gluten por lo que se utiliza para hacer una variedad de platos mismos que incluyen:

- **Pan sin gluten:** se emplea la harina de garbanzo, en particular.
- **Frituras y rebozados:** se usa para dar una textura crujiente a los alimentos fritos, como bhajjs (buñuelos de verduras) en la cocina india.
- **Salsas espesantes:** se utiliza como espesante en sopas y salsas.
- **Sustituto de huevos en recetas veganas:** en algunas recetas veganas, la harina de garbanzo mezclada con agua se utiliza como sustituto de huevo (Sánchez Ramos, 2024).

2.2.3.3. Harina de fruta

Son harinas orgánicas que contiene mayor cantidad de proteínas, vitaminas, aminoácidos y grasa saturada baja, tal es el caso que se obtienen de la fruta de pan y con cascara de frutas (Sánchez Ramos, 2024).

Este tipo de harina se obtiene a partir del secado y molienda de frutas deshidratadas lo que permite conservar gran parte de sus propiedades esenciales, como fibra, vitaminas y minerales por lo que su aplicación es cada vez más amplia ya que puede ser usada como ingrediente en la formulación de panes, pastas, productos de repostería y bebidas nutricionales contribuyendo a la reducción del desperdicio alimentario, permitiendo el aprovechamiento de frutas que no cumplen con los

estándares comerciales para su venta en fresco (Dussán-Sarria, Hurtado-Hurtado, et al., 2019).

Las harinas de fruta destacan por su alto contenido de fibra dietética, antioxidantes y compuestos bioactivos, lo que las convierte en una opción valiosa para mejorar la calidad nutricional de diversos productos dependiendo de la fruta utilizada ya que pueden aportar cantidades significativas de vitaminas esenciales como la vitamina C, E y del complejo B y de minerales como potasio, calcio y magnesio por lo que su bajo índice glucémico en comparación con las harinas refinadas las hace una opción atractiva para personas que buscan controlar sus niveles de azúcar en sangre favoreciendo la salud digestiva, ya que su fibra contribuye a la regulación del tránsito intestinal y al mantenimiento de una microbiota equilibrada (Dussán-Sarria et al., 2019).

En el ámbito de la panificación, la incorporación de harina de fruta permite mejorar el perfil sensorial y nutricional de los productos finales lo que aporta un sabor característico dependiendo del tipo de fruta utilizada, sino que también influye en la textura y humedad del producto en la elaboración de pastas como fettuccini o lasaña, la sustitución parcial de harina de trigo por harina de fruta puede aumentar el contenido de fibra y proteínas (Dussán-Sarria, Hurtado-Hurtado, et al., 2019).

El desarrollo de este tipo de harinas representa una opción sostenible en la industria alimentaria ya que permite el aprovechamiento de subproductos y frutas no comercializadas, reduciendo así las pérdidas postcosecha lo que beneficia a comunidades agrícolas al generar valor agregado a cultivos locales proyectándose como una tendencia en constante crecimiento (Dussán-Sarria, Hurtado-Hurtado, et al., 2019).

2.2.3.4. Harina de tallos y raíces

La harina derribada de raíces solitarios como la fécula de patata y la tapioca se obtiene mediante un proceso de refinación involucra lavado y raspado lo que resulta un polvo de textura fina y color blanco utilizada principalmente como agente espesante, en el caso de la tapioca se trata de un almidón de tonalidad blanquecina que carece de gluten en su composición.

Según Dussán et al. (2019), las arenas se clasifican en diversas categorías según su contenido de proteínas y sus propiedades:

- **Harinas de gran fuerza:** contienen la mayor cantidad de proteínas, aproximadamente entre un 13 % y un 15 % siendo ideales para la producción de pastas alimenticias, siendo su procedencia de trigos duros con alto contenido de gluten específicamente con más glutenina que gliadinas lo que les otorga una gran capacidad de resistencia al estiramiento, de igual forma para considerarse una harina de fuerza, debe tener al menos un 12 % de proteínas en cada 100 gramos de harina por lo que si alcanza hasta un 15 %, se denominan harinas de gran fuerza pudiendo absorber hasta 750 gramos de agua por kilogramo.
- **Harinas de fuerza:** tienen un contenido de proteínas cerca del 11 al 12 % y se utilizan en la elaboración de pan proviniendo de trigos duros con un alto contenido de gluten dándoles resistencia para la fermentación y el estiramiento en la panificación, de igual forma para considerar harina de fuerza debe tener al menos un 12 % de proteínas en cada 100 gramos de harina.
- **Harinas de media fuerza o panificables:** estas harinas tienen un contenido de proteínas que varía entre el 10 y el 11 % por cada 100 gramos y se pueden obtener mezclando partes iguales de harina de fuerza y harina floja siendo versátiles utilizados tanto en panificación como en repostería. No todas se comercializan como harina de media fuerza por lo que a menudo es necesario mezclarlas.
- **Harinas débiles o flojas:** Las harinas débiles contienen entre un 7 y 9 % de proteínas por cada 100 gramos siendo ideales para la repostería ya que producen productos más tiernos absorbiendo menos agua en comparación con las harinas de fuerza (500 gramos por kilogramo en lugar de 750).

2.2.3.5. Conservación

De acuerdo con Farías et al. (2019) para lograr la conservación de harina se debe tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

- **Higroscopia de la harina:** significa que puede absorber la humedad del ambiente lo que puede disminuir la vida útil de la harina y afectar su calidad.
- **Control de humedad:** se debe mantener un control estricto de la mitad de la harina durante el almacenamiento ya que no se debe permitir que la harina tenga más del 15 % de humedad por lo que niveles más altos pueden

promover la proliferación de microorganismos, así como plagas causando que la arena se aglomere.

- **Ambiente adecuado:** para un almacenamiento eficaz se recomienda utilizar bodegas secas limpias y libres de plagas lo que ayuda a prevenir la contaminación y deterioro de la harina.
- **Bodegas adecuadas:** para un almacenamiento óptimo, es recomendable utilizar bodegas secas, limpias y libres de plagas. Esto ayuda a prevenir la contaminación y el deterioro de la harina.
- **Envases herméticos:** permiten mantener la harina protegida de la humedad y las contaminaciones externas siendo especialmente importante si la harina es almacenada durante largos periodos.
- **Proceso industrial:** en la industria se utilizan recipientes verticales con vacío para el empaque y ciado de la arena de manera óptima lo que garantiza la calidad de fresco del producto antes de distribuirse.

2.2.3.6. Requisitos generales de la harina

El estándar INEN 616, emitido en 2015, instituye importantes requisitos de calidad y seguridad para la harina entre los cuales se destaca:

- **Inocuidad:** debe ser segura para el consumo humano ya que no debe contener sustancias que puedan ser dañinos para la salud lo que incluye la ausencia de microorganismos patógenos como bacterias y hongos que puedan causar enfermedades alimenta.
- **Calidad sensorial:** la harina no debe presentar materiales extraños como valores, sabores desagradables ni indicios de qué esté rancia ya que debe mantener su aroma y sabor característico estando libre de contaminantes que afecta negativamente su calidad sensorial.
- **Pureza:** no se debe mezclar con otro tipo de harina ya que debe ser un producto puro y no contener mezclas adulteraciones que puedan engañar al consumidor o comprometer su calidad.
- **Higiene:** no debe contener microorganismos en sustancias extrañas insectos, y sus formas intermedias de desarrollo que pueden representar un riesgo para la salud del consumidor lo que garantiza que el producto sea seguro ya para el consumo humano (Sánchez-Malusin et al., 2022).

2.2.3.7. Equipo Mixolab

Este es un instrumento de análisis reológico que permite evaluar el comportamiento de las harinas y masas en diferentes condiciones de procesamiento midiendo parámetros como la absorción de agua, la estabilidad de la masa y la resistencia al amasado, proporcionando información esencial para la industria alimentaria utilizándose en la formulación de productos panificados y en la optimización de mezclas de harina, permitiendo mejorar la calidad y funcionalidad de los productos finales (Valdes Restrepo et al., 2023).

Este permite evaluar los cambios térmicos en la masa durante su calentamiento y enfriamiento mediante su sistema de torque controlado, se pueden determinar las propiedades de gelatinización del almidón y la estabilidad del gluten, factores esenciales en la producción de panes, pastas y otros productos a base de cereales. Esta capacidad de simular las condiciones reales de procesamiento lo convierte en una herramienta valiosa para la investigación y desarrollo en la industria alimentaria (Valdes Restrepo et al., 2023).

Su precisión en la medición de la viscosidad y la capacidad de retención de agua facilita la evaluación de harinas alternativas en la producción de pastas y productos horneados lo que posibilita la formulación de alimentos más saludables con características reológicas optimizadas para su procesamiento y consumo (Dussán-Sarria, Hurtado-Hurtado, et al., 2019).

2.2.3.8. Reología

En el ámbito alimentario la reología es esencial para evaluar la textura y la consistencia de productos como masas, salsas y geles ya que permite determinar su viscosidad, elasticidad y plasticidad. Su aplicación en la industria facilita el diseño de productos con características sensoriales y funcionales óptimas, asegurando su calidad durante el procesamiento y almacenamiento (Dussán-Sarria, Hurtado-Hurtado, et al., 2019).

Los parámetros medidos en estos estudios incluyen el esfuerzo de corte, la viscoelasticidad y la estabilidad de la masa bajo diferentes condiciones de procesamiento por lo que herramientas como el Mixolab, el farinógrafo y el reómetro permiten determinar la resistencia de la masa al amasado, su capacidad de retención de agua y su comportamiento durante la cocción, lo que influye directamente en la textura del producto final.

En el caso de la sustitución de harinas convencionales por alternativas como la de chontaduro, la reología es fundamental para evaluar su impacto en la calidad del producto ya que factores como la disminución de la elasticidad, el aumento de la viscosidad o los cambios en la gelatinización del almidón pueden modificar la estructura de la masa y su aceptación sensorial. Por ello, los estudios reológicos son clave para garantizar que las nuevas formulaciones mantengan propiedades adecuadas para su procesamiento y consumo (Dussán-Sarria, Hurtado-Hurtado, et al., 2019).

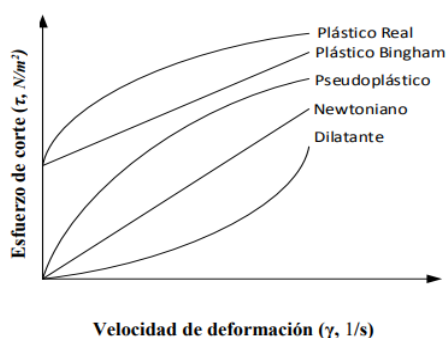


Figura 1. Curvas reológicas

Fuente: (Dussán-Sarria, Hurtado-Hurtado, et al., 2019)

La tabla 4 presenta las principales curvas reológicas utilizadas para identificar el comportamiento de diferentes tipos de fluidos, permiten clasificar los fluidos en función de su respuesta frente al esfuerzo de corte, lo cual es esencial en el diseño y control de procesos en las industrias alimentaria, cosmética, farmacéutica y química.

Tabla 4. Curvas reológicas para la identificación del tipo de fluido.

Tipo de fluido	Comportamiento reológico	Forma de la curva	Ejemplo común
Newtoniano	Viscosidad constante; esfuerzo de corte proporcional a la velocidad de deformación	Línea recta que pasa por el origen	Agua, aceites minerales
Pseudoplástico	Disminuye la viscosidad con el aumento del esfuerzo de corte	Curva ascendente cóncava hacia abajo	Yogur, soluciones de polímeros
Dilatante	Aumenta la viscosidad con el aumento del esfuerzo de corte	Curva ascendente cóncava hacia arriba	Suspensiones concentradas, masa de almidón
Plástico de Bingham	Comienza a fluir solo después de superar un esfuerzo umbral	Línea recta con intercepto positivo en el eje de esfuerzo de corte	Mayonesa, pasta de tomate
Plástico pseudoplástico	Fluido con esfuerzo umbral y comportamiento pseudoplástico posterior	Curva con intercepto y forma cóncava hacia abajo	Cosméticos, emulsiones espesas

Fuente: (Dussán-Sarria, Hurtado-Hurtado, et al., 2019)

III. METODOLOGÍA

3.1. ENFOQUE METODOLÓGICO

3.1.1. Enfoque

La investigación que se presenta tiene un enfoque cuantitativo debido a que se basa en la medición numérica de análisis fisicoquímicos, microbiológicos, reológicos y sensoriales de la pasta tipo fetuccini la misma que fue elaborada de harina de chontaduro y harina de trigo con el fin de determinar el mejor tratamiento. Los datos obtenidos fueron interpretados mediante programas estadísticos para de esta manera examinar la hipótesis planteada y documentar los valores, de acuerdo con la norma NTE INEN 1375: 2000 de pastas alimenticias o fideos y brindar de esta manera un producto óptimo para el consumidor.

3.1.2. Tipo de Investigación

La presente investigación es de tipo experimental, ya que los resultados se obtuvieron mediante la aplicación de métodos científicos en un entorno controlado, utilizando las instalaciones del laboratorio de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi (UPEC). Se formularon distintos tratamientos con sustituciones parciales de harina de trigo por harina de chontaduro, con el objetivo de evaluar su influencia en las características fisicoquímicas, microbiológicas, reológicas y sensoriales del producto, así como en el rendimiento de la harina de chontaduro. La investigación se desarrolló conforme a las normas técnicas ecuatorianas NTE INEN vigentes, tales como la NTE INEN 1334 para análisis fisicoquímicos de alimentos, la NTE INEN 1529 para análisis microbiológicos, la NTE INEN 2425 para evaluación sensorial mediante pruebas hedónicas, y otras normas aplicables para análisis reológicos. Además, se siguieron las Buenas Prácticas de Laboratorio (BPL) para asegurar la calidad, trazabilidad y reproducibilidad de los resultados, garantizando también el cumplimiento de principios éticos como el consentimiento informado y la confidencialidad de los datos obtenidos.

3.2. IDEA A DEFENDER

3.2.1. Hipótesis nula

Ho: La sustitución parcial de harina de trigo con la harina de chontaduro no presentó aceptación en las características sensoriales, reológicas, fisicoquímico y microbiológicas de una pasta tipo fettuccini.

3.2.2. Hipótesis alternativa

Ha: La sustitución parcial de harina de trigo con la harina de chontaduro presentó aceptación en las características sensoriales, reológicas, fisicoquímico y microbiológicas de una pasta tipo fettuccini.

3.3. DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

3.3.1. Definición de variables

Independientes

- Porcentaje de sustitución de harina de chontaduro: 0, 6,12, 18 %

Dependientes

- Características fisicoquímicas y microbiológicas de la harina de chontaduro.
- Características reológicas de la masa de (esfuerzo de corte, tasa de corte, viscosidad y par máximo)
- Características sensoriales de los tratamientos (color, olor, sabor, textura)

3.3.2. Operacionalización de las variables

Tabla 5. Operacionalización de variables

Variables		Dimensiones	Indicadores	Técnica	Instrumento
Variables Independientes	Porcentaje de sustitución de harina de chontaduro por harina de trigo	Porcentaje	0 %	Gravimetría	Gutiérrez (2019)
			6 %		
Uso de harina de chontaduro	Análisis fisicoquímicos	-Humedad	Máx. 14.5 %	Secado por estufa	NTE INEN 518:2006
			Mín. 10.5 %		
Variables Dependientes	Características fisicoquímicas y microbiológicas de la harina de chontaduro	-Proteína (base seca)	Máx. 0.85 %	Método de Kjeldahl Calcinación	NTE INEN 20483:2013 AOAC 923.03:2011
			- Cenizas (base seca)		
Análisis reológicos y fisicoquímicos de la pasta a partir de la harina de chontaduro.	Análisis microbiológico	-Acidez (Exp.en ácido sulfúrico)	Máx. 0.2 %	Titulable	NTE INEN 521 (2006)
			-Grasa		
Análisis reológicos y fisicoquímicos de la pasta a partir de la harina de chontaduro.	Análisis funcional	-Coliformes totales	Máx. 2 %	Método Soxhlet	NTE INEN 1085
			-Mohos y levaduras		
Análisis reológicos y fisicoquímicos de la pasta a partir de la harina de chontaduro.	Análisis reológicos	Perfil viscoelástico de las masas	1.0*10 ² UFC/g	Siembra en profundidad	NTE INEN 1529-10 AOAC 997.02 NTE INEN 1529-8 AOAC 991.14
			5.0*10 ² UFC/g		
Análisis reológicos y fisicoquímicos de la pasta a partir de la harina de chontaduro.	Análisis funcional	Propiedades funcionales	Relación esfuerzo / velocidad de corte	Viscoelasticidad	(Montoya et al., 2019)
			Viscosidad aparente		
Análisis reológicos y fisicoquímicos de la pasta a partir de la harina de chontaduro.	Análisis funcional	Propiedades funcionales	Absorción de Agua (%)	Viscoelasticidad	(A. Cerpa et al., 2003) (Ponce et al., 2018) (Gloria Chagman & Joaquín Zapata, 2010)
			Estabilidad del mezclado (min)		
Análisis reológicos y fisicoquímicos de la pasta a partir de la harina de chontaduro.	Análisis funcional	Propiedades funcionales	Desarrollo de la masa (min)	Viscoelasticidad	(Gloria Chagman & Joaquín Zapata, 2010) (Dussán et al., 2019) (Mezger, 2014)
			Par máximo durante el mezclado		
Análisis reológicos y fisicoquímicos de la pasta a partir de la harina de chontaduro.	Análisis fisicoquímicos	Humedad pasta fresca	Máx. 28 %	Calcinación	NTE INEN 518 (2006)
			Máx. 14 %		
Análisis reológicos y fisicoquímicos de la pasta a partir de la harina de chontaduro.	Análisis fisicoquímicos	Humedad pasta seca	Máx. 14 %	Método de Kjeldahl	NTE INEN 518 (2006)
			Cenizas		
Análisis reológicos y fisicoquímicos de la pasta a partir de la harina de chontaduro.	Análisis fisicoquímicos	Proteína	-	Titulable	AOAC 923.03 (2011)
			Acidez		
Análisis reológicos y fisicoquímicos de la pasta a partir de la harina de chontaduro.	Análisis fisicoquímicos	Grasa	Máx. 12.5 %	Método de Kjeldahl	NTE INEN 20483 (2013)
			Máx. 0.45%		
Análisis reológicos y fisicoquímicos de la pasta a partir de la harina de chontaduro.	Análisis fisicoquímicos	Color	Máx. 3%	Método de Soxhlet	NTE INEN 521 (2006)
			Olor		
Análisis sensorial de la pasta	Análisis sensorial	Textura	Máx. 3%	Método de Soxhlet	AOAC 945.16
			Sabor		
Análisis sensorial de la pasta	Análisis sensorial	Sabor	Pruebas afectivas con escala hedónica de 5 puntos Máx.	Catación	NTC 4129

3.4. MÉTODOS UTILIZADOS

3.4.1. Fase 1. Elaboración de harina de chontaduro para utilizarla en la sustitución parcial de una pasta tipo fetuccini

En esta fase se obtuvo el chontaduro, la metodología se basó en Sánchez-Malusin et al. (2022), logrando obtener la harina mediante el método de secado por convección, como se lo detalla en el diagrama de flujo de la figura 1.

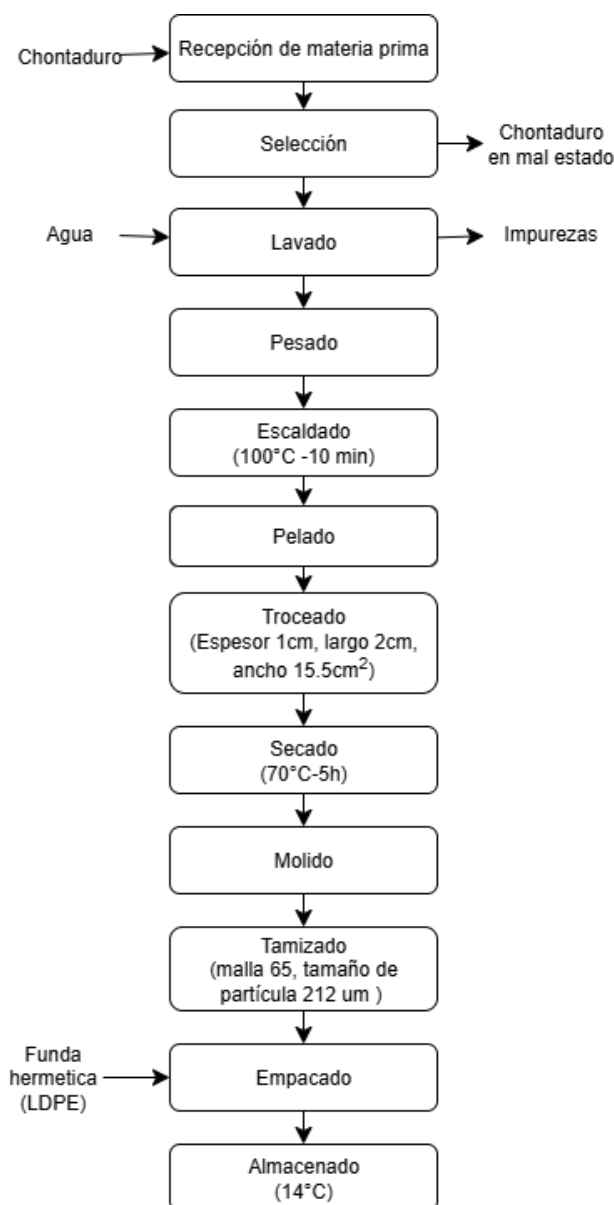


Figura 2. Diagrama de flujo para la elaboración de harina de chontaduro
Fuente: (Menéndez, 2022)

Descripción del proceso

El chontaduro utilizado en este estudio fue recolectado en la provincia de Orellana, Ecuador. A continuación, se detalla cada etapa del proceso:

- **Recepción de la materia prima:** Los frutos de chontaduro frescos, los cuales fueron trasladados para su procesamiento inmediato.
- **Selección:** Se descartaron los frutos que presentaban daños físicos o fisiológicos visibles, a fin de garantizar la calidad e inocuidad del producto final.
- **Lavado:** Los frutos seleccionados fueron lavados con agua potable para eliminar suciedad, impurezas y residuos superficiales.
- **Pesado:** Se utilizó una balanza industrial para registrar el peso total de la materia prima, permitiendo así calcular el rendimiento del proceso.
- **Escaldado:** Los chontaduros fueron sometidos a un escaldado durante 10 minutos a una temperatura de 100°C con el objetivo de facilitar el pelado y mejorar la eficiencia del secado posterior.
- **Pelado:** De manera manual, y con la ayuda de cuchillos de acero inoxidable, se retiró completamente la cáscara de cada fruto.
- **Troceado:** Los frutos pelados se cortaron en trozos pequeños (Espesor 1 cm, largo 2 cm y ancho 1.5 cm²) para acelerar el proceso de deshidratación y preservar sus propiedades fisicoquímicas (Felipe et al., 2018).
- **Secado:** Los trozos fueron deshidratados en un deshidratador industrial a una temperatura constante de 70°C durante 5 horas, con el fin de reducir el contenido de humedad interna de la fruta (Felipe et al., 2018).
- **Molido:** Posteriormente, las rodajas secas se pulverizaron utilizando un molino de discos, obteniéndose un polvo fino.
- **Tamizado:** El producto molido se pasó por un Granulómetro de marca BERTEL de malla 65 Tyler (212 µm), obteniendo así la cantidad de harina requerida. (Felipe et al., 2018).
- **Empacado:** La harina obtenida fue envasada en fundas herméticas ziploc (polietileno de baja densidad), con el fin de protegerla de la humedad y evitar la contaminación.
- **Almacenado:** Finalmente, los envases fueron almacenados en condiciones controladas de temperatura y humedad (12-18 °C y ≤ 60 %), con el propósito de preservar la estabilidad fisicoquímica y microbiológica del producto hasta su uso o análisis posterior.

3.4.2. Evaluación fisicoquímicos de la harina de chontaduro.

3.4.2.1. Rendimiento

Suryam Dora (2017) da a conocer que para la medición del rendimiento requiere determinar el peso de la materia prima que ingresa al proceso productivo, específicamente aquella que ha sido previamente pelada. Este valor se compara con el peso del producto final, que en este caso corresponde a la cantidad total de harina obtenida. Esta relación permite evaluar la eficiencia del proceso de transformación.

Cálculo:

$$R_{BH} = \frac{M3}{M1} \times 100 \text{ Ec.1}$$

Donde:

R_{BH} = rendimiento base húmeda

$M1$ = masa del chontaduro seco

$M3$ = masa de la harina de chontaduro obtenida

3.4.2.2. Humedad

Para la determinación de humedad de harina vegetal mediante la pérdida por calentamiento se basó en la norma INEN 518 (2006) donde sugiere llevar la capsula durante 30 min en la estufa a $130 \pm 3^\circ\text{C}$ para luego pasar a enfriar al desecador hasta una temperatura ambiente y pesar. Seguidamente pesar 2 g de muestra y llevar a la estufa a $130 \pm 3^\circ\text{C}$ enfriar y luego pesar.

Cálculo:

$$P_c = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \times 100 \text{ Ec.2}$$

Donde:

P_c = pérdida por calentamiento, en porcentaje de masa.

m_1 = masa de la capsula tarada.

m_2 = masa de la capsula tarada con muestra, en g.

m_3 = masa de la capsula con muestra secada, en g.

3.4.2.3. Ceniza

De acuerdo con la normativa AOAC 923.03 (2022) para la determinación de cenizas en harinas de origen vegetal, se pesaron 3 g de muestra seca en un crisol previamente tarado. En caso de que la muestra presentara humedad, se procedió a la calcinación inicial hasta que la muestra adquirió una coloración negra. Posteriormente, los crisoles se colocaron con pinzas en una mufla a una temperatura de 550 °C durante aproximadamente 6 horas, hasta que la muestra adquirió un color plomo claro o plateado. Una vez finalizado el tiempo de calcinación, la mufla se apagó y se esperó a que la temperatura descendiera al menos hasta 250 °C antes de abrirla. Finalmente, los crisoles se transfirieron con pinzas a un desecador para su enfriamiento y se pesaron posteriormente.

Cálculo:

$$\% \text{ cenizas} = \frac{c3 - c1}{c2 - c1} \times 100 \text{ Ec.3}$$

Donde

$c1$ = masa del crisol en gramos

$c2$ = masa del crisol con la muestra en gramos

$c3$ = masa del crisol con las cenizas en gramos

Promediar los valores obtenidos y expresar el resultado con un decimal

3.4.2.4. Acidez por titulación

El análisis de acidez se realizó siguiendo la metodología AOAC 939.05 (2022). Para ello, se pesaron 30 g de harina a los cuales se añadieron 90 ml de agua destilada; la mezcla se homogenizó durante 2 minutos y posteriormente se filtró para obtener el jugo. Del filtrado, se transfirieron 10 ml a un matraz Erlenmeyer de 100 ml, al que se añadieron 10 ml de agua destilada y 5 gotas de indicador de fenolftaleína. La titulación se llevó a cabo con una solución de NaOH 0.1 N hasta observar un cambio de coloración en la muestra, pasando a un tono rosado. La acidez se expresó en términos de ácido sulfúrico.

Cálculo:

$$\% \text{AH}_2\text{SO}_4 = \frac{\text{Gasto NaOH} \times N \times \text{mili.eq de ácido}}{P} \times 100 \text{ Ec.4}$$

Donde:

% AH_2SO_4 = Acidez expresada en ácido sulfúrico

Gasto NaOH = Gato de hidróxido de sodio (ml)

N = Normalidad

F = Factor 1

Mili. Eq de ácido sulfúrico = 0.049

P = peso de la muestra (g).

3.4.2.5. Determinación de proteína por el método de Kjeldahl

La caracterización fisicoquímica destinada a la determinación del contenido de proteínas en el producto se realiza mediante el método Kjeldahl, conforme a lo establecido en la norma (INEN, 2013). Este procedimiento permite cuantificar el nitrógeno orgánico presente en la muestra, basándose en una titulación ácido-base de tipo volumétrico que proporciona una estimación precisa del contenido proteico.

a) Digestión ácida

Se pesó 1 g de harina en papel libre de nitrógeno (filtro) y se lo coloca en los tubos de vidrio para digestión. A cada tubo se añadieron dos pastillas catalizadoras Kjeldahl, 15 ml de ácido sulfúrico concentrado y cinco gotas de silicona como antiespumante. Posteriormente, los tubos se colocaron en el equipo de digestión a 420 °C durante una hora o hasta completar el ciclo de digestión establecido.

b) Destilación

Para continuar con el proceso, los tubos de digestión se trasladaron a la cámara de extracción de gases del laboratorio, donde se añadieron 80 ml de agua destilada. Paralelamente, se prepararon los matraces de destilación, en los cuales se depositó 30 ml de ácido bórico al 4 % junto con 3 gotas de indicador de Tashiro. Para cada muestra, se prepararon 70 ml de hidróxido de sodio al 40 %. Durante la destilación, el matraz Erlenmeyer que contenía el ácido bórico y los tubos digestores se colocó en el equipo, el cual automáticamente introdujo los 70 ml de hidróxido de sodio al 40 % y los 80 ml de agua. Finalmente, se esperó a que la destilación se completara, evidenciado por el cambio de color del indicador en el Erlenmeyer, que varió de rojo a azul.

c) Titulación

Finalmente, se preparó una solución de ácido clorhídrico 0.1 N (M) valorada. Luego se transfirió a una bureta y se procedió a titular el contenido del Erlenmeyer hasta que el indicador vire de color azul.

$$\% NT = \frac{VA \times 1.4007 \times M}{m} \times 100 \text{ Ec. 5}$$

$$\%P = \%NT \times F \text{ Ec. 6}$$

Donde

NT = porcentaje de nitrógeno total

P = porcentaje de proteína bruta

VA = volumen en mL de HCl 0.1 N gastado en la titulación de la muestra

1.4007 = miliequivalentes en peso de N x 100 %

M = molaridad del HCl estandarizado

m = peso de la muestra en gramos $F = 5.71$ = factor de conversión de proteína.

3.4.2.6. Análisis de grasa

De acuerdo con la AOAC 945.16, para la extracción mediante el método Soxhlet, la muestra se tritura, se tamiza y se pesa una cantidad comprendida entre 1 y 5 gramos sobre papel filtro Whatman No. 1, anotando con precisión el valor obtenido. Posteriormente, se coloca con cuidado dentro del dedal de extracción, utilizando guantes de nitrilo y pinzas para prevenir la contaminación.

El dedal se inserta en la columna de extracción del equipo Soxhlet SX-6. El vaso colector se somete a secado en estufa a 130 °C hasta alcanzar un peso constante, se enfría en un desecador y se pesa en una balanza analítica. Luego, se adicionan 60 mL de hexano en el vaso, el cual se ubica bajo las columnas asegurando su ajuste correcto.

Una vez preparado el sistema, se enciende el equipo y se lleva la temperatura a 140 °C, activando el sistema de recirculación de agua a 18 °C para permitir la condensación del solvente. Cuando la temperatura es estable, los dedales se colocan en posición de extracción, manteniendo la ebullición durante una hora, seguida de un enjuague adicional de 40 minutos.

Al finalizar, las válvulas se cierran y el equipo entra en la fase de recuperación durante aproximadamente 10 minutos, permitiendo la separación del disolvente. El vaso se retira y se somete a evaporación en campana extractora, seguido de un secado final en estufa a 105 °C por dos horas para eliminar restos de solvente. Tras enfriar en desecador, se obtiene el peso final, con el cual se calcula el contenido de grasa o extracto lipídico de la muestra.

$$\% \text{ Grasa} = \frac{P_1 - P_2}{m} \times 100 \text{ Ec.7}$$

Donde

P_1 = Peso el vaso más muestra de grasa

P_2 = Peso del vaso vacío

m = Peso de la muestra

3.4.2.7. Análisis microbiológico

El análisis de calidad que se realizó a la harina de chontaduro consiste en el siguiente procedimiento, se preparó la muestra tomando 10 gramos de harina de chontaduro más 90 ml de agua peptona, se coloca en una funda ziploc y se lleva al stomacher por 30 seg a 2000 rpm. Se prepararon diluciones de acuerdo con la norma (INEN 616: 2015); para lo cual se necesitaron tubos de ensayo donde se coloca 9 ml de agua peptona más 1 ml de muestra madre en cada dilución, a continuación, se inoculo 1 ml de solución por siembra a profundidad por triplicado para cada dilución. Se incubo a 25 °C durante 5 días para hongos y levaduras en medio PDA, A 35 °C durante 24 horas para Aerobius mesófilos en medio PCA y a 35 °C durante 48 horas para E. coli/coliformes totales en medio cromogénico. El resultado se da a conocer en UFC por gramo.

Aplicando la fórmula para determinar las unidades formadoras de colonias, tenemos:

$$UFC/ml = \frac{\bar{x} \text{ colonias}}{V_s} \cdot FD \text{ Ec. 8}$$

Donde:

UFC: Unidades formadoras de colonia por ml o g.

\bar{x} : Colonias promedio de colonias entre 30 a 300.

V_s : volumen de siembra, ya sea en profundidad (1 ml) o superficie (0.1 ml)

FD: Factor de dilución. FD=1/D

3.4.3. Fase 2. Elaboración de pasta tipo fettuccini empleando harina de trigo y harina de chontaduro

3.4.3.1. Formulación de ingredientes para elaboración de la pasta fettuccini

Las pastas fueron elaboradas conforme a lo descrito en la tabla 6, empleando como ingredientes principales harina de trigo, harina de chontaduro, agua, huevos, sal y aceite. El objetivo de esta formulación fue evaluar cuál tratamiento presentaba una mejor apariencia, los porcentajes reflejan la proporción de cada ingrediente utilizado.

Tabla 6. Formulación porcentual de la pasta tipo fettuccini

Ingredientes	T0 (0 %)	T1 (6 %)	T2 (12 %)	T3 (18 %)
Harina de trigo	60	56.4	52.8	49.2
Harina de chontaduro	0	3.6	7.2	10.8
Agua	4	4	4	4
Huevo	22	22	22	22
Sal	2	2	2	2
Aceite	12	12	12	12

En esta fase se toma el diagrama de flujo de Dussán et al. (2019), dando a conocer que a la harina de chontaduro obtenida se le realizó análisis microbiológicos para asegurar que el alimento este completamente libre de contaminación y lograr un mejor resultado en el producto final. La figura 3 muestra el procedimiento:

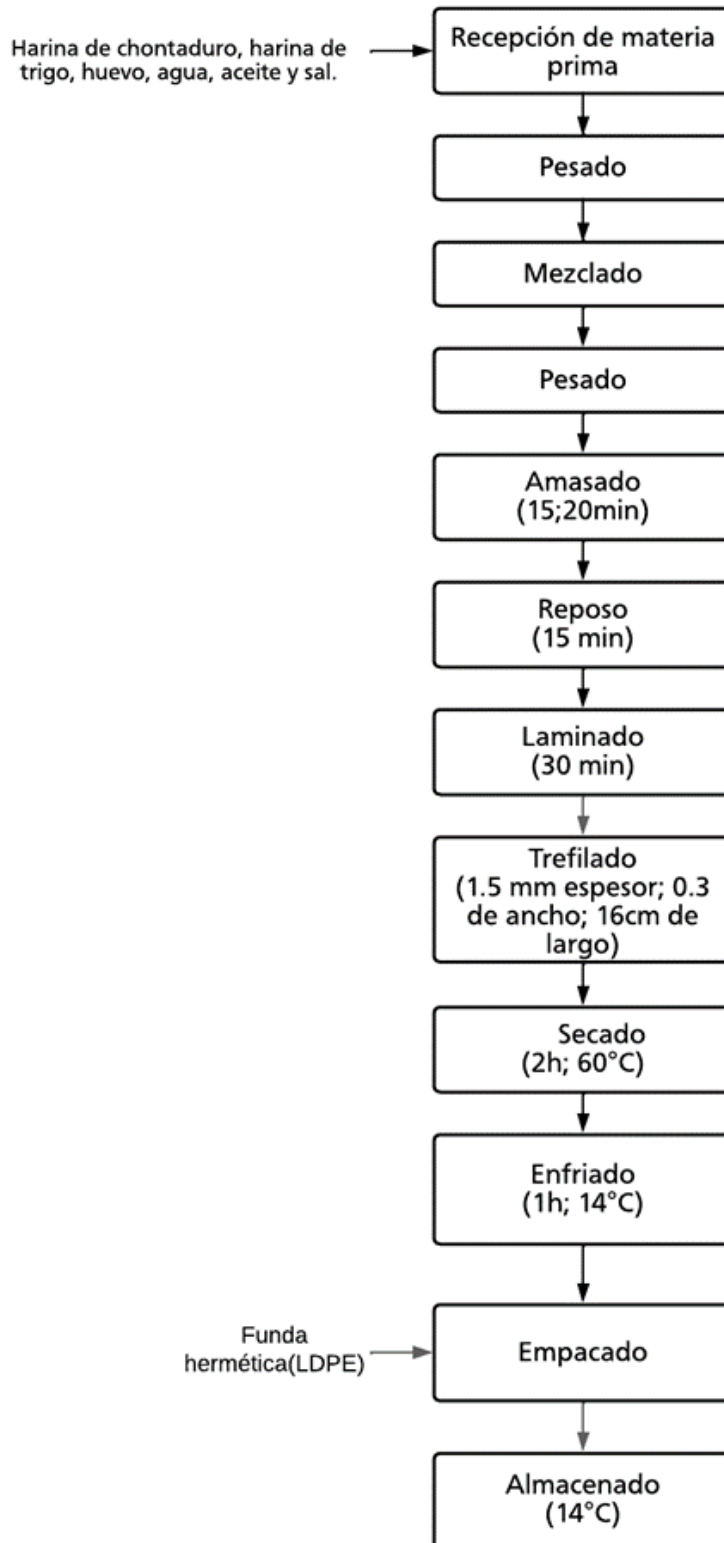


Figura 3. Diagrama de flujo para la elaboración de pasta tipo fettuccini de harina de trigo y harina de chontaduro.

Fuente: (Dussán-Sarria, Hurtado-Hurtado, et al. 2019)

Descripción del proceso

- **Recepción de materia prima:** Se obtuvo la materia prima de calidad ya que cuenta con los parámetros establecidos en la norma, debe poseer una humedad requerida mínima del 14 % para poder ser apta para el consumo humano.
- **Pesado:** Los pesos de las materias primas deben ser exactos de acuerdo con las formulaciones de cada tratamiento.
- **Mezclado:** Se realizó una mezcla de todos los ingredientes y se obtuvo una masa homogénea.
- **Amasado:** Se lo realizó de 15-20 min dependiendo de la cantidad de harinas que se utilizaron (Dussán-Sarria et al. 2019).
- **Reposo:** fue sometida a reposo para mejorar la apariencia de la masa y conseguir que sea más fácil de estirar como también lograr una mejor textura y sabor.
- **Laminado:** Con la ayuda de un rodillo de cocina logramos que la masa llegue a los 30 cm de ancho con 16 cm de largo (Dussán-Sarria et al. 2019).
- **Trefilado:** Los cortes se los consiguió con la ayuda de una regla y un cuchillo.
- **Secado:** La pasta se la llevó a la estufa a una temperatura de 60 °C por 2 h para evitar que el momento de cocción pierda esta la forma (Dussán-Sarria et al. 2019).
- **Enfriado:** Fue llevado a un lugar seco y ventilado que alcance una temperatura de 14 °C durante 1 hora para evitar la absorción de olor al contacto con la funda (Dussán-Sarria et al. 2019).
- **Empacado:** se empaco el producto en fundas ziploc (polietileno de baja densidad) para evitar la absorción de la humedad considerando que la humedad relativa a la que se debe encontrar es del 12 %, luego se empaca con peso de 400 g.
- **Almacenado:** Se almacenará en un lugar fresco, seco y limpio a una temperatura de 14 °C.

3.4.4. Evaluación fisicoquímica de la pasta tipo fettuccini con harina de trigo y harina de chontaduro

3.4.4.1. Humedad pasta fresca

La determinación de humedad para pasta se basa en la normativa INEN 518 (2006) donde se sugiere cortar la pasta en trozos pequeños sin estar sometida a un secado por convección, seguidamente se lleva la capsula durante 30 min en la estufa a 130 ± 3 °C para luego pasar a enfriar al desecador hasta una temperatura ambiente y

pesar. Seguidamente pesar 2 g de muestra y llevar a la estufa a 130 ± 3 °C enfriar y luego pesar.

Cálculo:

$$P_c = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \times 100 \quad \text{Ec.9}$$

Donde:

P_c = pérdida por calentamiento, en porcentaje de masa.

m_1 = masa de la capsula tarada.

m_2 = masa de la capsula tarada con muestra, en g.

m_3 = masa de la capsula con muestra secada, en g.

3.4.4.2. Humedad pasta seca

La determinación de humedad para pasta se basa en la normativa INEN 518 (2006) donde se tiene la pasta seca y cortada en trozos pequeños, seguidamente se llevar la capsula durante 30 min en la estufa a 130 ± 3 °C para luego pasar a enfriar al desecador hasta una temperatura ambiente y pesar. Seguidamente pesar 2 g de muestra y llevar a la estufa a 130 ± 3 °C enfriar y luego pesar.

Cálculo:

$$P_c = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \times 100 \quad \text{Ec.10}$$

Donde:

P_c = pérdida por calentamiento, en porcentaje de masa.

m_1 = masa de la capsula tarada.

m_2 = masa de la capsula tarada con muestra, en g.

m_3 = masa de la capsula con muestra secada, en g.

3.4.4.3. Cenizas

La determinación del contenido de ceniza se realizó conforme a la normativa AOAC 923.03 (2022) Inicialmente, los crisoles fueron tarados tras ser sometidos a una temperatura de 105 °C en estufa durante 3 horas. Posteriormente, se dejaron enfriar en un desecador y se procedió al pesaje. Se colocaron 3 gramos de muestra seca en cada crisol previamente tarado. La muestra fue calcinada en una cabina de extracción hasta adquirir un color negro. Luego, los crisoles fueron transferidos con

pinzas a una mufla, donde se mantuvieron a 550 °C durante 6 horas, hasta que la muestra alcanzó una coloración plomo claro o plateado. Finalizado el proceso, se apagó la mufla y se permitió que la temperatura descendiera al menos hasta los 250 °C antes de abrirla. Finalmente, los crisoles se trasladaron al desecador, se dejaron enfriar y fueron nuevamente pesados para completar el análisis.

Cálculo:

$$\% \text{ cenizas} = \frac{c3 - c1}{c2 - c1} \times 100 \text{ Ec.11}$$

Donde:

$c1$ = masa del crisol en gramos

$c2$ = masa del crisol con la muestra en gramos

$c3$ = masa del crisol con las cenizas en gramos

Promediar los valores obtenidos y expresar el resultado con un decimal

3.4.5. Fase 3 Determinación del análisis de perfil viscoelástico de las masas los tratamientos desarrollados de la pasta tipo fettuccini

Para evaluar el comportamiento viscoelástico de las masas obtenidas del mejor tratamiento formulado de pasta tipo fettuccini, se emplearon dos equipos: el reómetro y el Mixolab 2. Ambos instrumentos permiten determinar las propiedades reológicas fundamentales que influyen en la calidad del producto final.

- **Análisis con Reómetro**

El análisis viscoelástico fue realizado mediante un reómetro rotacional, que permite determinar las propiedades viscoelásticas dinámicas bajo condiciones controladas de deformación. El procedimiento seguido fue el siguiente:

Preparación de la muestra: Se tomó una porción representativa de masa de cada tratamiento, la cual fue equilibrada a temperatura ambiente durante 15 minutos antes de la medición.

Tipo de geometría: Se utilizó una geometría de plato paralelo (diámetro 50 mm, espacio 1 mm).

Ensayo de barrido de frecuencia: Se realizó un barrido de frecuencia entre 0.1 a 100 rads/s a una deformación constante dentro del rango lineal viscoelástico (determinado previamente).

Temperatura de análisis: 25 °C.

El reómetro permite obtener directamente los valores de viscosidad aparente, esfuerzo cortante y velocidad de corte. Sin embargo, para una correcta interpretación de estos resultados, es indispensable comprender la definición de cada parámetro y las ecuaciones matemáticas que los fundamentan. Por ello, se presentan a continuación las siguientes consideraciones:

- **Esfuerzo de corte**

El esfuerzo de corte es la fuerza que se aplica por unidad de área en dirección paralela a una superficie. Esta fuerza provoca la deformación de un fluido, permitiendo su flujo o cambio de forma. Es un parámetro clave en la reología, ya que mide la resistencia interna del fluido a la deformación bajo una carga externa.

Fórmula:

$$\tau = \frac{F}{A} \text{ Ec. 12}$$

Donde:

τ : esfuerzo de corte (Pa)

F : fuerza paralela aplicada (N)

A : área sobre la cual actúa la fuerza (m²)

- **Tasa de corte**

La tasa de corte, también conocida como velocidad de corte, es la variación de velocidad entre las diferentes capas de un fluido, dividida por la distancia entre ellas. Este parámetro indica cuán rápido se produce la deformación en el fluido cuando se somete a un esfuerzo de corte. Es crucial para caracterizar cómo se comportan los fluidos bajo distintos tipos de esfuerzos.

Fórmula:

$$\dot{\gamma} = \frac{dv}{dy} \text{ Ec. 13}$$

Donde:

$\dot{\gamma}$: tasa de corte (s⁻¹)

dv : cambio de velocidad (m/s)

dy : distancia entre las capas del fluido (m)

- **Viscosidad**

La viscosidad es una propiedad física que mide la resistencia interna de un fluido a fluir. Se define como la relación entre el esfuerzo de corte aplicado y la tasa de corte generada, reflejando cuán difícil es hacer que un fluido fluya bajo la acción de una fuerza. Cuanto mayor sea la viscosidad, mayor será la resistencia al flujo del fluido.

Fórmula:

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \text{ Ec. 14}$$

Donde:

η : viscosidad aparente (Pa·s)

τ : esfuerzo de corte (Pa)

$\dot{\gamma}$: tasa de corte (s⁻¹)

Análisis con Mixolab 2

Se utilizó el Mixolab 2 siguiendo el protocolo estándar descrito en el manual del equipo, el cual permite analizar simultáneamente las propiedades reológicas mecánicas y térmicas de las masas durante el mezclado, calentamiento y enfriamiento. El procedimiento fue el siguiente:

- **Cantidad de muestra:** desde los 45, 50 y 100 gramos de mezcla de harina de trigo y chontaduro.
- **Hidratación:** Ajustada automáticamente por el software del equipo para obtener un torque de 1.1 Nm en la fase inicial.
- **Protocolo utilizado:** "Chopin+".
- **Condiciones del ensayo:**
 - Mezclado a 30 °C por 8 minutos.
 - Calentamiento progresivo hasta 90 °C.
 - Enfriamiento hasta 50 °C.
- **Parámetros obtenidos:**
 - **Absorción de agua (%):** Capacidad de hidratación de la masa.

- **Tiempo de desarrollo (min):** Tiempo necesario para alcanzar la máxima consistencia.
- **Estabilidad (min):** Tiempo en que la masa mantiene su consistencia óptima.
- **Caída de la proteína (C2):** Indica la debilidad proteica con el calentamiento.
- **Gelatinización del almidón (C3):** Máximo pico de viscosidad por gelatinización.
- **Estabilidad térmica del almidón (C4):** Resistencia del almidón gelatinizado al calentamiento.
- **Retrogradación (C5):** Viscosidad al enfriar, relacionada con la firmeza del producto final.

Ambos análisis permitieron caracterizar el comportamiento viscoelástico de la masa, identificando su resistencia, elasticidad, y estabilidad térmica, elementos fundamentales para predecir su comportamiento durante el laminado, cocción y la textura final del producto.

3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el análisis de datos de la presente investigación se empleó el software estadístico RStudio, debido a su capacidad para calcular valores de p de manera rápida y precisa. Este programa permite realizar diversas pruebas estadísticas, como análisis de hipótesis, regresión lineal, análisis de varianza (ANOVA) y la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, entre otras.

Se aplicaron pruebas de normalidad a las variables físico-químicas, microbiológicas, y sensoriales de cuatro tratamientos, observándose que los valores de p son inferiores a 0.05, llevó al rechazo de la hipótesis nula. Ante esta condición, se optó por aplicar la prueba de Kruskal-Wallis para determinar si existían diferencias significativas entre las medianas de los distintos grupos. Posteriormente, se utilizó la prueba de comparación múltiple de Dunn para identificar diferencias específicas entre pares de grupos, también se utilizó la prueba paramétrica ANOVA en las pruebas reológicas se utilizó el software estadístico Python con el fin de analizar la tendencia de cada gráfico en las variables aplicadas.

Prueba de Kruskal-Wallis

La prueba de Kruskal-Wallis es un análisis no paramétrico de varianza unifactorial que permite evaluar si existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de tres o más grupos independientes. Esta prueba no requiere suponer un orden preestablecido entre las k poblaciones de las cuales provienen las muestras. El modelo matemático que sustenta este análisis se expresa de la siguiente manera:

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} - 3(N+1) \quad \text{Ec. 15}$$

Donde:

H es el estadístico de Kruskal-Wallis.

N es el número total de observaciones en todos los grupos combinados (suma de las observaciones de todos los grupos).

k es el número de grupos.

n_i es el número de observaciones en el grupo i .

R_i es la suma de los rangos dentro del grupo i .

Prueba de Dunn

La prueba de comparación múltiple de Dunn es una técnica no paramétrica utilizada después de la prueba de Kruskal-Wallis, cuando esta muestra diferencias significativas entre tres o más grupos. Su función es identificar cuáles pares de grupos difieren entre sí, mediante la comparación de rangos promedio.

Es especialmente útil cuando los datos no cumplen con los supuestos de normalidad o varianzas homogéneas, ya que se basa en rangos y no en valores absolutos.

Fórmula:

$$Z = \frac{R_i - R_j}{\sqrt{\frac{N(N+1)}{12} \left(\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right)}} \quad \text{Ec. 16}$$

Donde:

Z : valor de la estadística de Dunn (se compara con una distribución normal estándar)

R_i, R_j : rangos promedio de los grupos i y j

n_i, n_j : tamaños de muestra de los grupos i y j

N: número total de observaciones en todos los grupos

Diseño experimental

El diseño experimental propuesto para la elaboración de pasta tipo fettuccini con sustitución parcial de harina de trigo por harina de chontaduro incluye cuatro tratamientos, cada uno con tres repeticiones, lo que da un total de 12 unidades experimentales.

En la Tabla 7 se presentan los porcentajes de harina de chontaduro empleados en las formulaciones para la elaboración de pasta tipo fettuccini, las cuales serán evaluadas mediante un diseño experimental completamente aleatorizado.

Tabla 7. Diseño del experimento de la investigación

Tratamiento	Porcentajes de harina a base de chontaduro	Repeticiones	Tamaño de muestra (kg)
0	60 % harina de trigo + 0 % de harina de chontaduro	3	1
1	56.4 % harina de trigo + 6 % harina de chontaduro	3	1
2	52.8 % harina de trigo + 12 % harina de chontaduro	3	1
3	49.2 % harina de trigo + 18 % harina de chontaduro	3	1

Tratamiento 0: testigo o blanco sin harina de chontaduro.

Numero de tratamientos: 4

Numero de repeticiones: 3

Unidades experimentales: 12

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

En este capítulo se exponen los resultados obtenidos durante la investigación titulada "Sustitución de harina de trigo (*Triticum*) por harina de chontaduro (*Bactris gasipaes*) en la elaboración de pasta tipo fettuccini". A continuación, se detallan los resultados correspondientes a cada una de las evaluaciones realizadas.

4.1.1. Rendimiento del chontaduro a harina

La tabla 8 muestra que el rendimiento obtenido fue del 55.52%, considerado óptimo según la materia prima utilizada para la elaboración de harina.

Tabla 8. Rendimiento de harina de chontaduro

Peso Inicial	Peso final	Rendimiento
6.960 kg	3.864 kg	55.52 %

4.1.2. Evaluación fisicoquímica de harina de chontaduro

En la tabla 9 la composición de la harina de chontaduro con los parámetros establecidos para la Norma Técnica Ecuatoriana (INEN 616, 2015) en la harina de trigo, se observa que el contenido de humedad (6.38 %) es inferior al máximo permitido por la norma (14.5 %), lo cual representa una ventaja en términos de estabilidad y vida útil del producto. En cuanto a la ceniza (0.79 %), el valor está dentro del límite permitido (máximo 0.85 % para harinas de extracción alta), lo que indica una buena proporción de minerales. La acidez medida como ácido láctico (0.16 %) se encuentra muy por debajo del valor máximo permitido (0.2 %), lo que sugiere una excelente calidad microbiológica. Por otro lado, el contenido de proteína (5.92 %) es más bajo que el mínimo establecido por la norma para harina de trigo (10.5 %), lo que indica que, si bien la harina de chontaduro puede aportar valor nutricional. Finalmente, presenta (14.09 %) de grasa, superior a lo establecido (2 %) lo que muestra que tiene un alto contenido lipídico como también un mayor valor energético.

Tabla 9. Análisis físicos químicos de la harina de chontaduro (*Bactris gasipaes*)

	Humedad (%)	Ceniza (%)	Acidez (%)	Proteína (%)	Grasa(%)
Harina de chontaduro	6.38 ± 0.02	0.79 ± 0.33	0.16 ± 0.005	5.92 ± 0.09	14.09 ± 0.10

Nota. Los resultados se expresan como valores medios ± la desviación estándar.

4.1.3. Análisis microbiológico de la harina de chontaduro (*Bactris gasipaes*)

En la Tabla 10, la harina analizada no mostró presencia de *Escherichia Coli*, y el recuento de mohos y levaduras fue inferior a 1000 UFC/g. Estos valores cumplen con los límites establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana, que regula los parámetros microbiológicos para harinas, lo que indica una buena calidad microbiológica del producto. Esto sugiere que la harina fue procesada bajo condiciones higiénicas adecuadas, sin contaminación significativa, y es segura para su consumo.

Tabla 10. Análisis microbiológico de la harina de chontaduro (*Bactris gasipaes*).

Parámetros Analizados	Resultado (UFC/g)	Recuento		Norma
		Unidad	Máximo	
Recuento de <i>Escherichia Coli</i>	-	UFC/g	-	NTE INEN
Recuento Mohos y Levaduras	2666	UFC/g	1X10 ⁴	616:2015

4.1.4. Evaluación del comportamiento viscoelástico de las masas obtenidas a partir de los tratamientos formulados para pasta tipo fettuccini

En la figura 4 se presenta el reograma correspondiente al tratamiento 0, en el cual se analiza el comportamiento viscoelástico de masas de pasta tipo fettuccini sin sustitución parcial. En este tratamiento, se evaluaron el esfuerzo de corte y la viscosidad en función de la tasa de corte, el esfuerzo de corte en las tres repeticiones mostró un incremento con el aumento de la tasa de corte, alcanzando un valor máximo, seguido de una disminución notable a tasas de corte más elevadas. Este fenómeno puede explicarse por el comportamiento tixotrópico de las masas de pasta, ya que, según Velásquez-Barreto et al. (2018), durante los ciclos de cizallamiento la estructura interna se rompe progresivamente, especialmente en pastas cocidas y masas similares.

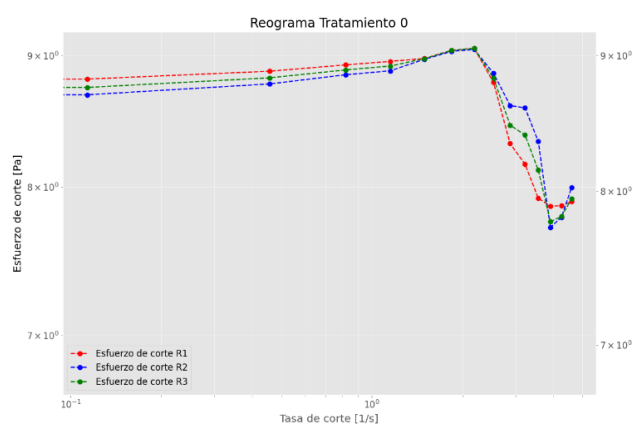


Figura 4. Esfuerzo de corte en función de la tasa de corte.
Nota. La disminución del esfuerzo de corte indica un comportamiento de tipo pseudoplástico a altas tasas de corte.

En la figura 5 se observó que la viscosidad disminuye a medida que aumenta la tasa de corte.

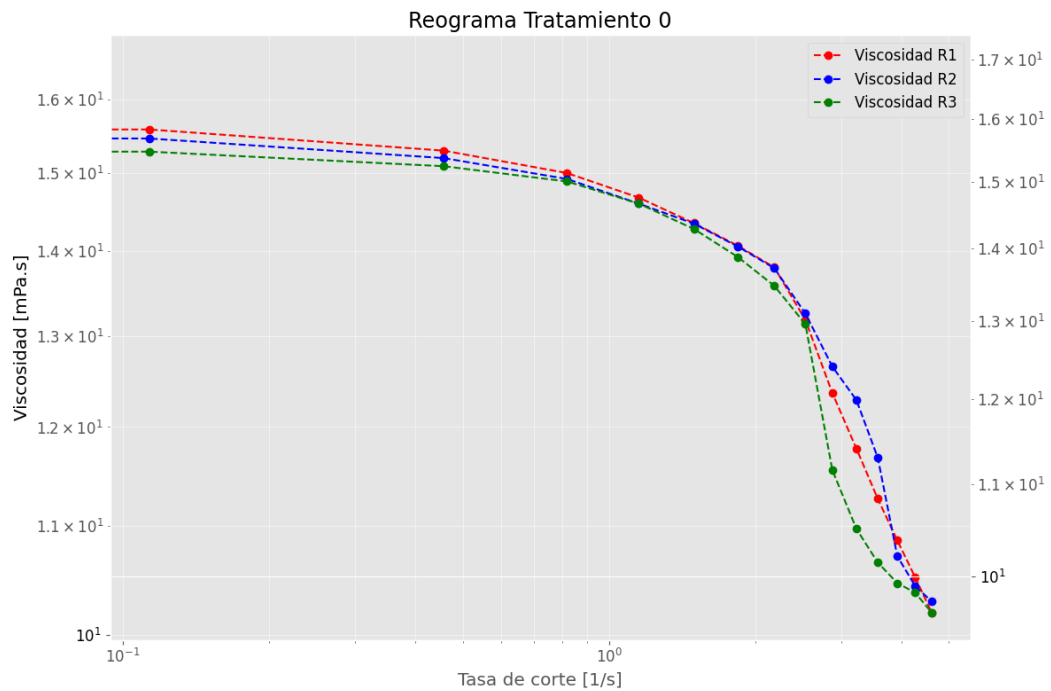


Figura 5. Viscosidad en función de la tasa de corte.

Nota. La disminución progresiva de la viscosidad con el aumento de la tasa de corte confirma un comportamiento pseudoplástico típico de fluidos no newtonianos.

En la tabla 11 el valor de n en las tres repeticiones es menor que 1, lo que indica comportamiento pseudoplástico o de adelgazamiento por cizalladura. Es decir, la viscosidad aparente disminuye con el aumento de la velocidad de corte.

Tabla 11. Tabla de parámetros reológicos del modelo de la ley de la potencia del tratamiento 0

Formula	Repeticón 1	Repeticón 2	Repeticón 3
$\tau = \kappa \cdot \gamma^n$	$\tau = 4184.32 \gamma^{0.0305}$	$\tau = 3888.58 \gamma^{0.082}$	$\tau = 4044.85 \gamma^{0.0571}$

La figura 6 ilustra el reograma correspondiente al tratamiento 1, en el que se evaluó el comportamiento viscoelástico de pastas tipo fettuccini con una sustitución parcial del 6% de harina por harina de chontaduro. En esta evaluación se analizaron tanto la viscosidad como el esfuerzo de corte en función de la tasa de corte aplicada. Por otro lado, el esfuerzo de corte mostró un perfil típicamente pseudoplástico, con un aumento inicial seguido de una estabilización o ligera caída, lo que evidencia un adelgazamiento por corte.

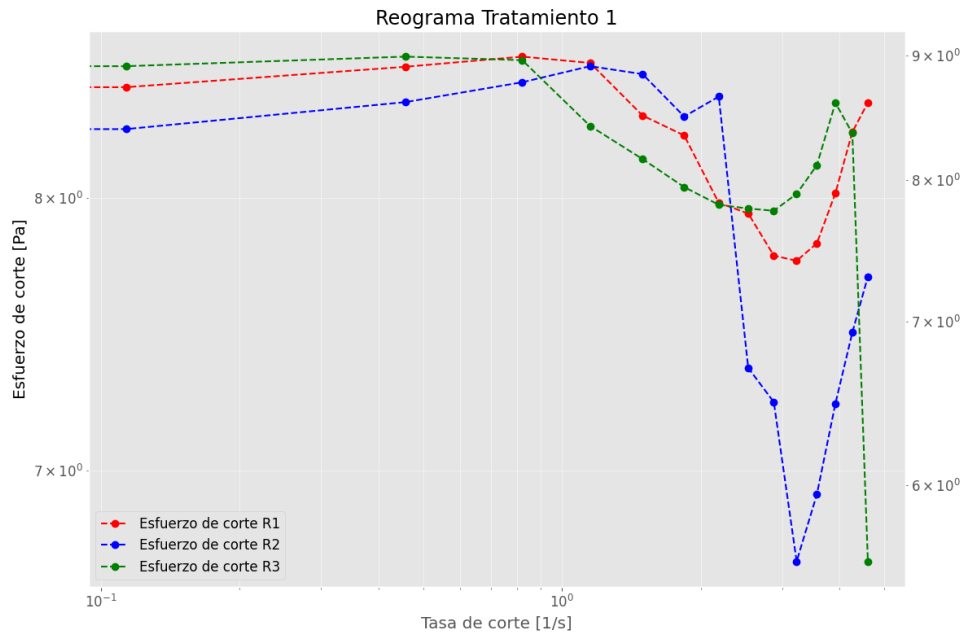


Figura 6. Esfuerzo de corte en función de la tasa de corte.
Nota. La disminución del esfuerzo de corte indica un comportamiento de tipo pseudoplástico a altas tasas de corte.

En la figura 7 se identificó una disminución progresiva de la viscosidad a medida que aumentaba la tasa de corte.

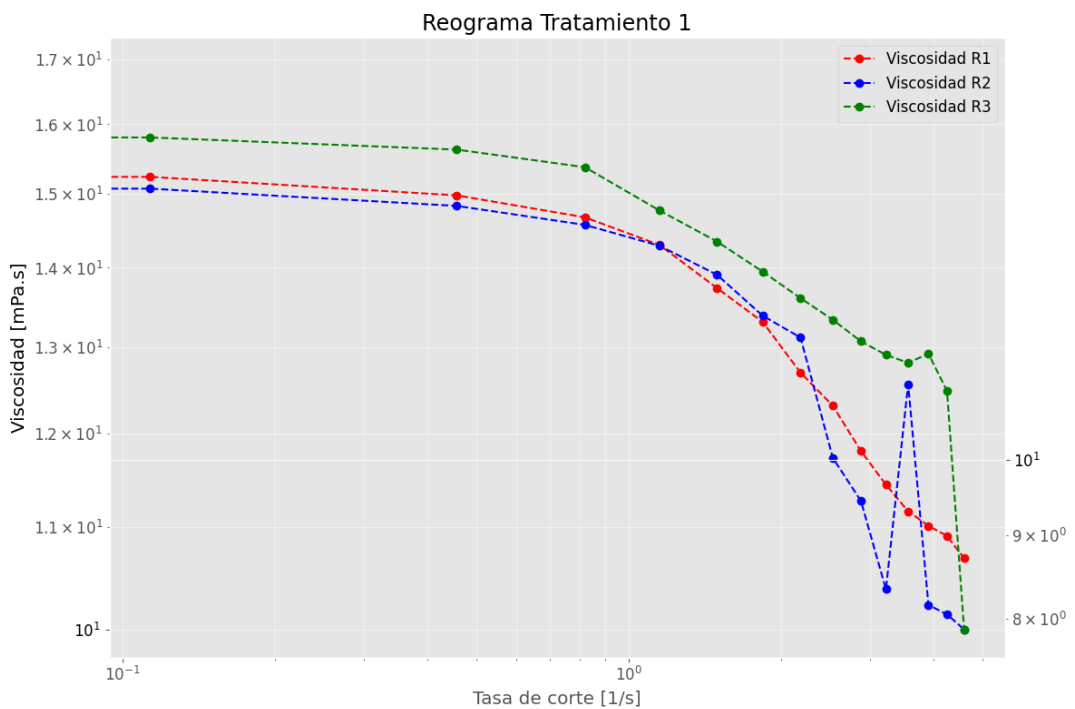


Figura 7. Viscosidad en función de la tasa de corte.
Nota. La disminución progresiva de la viscosidad con el aumento de la tasa de corte confirma un comportamiento pseudoplástico típico de fluidos no newtonianos.

En la tabla 12 el valor de n en las tres repeticiones es menor que 1, lo que indica comportamiento pseudoplástico o de adelgazamiento por cizalladura. Es decir, la viscosidad aparente disminuye con el aumento de la velocidad de corte.

Tabla 12. Tabla de parámetros reológicos del modelo de la ley de la potencia del tratamiento 1

Formula	Repeticion 1	Repeticion 2	Repeticion 3
$\tau = \kappa \cdot \dot{\gamma}^n$	$\tau = 4708.85 \dot{\gamma}^{0.1152}$	$\tau = 5530.86 \dot{\gamma}^{0.3371}$	$\tau = 7737.23 \dot{\gamma}^{0.364}$

La figura 8 muestra el reograma correspondiente al Tratamiento 2, donde se analiza el comportamiento viscoelástico de las masas de pasta tipo fettuccini parcialmente sustituidas con un 12 % de harina de chontaduro. Se evaluaron el esfuerzo de corte y la viscosidad en función de la tasa de corte. En este tratamiento, se evaluaron el esfuerzo de corte y la viscosidad en función de la tasa de corte, mientras que el tratamiento 2 revela que el esfuerzo de corte aumenta de forma progresiva, mientras que a mayores tasas se estabiliza o decrece, indicando una ruptura de la estructura interna del sistema, fenómeno asociado al adelgazamiento por corte.

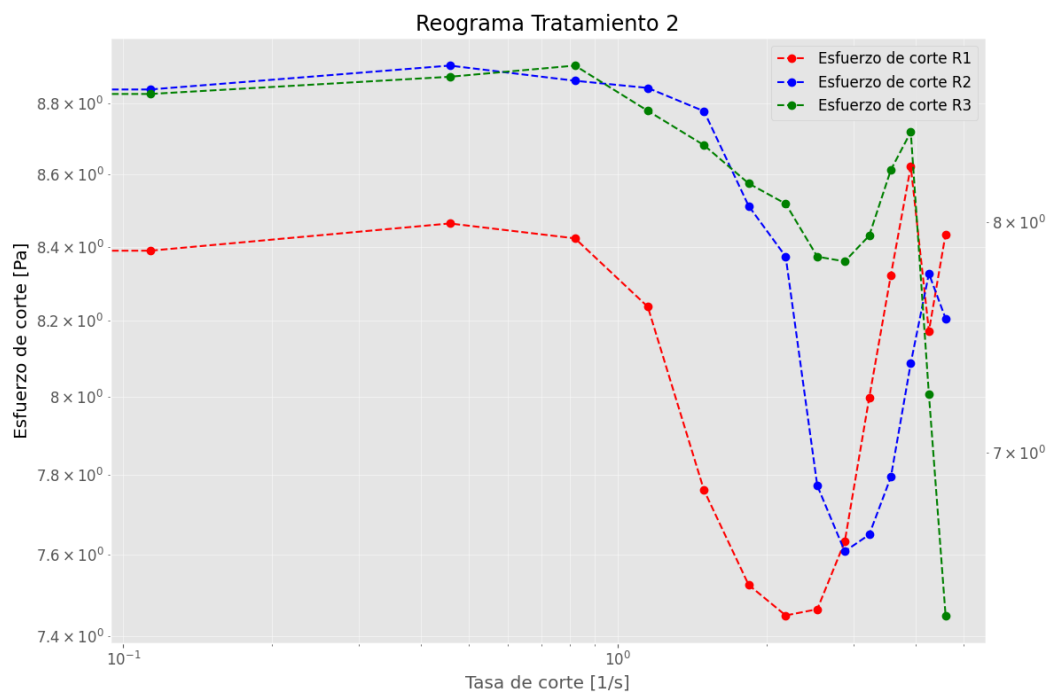


Figura 8. Esfuerzo de corte en función de la tasa de corte

Nota. La disminución del esfuerzo de corte indica un comportamiento de tipo pseudoplástico a altas tasas de corte.

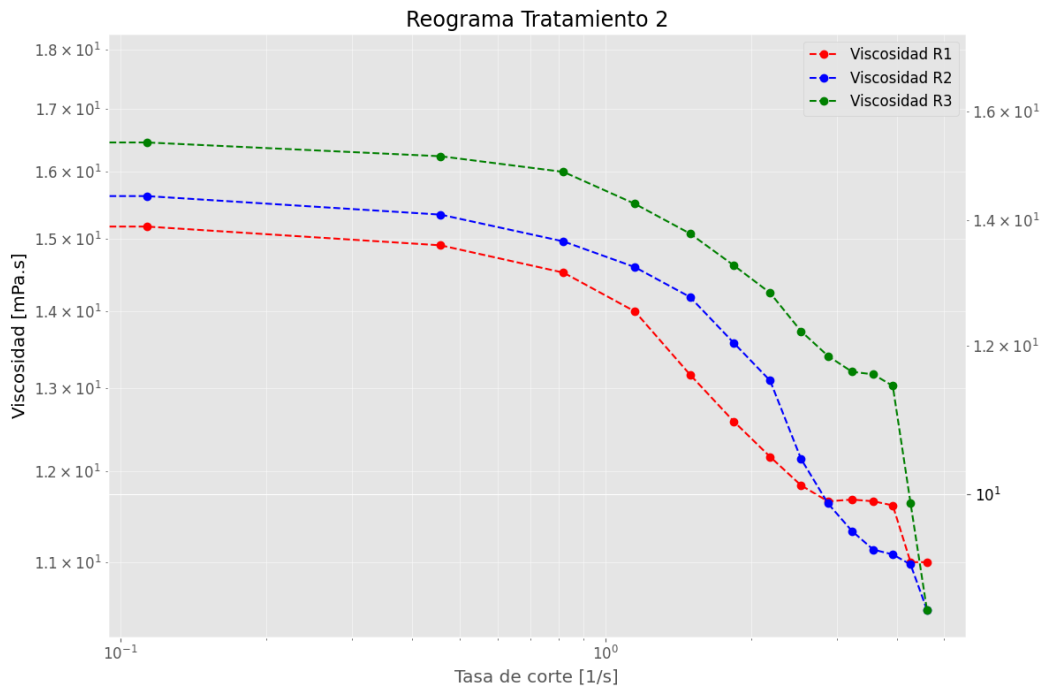


Figura 9. Viscosidad en función de la tasa de corte.

Nota. La disminución progresiva de la viscosidad con el aumento de la tasa de corte confirma un comportamiento pseudoplástico típico de fluidos no newtonianos.

En la tabla 13 el valor de n en las tres repeticiones es menor que 1, lo que indica comportamiento pseudoplástico o de adelgazamiento por cizalladura. Es decir, la viscosidad aparente disminuye con el aumento de la velocidad de corte.

Tabla 13. Tabla de parámetros reológicos del modelo de la ley de la potencia del tratamiento 2

Formula	Repeticion 1	Repeticion 2	Repeticion 3
$\tau = \kappa \cdot \gamma^n$	$\tau = 3004.60 \gamma^{0.0275}$	$\tau = 8897 \gamma^{0.2417}$	$\tau = 7222.81 \gamma^{0.3415}$

La figura 10 presenta el reograma correspondiente al Tratamiento 3, el cual evalúa el comportamiento viscoelástico de masas de pasta tipo fettuccini con un 18% de harina de chontaduro. En este análisis se estudiaron el esfuerzo de corte y la viscosidad en función de la tasa de corte. En cuanto al esfuerzo de corte, se registraron los valores más elevados en la muestra analizada, lo cual indica una mayor resistencia mecánica de la matriz. Este comportamiento sugiere una red estructural más densa y cohesiva, posiblemente relacionada con el mayor contenido de sólidos y las interacciones proteicas favorecidas por la harina de chontaduro. A bajas tasas de corte, el esfuerzo aumentó considerablemente, ratificando un comportamiento pseudoplástico.

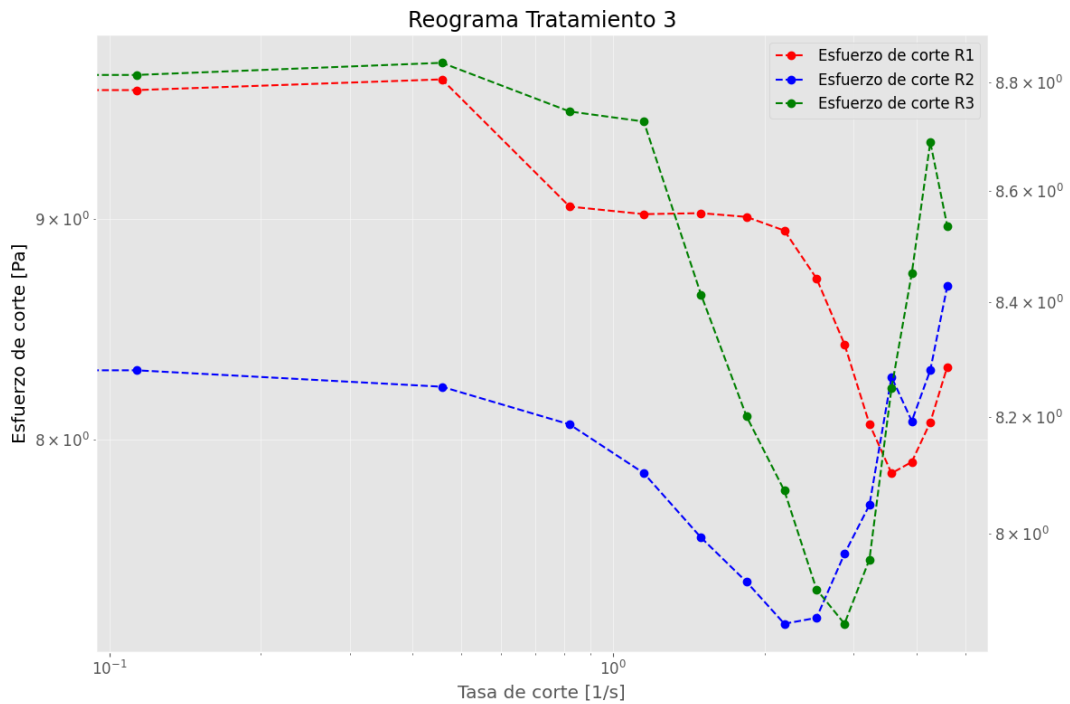


Figura 10. Esfuerzo de corte en función de la tasa de corte.

Nota. La disminución del esfuerzo de corte indica un comportamiento de tipo pseudoplástico a altas tasas de corte.

Se observó una disminución progresiva de la viscosidad con el aumento de la tasa de corte.

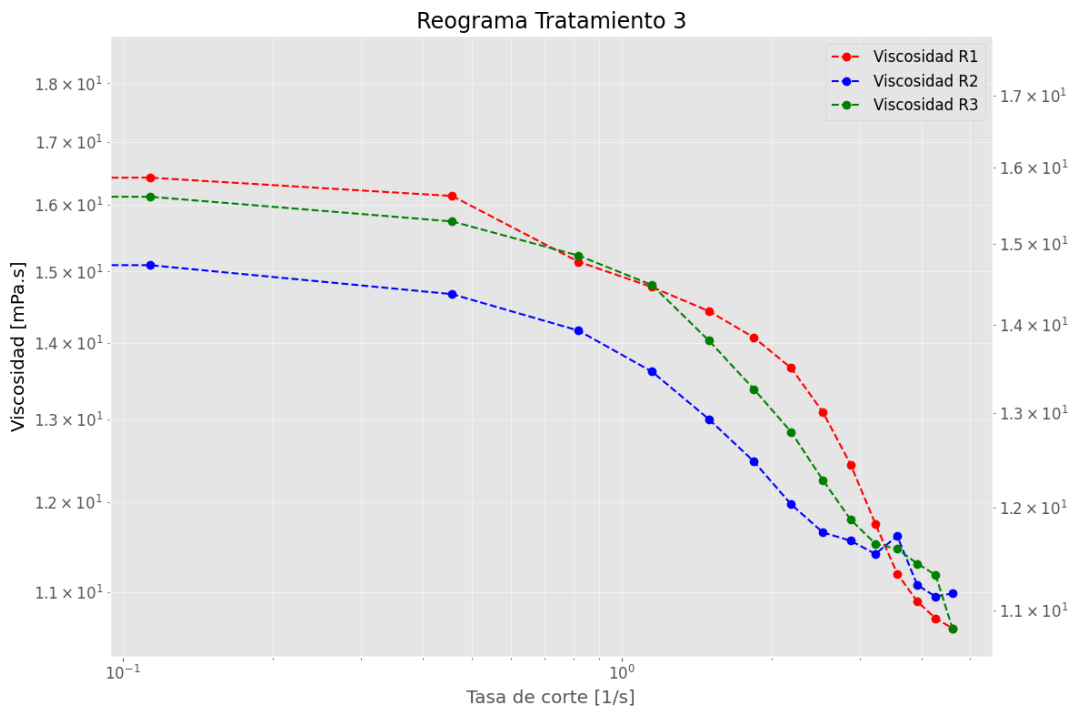


Figura 11. Viscosidad en función de la tasa de corte.

Nota. La disminución progresiva de la viscosidad con el aumento de la tasa de corte confirma un comportamiento pseudoplástico típico de fluidos no newtonianos.

En la tabla 14 el valor de n en las tres repeticiones es menor que 1, lo que indica comportamiento pseudoplástico o de adelgazamiento por cizalladura. Es decir, la viscosidad aparente disminuye con el aumento de la velocidad de corte.

Tabla 14. Tabla de parámetros reológicos del modelo de la ley de la potencia del tratamiento 3

Formula	Repeticón 1	Repeticón 2	Repeticón 3
$\tau = \kappa \cdot \dot{\gamma}^n$	$\tau = 14788.42 \dot{\gamma}^{0.3837}$	$\tau = 6684.85 \dot{\gamma}^{0.0914}$	$\tau = 5485.15 \dot{\gamma}^{0.0935}$

- Índice de comportamiento (n)

En la tabla 15 se muestra que el p-valor para el supuesto de normalidad es de 0.9318 es superior al 0.05, indica que los datos siguen una distribución normal, por lo tanto, cumple con el supuesto, mientras que el p-valor de 0.7883 es superior al 0.05, es decir, cumple con el supuesto de homocedasticidad, por lo tanto, los datos se consideran paramétricos, se realiza un análisis de varianza y una prueba de Tukey para identificar si existe diferencia significativa entre los tratamientos.

Tabla 15. Prueba de normalidad para el aspecto índice de comportamiento.

Supuestos	Método	Valor	Indicador	Cumplimiento
Normalidad	Shapiro-Wilk normality test	0.9318	P-valor	Sí
Homocedasticidad	Levene's	0.7883	P-valor	Sí

La tabla 16 muestra el análisis de varianza (ANOVA) para evaluar el efecto de los tratamientos en el aspecto estabilidad, se observa que los tratamientos no presentan diferencias significativas (P-valor = 0.3311), por lo tanto, se realiza la prueba de Tukey.

Tabla 16. Análisis de varianza aplicado en el parámetro índice de comportamiento.

Fuente	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Prueba F	P-valor
Tratamientos	3	0.0731	0.0244		
Error	8	0.1466	0.0183	1.3295	0.3311
Total	11	4.686			
C.V. (%)					0.0571

La tabla 17 muestra el índice de comportamiento (n) de masa para cuatro tratamientos (T0, T1, T2 y T3). Los valores obtenidos varían desde 0.27 en T0 hasta 0.06 en T3, lo que indica una disminución progresiva del índice conforme se avanza en los tratamientos. Sin embargo, todos los tratamientos pertenecen al mismo grupo estadístico (A), lo que sugiere que no existen diferencias significativas entre ellos en cuanto a este parámetro.

Tabla 17. Prueba de Tukey para el aspecto índice de comportamiento (n)

Tratamientos	Índice de comportamiento (n)	Grupos
T0	0.27	A
T1	0.20	A
T2	0.19	A
T3	0.06	A

En la figura 12 se observa que el T0 se ubica como el mejor tratamiento en el parámetro Índice de comportamiento.

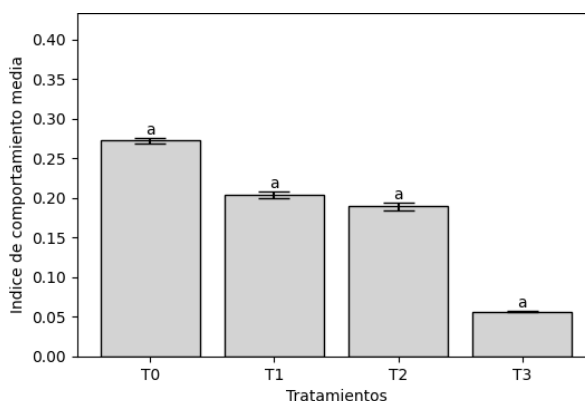


Figura 12. Diagrama de barras en el aspecto índice de comportamiento.

En la tabla 18 indica las medias del valor de k en todos los tratamientos, para la cual el valor de tratamiento 3 nos refleja un dato elevado, es decir un tratamiento eficaz en relación con la resistencia y viscosidad de la pasta.

Tabla 18. Media del valor de k en referencia a los cuatro tratamientos analizados

Tratamiento 0	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3
K=8986.14	K= 6374.80	K=4761.52	K= 4039.25

- Índice de consistencia

En la tabla 19 se muestra que el p-valor para el supuesto de normalidad es de 0.1005 es superior al 0.05, indica que los datos siguen una distribución normal, por lo tanto, cumple con el supuesto, mientras que el p-valor de 0.5056 es superior al 0.05, es decir, cumple con el supuesto de homocedasticidad, por lo tanto, los datos se consideran paramétricos, se realiza un análisis de varianza y una prueba de Tukey para identificar si existe diferencia significativa entre los tratamientos.

Tabla 19. Prueba de normalidad para el aspecto índice de consistencia.

Supuestos	Método	Valor	Indicador	Cumplimiento
Normalidad	Shapiro-Wilk normality test	0.1005	P-valor	Sí
Homocedasticidad	Levene's	0.5056	P-valor	Sí

La tabla 20 muestra el análisis de varianza (ANOVA) para evaluar el efecto de los tratamientos en el aspecto estabilidad, se observa que los tratamientos no presentan diferencias significativas (P-valor = 0.2741), por lo tanto, se realiza la prueba de Tukey.

Tabla 20. Análisis de varianza aplicado en el parámetro índice de consistencia.

Fuente	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Prueba F	P-valor
Tratamientos	3	2.214987e+08	7.383289e+07		
Error	8	3.798167e+08	4.747709e+07	1.555	0.2741
Total	11	4.686			
C.V. (%)					0.5056

La tabla 21 presenta los valores del índice de comportamiento (n) para cuatro tratamientos (T0, T1, T2 y T3). Se observa una disminución progresiva del índice desde T0 (15388.47) hasta T3 (4039.35), lo cual podría reflejar cambios en las propiedades reológicas de la masa. A pesar de esta tendencia descendente, todos los tratamientos pertenecen al mismo grupo estadístico (A), lo que indica que no hay diferencias estadísticamente significativas entre ellos para este parámetro.

Tabla 21. Prueba de Tukey para el aspecto índice de comportamiento (n).

Tratamientos	Índice de comportamiento (n)	Grupos
T0	15388.47	A
T1	8986.140	A
T2	5992.31	A
T3	4039.35	A

En la figura 13 se observa que el T0 se ubica como el mejor tratamiento en el parámetro Índice de consistencia.

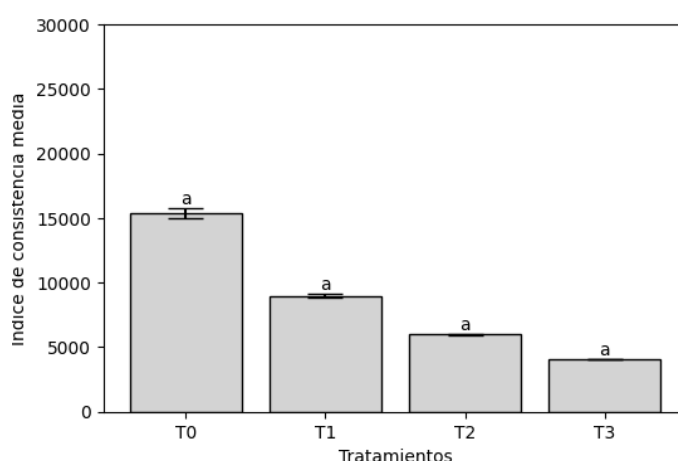


Figura 13. Diagrama de barras para el aspecto índice de consistencia

4.1.5. Análisis funcional de las formulaciones de pasta tipo fettuccini con sustitución parcial de harina convencional por harina de chontaduro (*Bactris gasipaes*)

La tabla 22 presenta el análisis de las propiedades reológicas de las masas evaluadas, se observó que la absorción de agua aumentó progresivamente desde el tratamiento control (T0: 54.5 %) hasta T3 (58.8 %), lo cual indica una mayor capacidad de retención de agua posiblemente atribuida a la incorporación de componentes funcionales. No obstante, la estabilidad de la masa disminuyó con los tratamientos (T0: 8.60 min a T3: 5.27 min), evidenciando una posible interferencia en la formación de la red de gluten. El Par C1 se mantuvo relativamente constante entre tratamientos (1.10–1.13), mientras que el tiempo C2 mostró un incremento (de 15.96 a 16.95 min), lo que sugiere un desarrollo más prolongado de la red proteica. Por otro lado, el Par C2, indicador de la fuerza del gluten, disminuyó significativamente desde 0.46 en T0 hasta 0.22 en T3, reflejando un debilitamiento estructural. Finalmente, la temperatura C2 se incrementó progresivamente (T0: 55.77 °C a T3: 60.23 °C), lo que indica que las masas tratadas requieren mayor energía térmica para alcanzar su máximo desarrollo. Estos resultados evidencian un efecto combinado de los tratamientos sobre la hidratación, el desarrollo y la estabilidad de las masas.

Tabla 22. Análisis funcional de los tratamientos.

Tratamientos	Absorción de agua (%)	Estabilidad (min)	Par (Nm) C1	Tiempo (min) C2	Par (Nm) C2	Temperatura (°C) C2
T0	54.5	8.60 ± 0.35	1.13 ± 0.01	15.96 ± 0.46	0.46 ± 0.003	55.77 ± 0.67
T1	56.4	6.93 ± 0.15	1.12 ± 0.03	16.17 ± 0.21	0.33 ± 0.005	56.53 ± 0.74
T2	57.6	5.43 ± 0.06	1.11 ± 0.02	16.40 ± 0.24	0.26 ± 0.01	58.73 ± 0.32
T3	58.8	5.23 ± 0.06	1.10 ± 0.001	17.06 ± 0.26	0.22 ± 0.013	60.46 ± 0.38

4.1.6. Análisis del comportamiento viscoelástico de las masas de fettuccini, evaluadas con Mixolab en diferentes formulaciones.

Las Figuras 14, 15 y 16 muestran los reogramas obtenidos durante el análisis del tratamiento 0 mediante el equipo Mixolab. En ellos se observa la evolución del par (Nm) y la temperatura de la masa (°C) en función del tiempo (min), lo que permite evaluar de manera integral el comportamiento reológico y térmico de la masa a lo largo del proceso.

El análisis reológico de la mezcla del tratamiento (T0) para la elaboración de pasta tipo fettuccini revela un comportamiento influenciado notablemente por la inclusión del 60 % de harina de trigo. La capacidad de absorción de agua moderada (54.5 %)

sugiere una adecuada hidratación inicial, aunque posiblemente inferior a la de una harina de trigo pura.

La resistencia al amasado (C1: 1.115 Nm) es baja, lo que indica una masa con poca capacidad para formar una red de gluten fuerte, probablemente debido al bajo contenido proteico de la mezcla. pero la estabilidad limitada (8.6 min) y el marcado debilitamiento del gluten (C2: 0.461 Nm) indican una red proteica poco robusta, lo cual compromete la elasticidad y cohesión de la masa durante el procesamiento.

En cuanto a la gelatinización del almidón (C3: 1.992 Nm) y la actividad enzimática (C4: 1.984 Nm), los valores reflejan una textura inicial adecuada, pero con riesgo de pérdida de firmeza tras la cocción, debido a la acción de las amilasas. Finalmente, la retrogradación del almidón (C5: 2.827 Nm) sugiere una buena capacidad del producto para ganar firmeza tras el enfriamiento, lo cual puede resultar beneficioso para aplicaciones como pastas frías o precocinadas. Paralelamente, la temperatura de la masa muestra una tendencia ascendente con el tiempo, alcanzando un pico antes de estabilizarse, lo cual indica la transferencia de calor generada por la fricción durante el amasado.

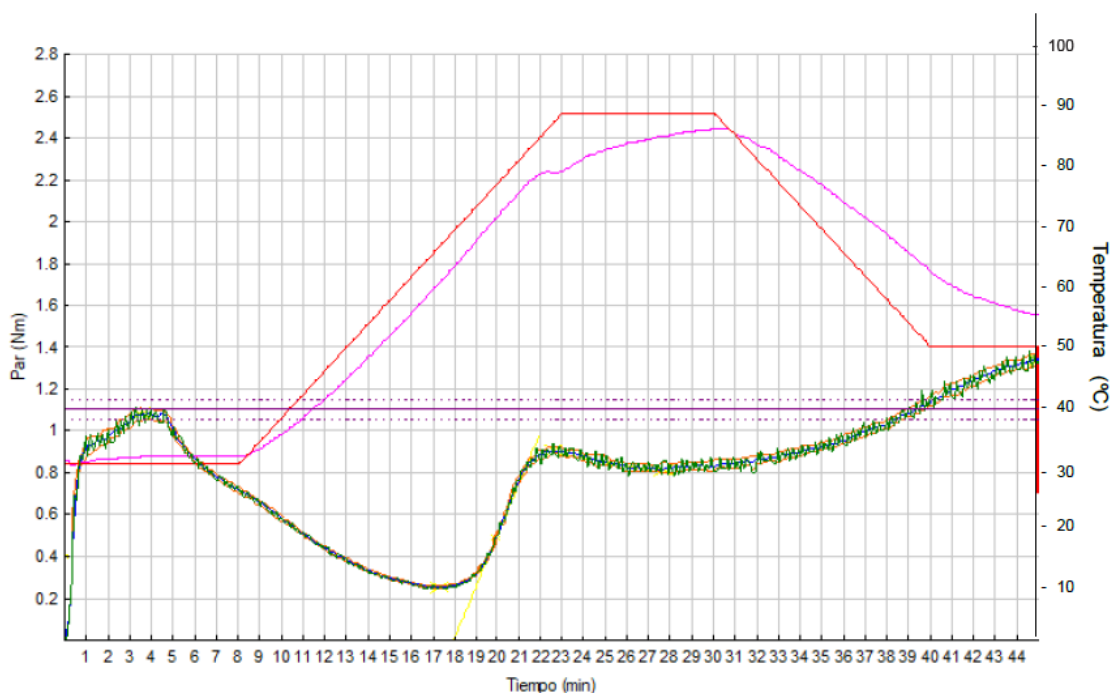


Figura 14. Reograma de par y temperatura en función del tiempo del tratamiento 0 Repetición 1 con el 0% de sustitución de harina de chontaduro.

Nota. El incremento del par a partir del minuto 20 indica el inicio de una transición estructural, posiblemente asociada a gelatinización o aumento de la viscosidad inducido por el calentamiento.

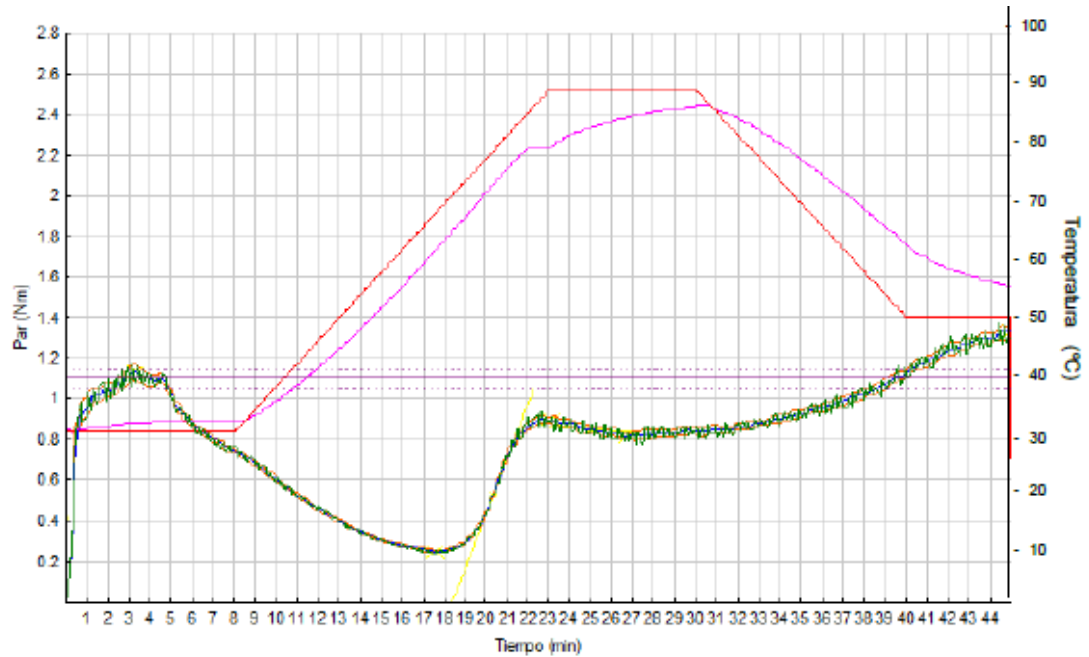


Figura 15. Reograma de par y temperatura en función del tiempo del tratamiento 0 Repetición 2 con el 0 % de sustitución de harina de chontaduro.

Nota. El incremento del par a partir del minuto 20 indica el inicio de una transición estructural, posiblemente asociada a gelatinización o aumento de la viscosidad inducido por el calentamiento.

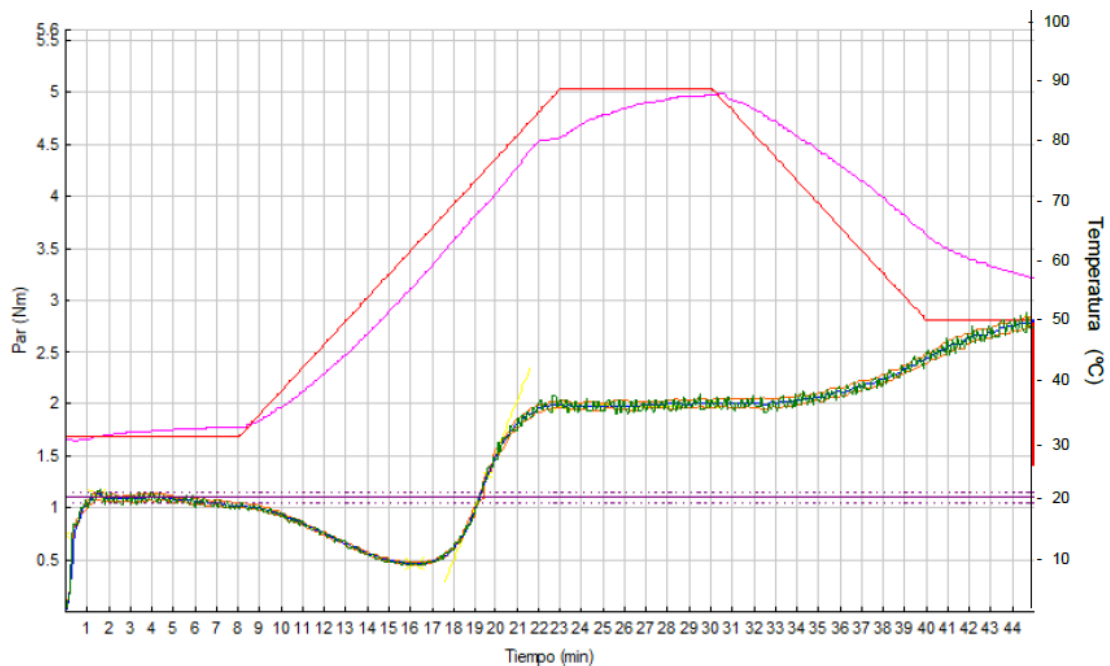


Figura 16. Reograma de par y temperatura en función del tiempo del tratamiento 0 Repetición 3 con el 0 % de sustitución de harina de chontaduro.

Nota. El incremento del par a partir del minuto 20 indica el inicio de una transición estructural, posiblemente asociada a gelatinización o aumento de la viscosidad inducido por el calentamiento.

En la tabla 23 se observan los valores promedio, desviación estándar y los respectivos p-valores obtenidos para cinco parámetros evaluados en distintos tratamientos. La

estabilidad mostró una media de 8.60 minutos con una desviación estándar de 0.35, y un p-valor de 0.0148, lo que indica una diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos ($p < 0.05$).

Tabla 23. Análisis de varianza para el tratamiento 0

Tratamientos	Media	Desviación estándar	P-valor
Estabilidad	8.60	0.35	0.0148
Par C1	1.13	0.01	0.5082
Tiempo C2	15.96	0.46	0.0572
Par C2	0.46	0.03	0.1560
Temperatura C2	55.77	0.67	0.0216

Las Figuras 17, 18 y 19 muestran los reogramas obtenidos durante el análisis del tratamiento 1 mediante el equipo Mixolab. En ellos se observa la evolución del par (Nm) y la temperatura de la masa (°C) en función del tiempo (min), lo que permite evaluar de manera integral el comportamiento reológico y térmico de la masa a lo largo del proceso.

El análisis reológico de la mezcla del tratamiento T1 en la elaboración de pasta tipo fettuccini muestra características influenciadas por la inclusión del 6 % de harina de chontaduro. La capacidad de absorción de agua (56.4 %) indica una hidratación moderadamente baja, lo cual puede dificultar la formación de una masa cohesiva y afectar su comportamiento durante el amasado y la cocción, en comparación con formulaciones basadas exclusivamente en trigo.

El valor de (C1: 1.144 Nm) refleja una masa con baja resistencia inicial al amasado, lo que evidencia una red de gluten poco desarrollada, con capacidad limitada para resistir el esfuerzo mecánico. La estabilidad de 6.8 minutos confirma que esta masa posee una estructura débil y poca tolerancia al mezclado prolongado, lo que puede traducirse en una menor elasticidad y cohesión durante el laminado y corte de la pasta.

Esta debilidad estructural se confirma con un valor reducido en (C2: 0.331 Nm), que representa un importante debilitamiento de la masa bajo condiciones térmicas, lo cual compromete la elasticidad y cohesión necesarias para el procesado industrial de la pasta.

La gelatinización del almidón (C3: 1.394 Nm) es moderada, lo que sugiere una textura aceptable en la pasta cocida, mientras que la actividad enzimática (C4: 1.472 Nm) indica una acción considerable de las amilasas, que podría provocar una pérdida de firmeza tras la cocción por descomposición del almidón.

Por último, la retrogradación del almidón (C5: 2.359 Nm) muestra una tendencia a la recristalización tras la cocción, lo cual favorece el aumento de firmeza en el producto una vez frío, haciendo que esta mezcla sea potencialmente útil en la producción de pastas frías o precocinadas. De forma paralela, la temperatura de la masa aumenta de manera constante hasta aproximadamente 30 minutos, momento en el cual comienza a descender levemente.

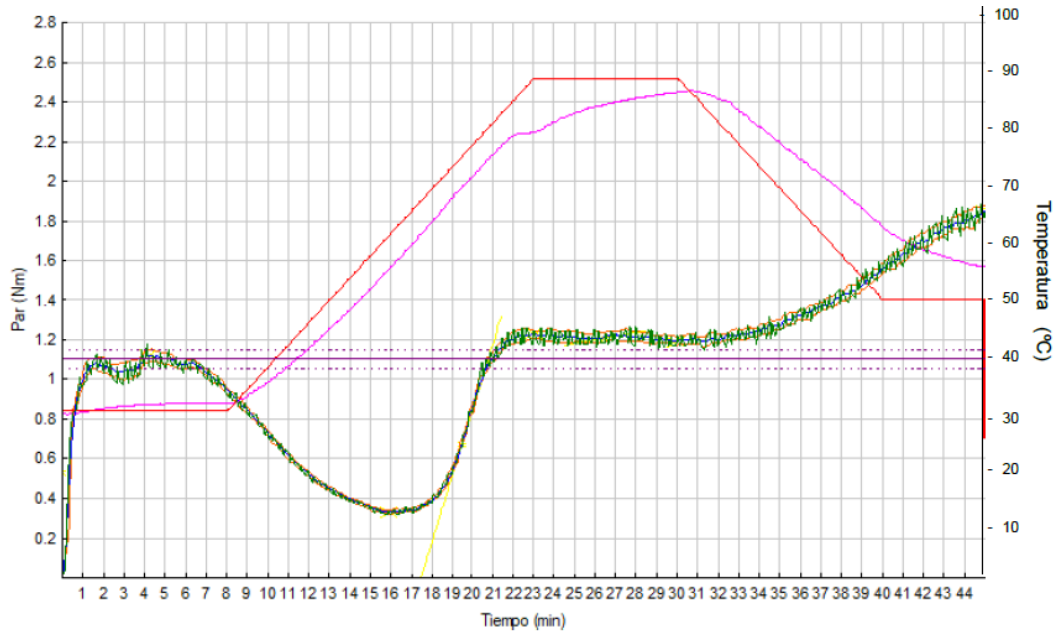


Figura 17. Reograma de par y temperatura en función del tiempo del tratamiento 1 Repetición 1 con el 6 % de sustitución de harina de chontaduro.

Nota. El incremento del par a partir del minuto 20 indica el inicio de una transición estructural, posiblemente asociada a gelatinización o aumento de la viscosidad inducido por el calentamiento.

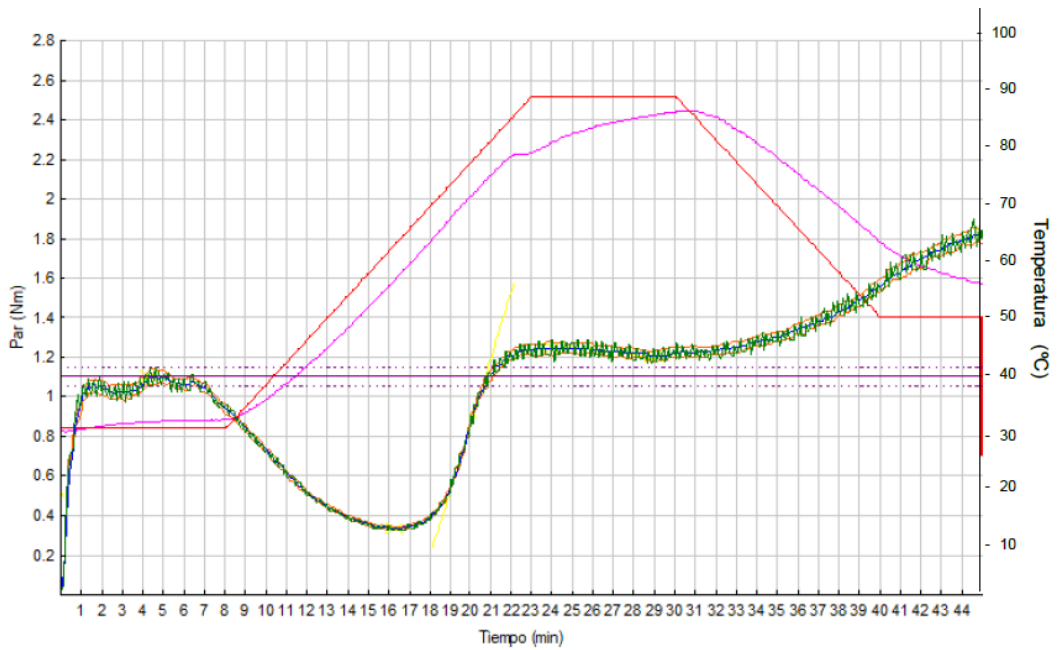


Figura 18. Reograma de par y temperatura en función del tiempo del tratamiento 1 Repetición 2 con el 6 % de sustitución de harina de chontaduro.

Nota. El incremento del par a partir del minuto 20 indica el inicio de una transición estructural, posiblemente asociada a gelatinización o aumento de la viscosidad inducido por el calentamiento.

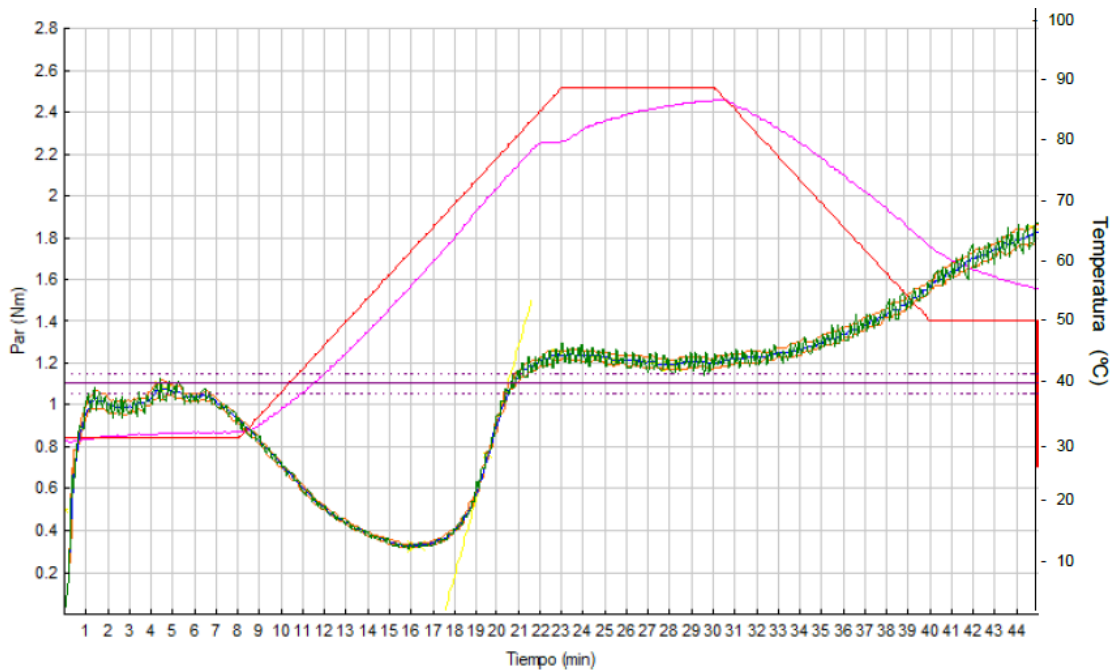


Figura 19. Reograma de par y temperatura en función del tiempo del tratamiento 1 Repetición 3 con el 6 % de sustitución de harina de chontaduro.

Nota. El incremento del par a partir del minuto 20 indica el inicio de una transición estructural, posiblemente asociada a gelatinización o aumento de la viscosidad inducido por el calentamiento.

En la tabla 24 se observan los valores promedio, desviación estándar y los respectivos p-valores obtenidos para cinco parámetros evaluados en distintos tratamientos. La

estabilidad mostró una media de 6.93 minutos con una desviación estándar de 0.15, y un p-valor de 0.0148, lo que indica una diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos ($p < 0.05$).

Tabla 24. Análisis de varianza para el tratamiento 1

Tratamientos	Media	Desviación estándar	P-valor
Estabilidad	6.93	0.15	0.0148
Par C1	1.12	0.03	0.5082
Tiempo C2	16.17	0.21	0.0572
Par C2	0.33	0.005	0.156
Temperatura C2	56.53	0.74	0.0216

Las Figuras 20, 21 y 22 muestran los reogramas obtenidos durante el análisis del tratamiento 2 mediante el equipo Mixolab. En ellos se observa la evolución del par (Nm) y la temperatura de la masa (°C) en función del tiempo (min), evaluando de manera integral el comportamiento de la masa a lo largo del proceso. El análisis reológico de la mezcla del tratamiento T2 utilizada en la elaboración de pasta tipo fettuccini muestra propiedades directamente influenciadas por la inclusión del 12% de harina de chontaduro. La absorción de agua (57.6 %) sugiere una hidratación moderada, suficiente para mantener una cohesión aceptable de la masa, aunque inferior a lo esperado en formulaciones tradicionales con harina de trigo. Esta absorción permite una hidratación funcional durante el amasado, pero podría ser insuficiente para desarrollar una red de gluten robusta.

El valor de C1: 1.116 Nm refleja una resistencia inicial baja al amasado, indicando una red proteica poco desarrollada y una estabilidad limitada (5.40 min) indica que la masa pierde rápidamente su integridad bajo mezclado prolongado, dificultando el procesado mecánico como laminado o corte. Esta debilidad se intensifica con el valor de C2: 0.259 Nm, que evidencia un marcado debilitamiento de la masa al aplicarse calor, lo que compromete la estructura de la pasta, haciéndola más frágil y con menor capacidad de mantener su forma durante la cocción.

La gelatinización del almidón (C3: 1.080 Nm) es reducida, lo que sugiere que la estructura del almidón no se desarrolla plenamente, afectando la textura final del producto. Por otro lado, la actividad enzimática (C4: 1.023 Nm), aunque moderada, indica que las amilasas están activas, lo que puede acelerar la degradación del almidón y disminuir la firmeza de la pasta cocida.

En paralelo, la temperatura de la masa aumenta consistentemente con un pico cercano a los 30 min, favoreciendo posibles cambios fisicoquímicos como la

gelatinización parcial del almidón y la activación de interacciones proteína-fibra. La evolución del par indica una adaptación de la masa al proceso mecánico, influida por la mayor cantidad de compuestos funcionales del chontaduro, que afectan la cohesión interna y resistencia de la masa durante el amasado.

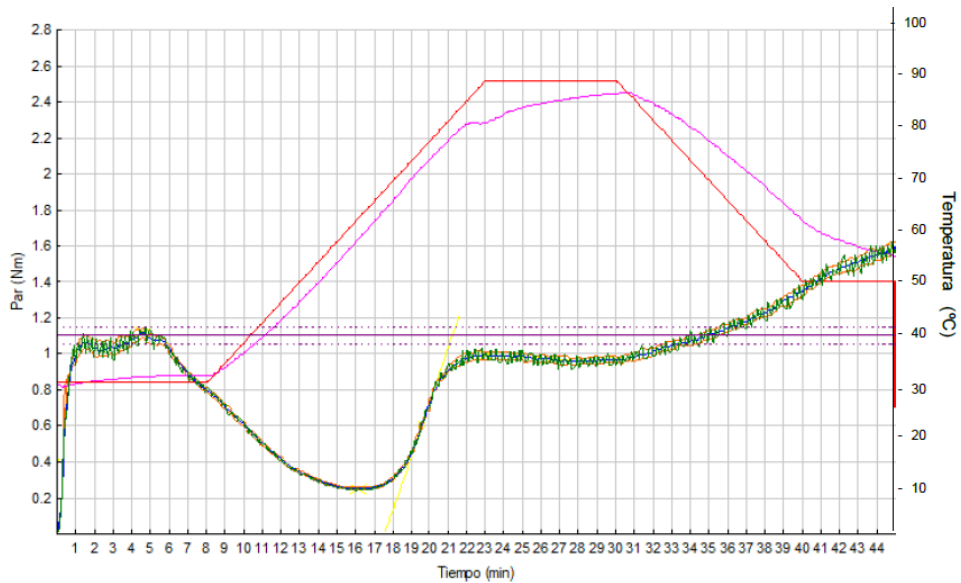


Figura 20. Reograma de par y temperatura en función del tiempo del tratamiento 2 Repetición 1 con el 12 % de sustitución de harina de chontaduro.

Nota. El incremento del par a partir del minuto 20 indica el inicio de una transición estructural, posiblemente asociada a gelatinización o aumento de la viscosidad inducido por el calentamiento.

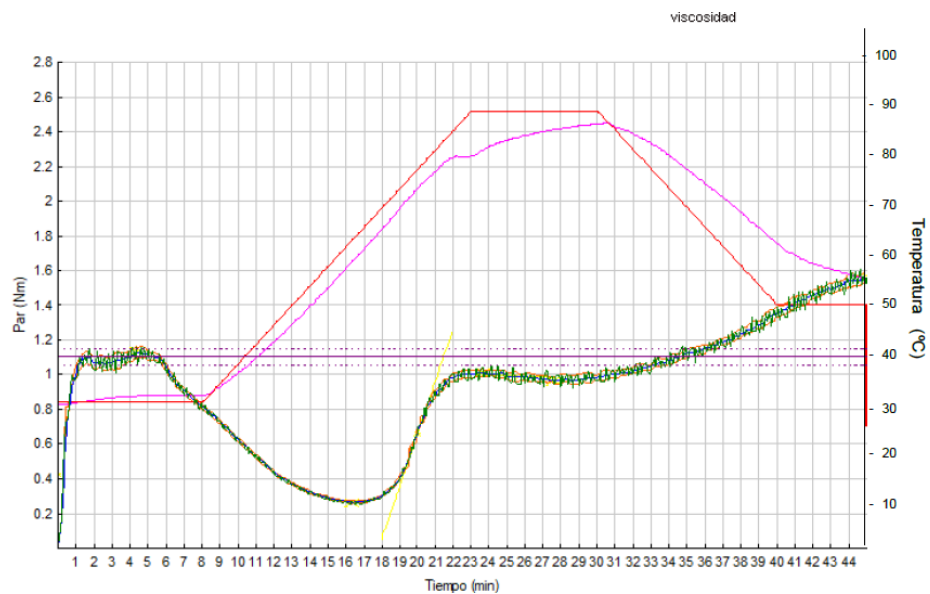


Figura 21. Reograma de par y temperatura en función del tiempo del tratamiento 2 Repetición 2 con el 12 % de sustitución de harina de chontaduro.

Nota. El incremento del par a partir del minuto 20 indica el inicio de una transición estructural, posiblemente asociada a gelatinización o aumento de la viscosidad inducido por el calentamiento.

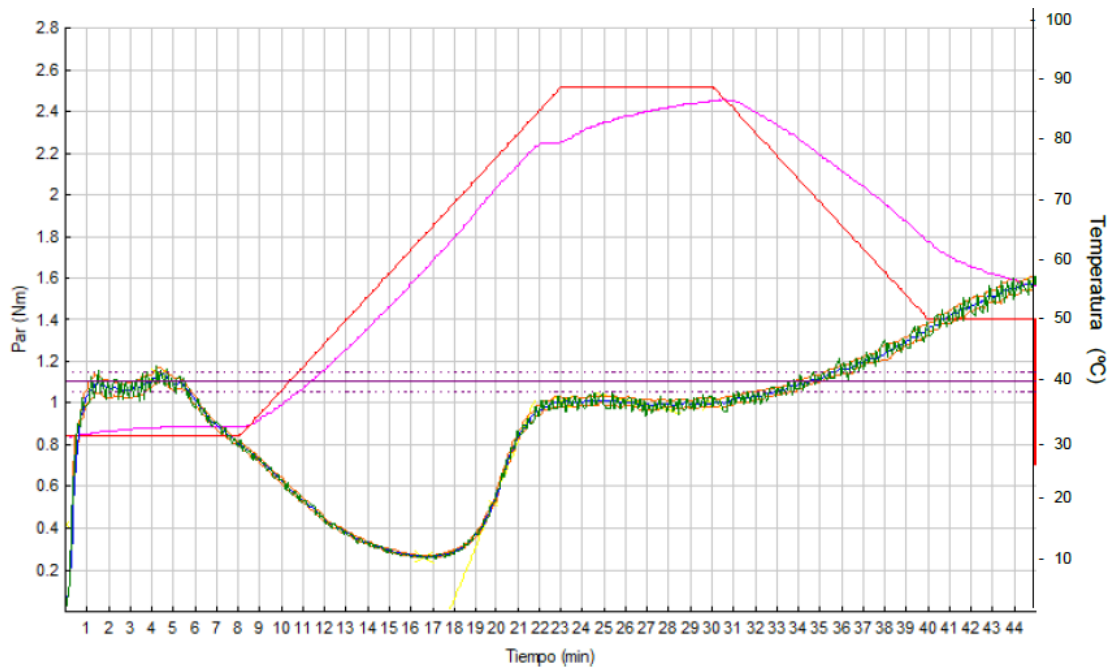


Figura 22. Reograma de par y temperatura en función del tiempo del tratamiento 2 Repetición 3 con el 12 % de sustitución de harina de chontaduro.

Nota. El incremento del par a partir del minuto 20 indica el inicio de una transición estructural, posiblemente asociada a gelatinización o aumento de la viscosidad inducido por el calentamiento.

En la tabla 25 se observan los valores promedio, desviación estándar y los respectivos p-valores obtenidos para cinco parámetros evaluados en distintos tratamientos. La estabilidad mostró una media de 5.43 minutos con una desviación estándar de 0.06, y un p-valor de 0.0148, lo que indica una diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos ($p < 0.05$).

Tabla 25. Análisis de varianza para el tratamiento 2

Tratamientos	Media	Desviación estándar	P-valor
Estabilidad	5.43	0.06	0.0148
Par C1	1.11	0.02	0.5082
Tiempo C2	16.40	0.24	0.0572
Par C2	0.26	0.01	0.1560
Temperatura C2	58.73	0.32	0.0216

Las Figuras 23, 24 y 25 muestran los reogramas obtenidos durante el análisis del tratamiento 3 mediante el equipo Mixolab. En ellos se observa la evolución del par (Nm) y la temperatura de la masa (°C) en función del tiempo (min), lo que permite evaluar de manera integral el comportamiento reológico y térmico de la masa a lo largo del proceso.

El análisis reológico de la mezcla del tratamiento T3 destinada a la elaboración de pasta tipo fettuccini revela propiedades notablemente mejoradas por la inclusión del 18 % de harina de chontaduro. La absorción de agua de 58.8 % indica una buena

capacidad de hidratación, posiblemente atribuida al contenido de almidón de la chonta, lo cual favorece la cohesión de la masa y mejora la trabajabilidad durante el amasado.

El valor de (C1: 1.117 Nm) refleja una masa con resistencia inicial baja al amasado, lo que sugiere una red estructural débil desde el inicio del procesamiento. Además, la estabilidad de 5.20 minutos demuestra una baja capacidad para mantener la estructura reológica durante procesos de mezclado prolongados, lo que puede ocasionar problemas en el laminado, corte y formación de la pasta.

El valor de (C2: 0.253 Nm) indica un elevado debilitamiento térmico, mostrando una red proteica poco resistente a las condiciones de calor e hidratación, posiblemente por la escasa o nula presencia de gluten.

Los parámetros relacionados con el almidón también presentan valores bajos (C3: 0.907 Nm) sugiere una gelatinización limitada, lo que puede afectar negativamente la textura final de la pasta, mientras que (C4: 0.813 Nm) refleja una baja actividad enzimática (amilasas), lo cual puede favorecer la estabilidad estructural durante y después de la cocción, aunque con menor suavidad sensorial.

Por otro lado, el valor de retrogradación del almidón (C5: 1.342 Nm) indica una capacidad reducida de recristalización, lo que se traduce en una pasta con baja firmeza al enfriarse, y posiblemente una textura más blanda o frágil en productos refrigerados o servidos en frío.

Simultáneamente, la temperatura de la masa aumenta de manera sostenida, alcanzando un máximo antes de los 30 minutos, lo cual podría favorecer fenómenos como la gelatinización parcial del almidón y la interacción proteína-fibra. Este comportamiento sugiere una mayor complejidad estructural y resistencia mecánica de la masa, reflejo del efecto de la alta sustitución con harina de chontaduro sobre las propiedades reológicas.

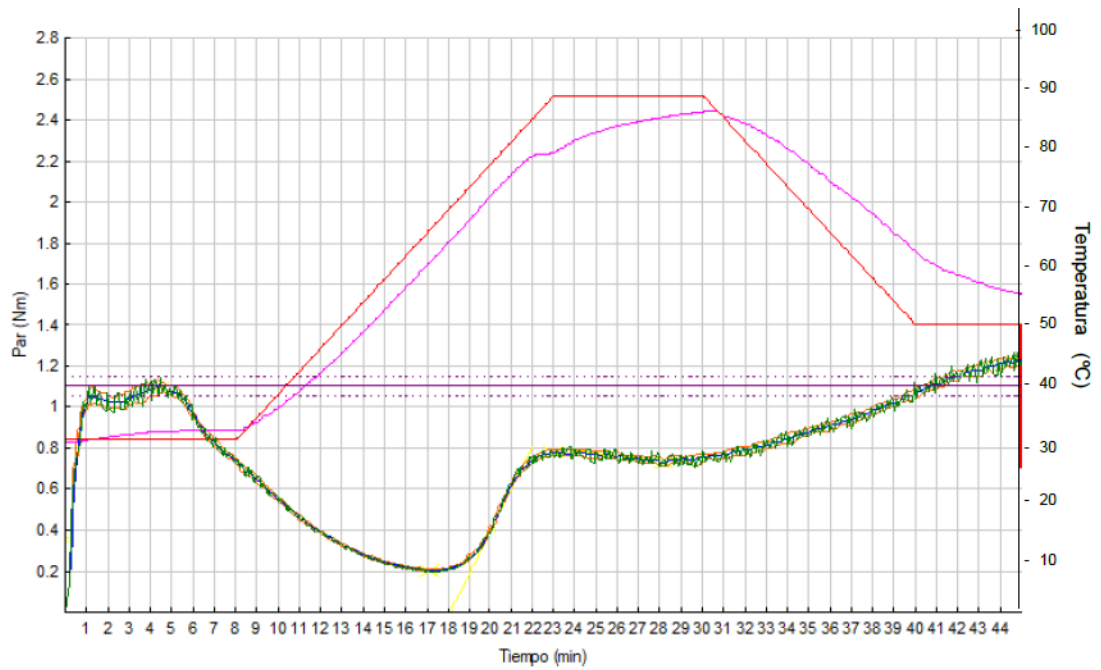


Figura 23. Reograma de par y temperatura en función del tiempo del tratamiento 3 Repetición 1 con el 18 % de sustitución de harina de chontaduro.

Nota. El incremento del par a partir del minuto 20 indica el inicio de una transición estructural, posiblemente asociada a gelatinización o aumento de la viscosidad inducido por el calentamiento.

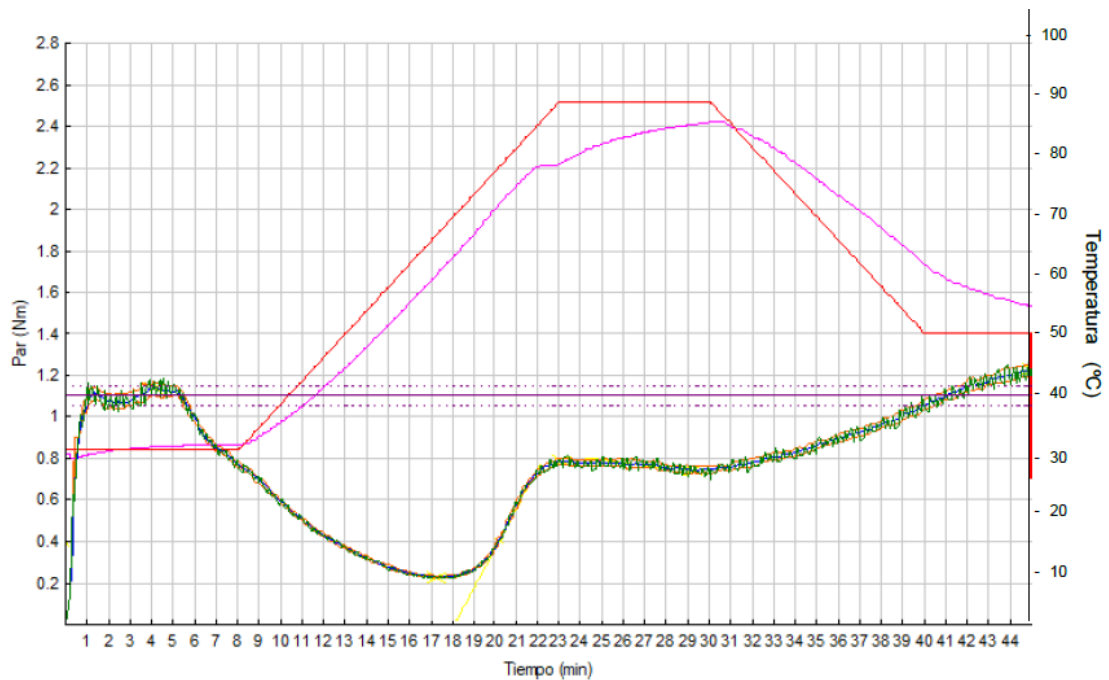


Figura 24. Reograma de par y temperatura en función del tiempo del tratamiento 3 Repetición 2 con el 18 % de sustitución de harina de chontaduro.

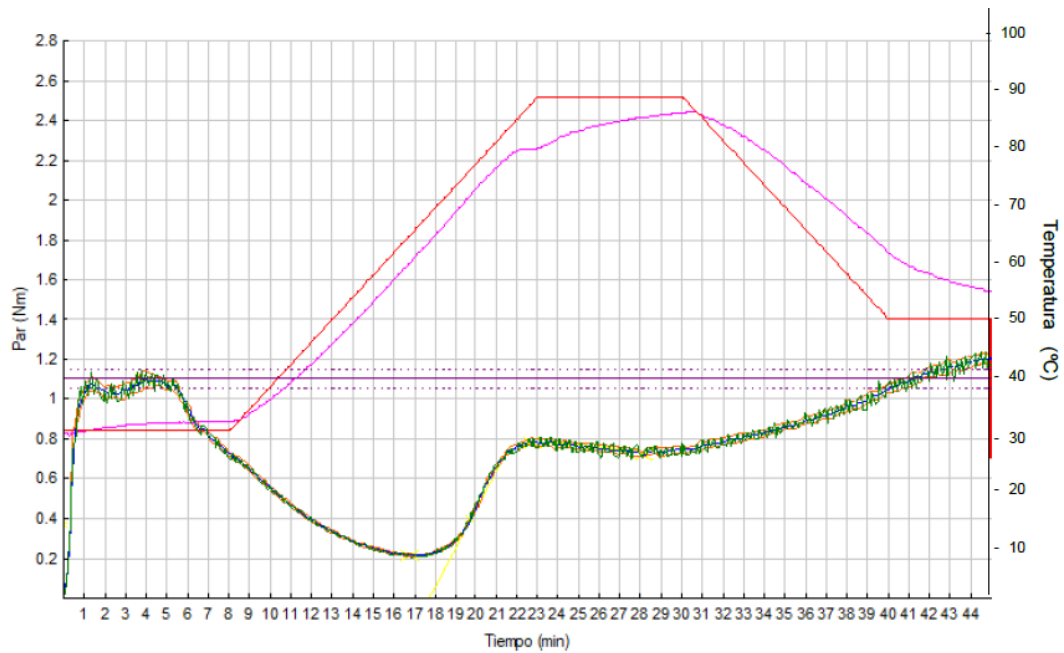


Figura 25. Reograma de par y temperatura en función del tiempo del tratamiento 3 Repetición 3 con el 18 % de sustitución de harina de chontaduro.

En la tabla 26 se observan los valores promedio, desviación estándar y los respectivos p-valores obtenidos para cinco parámetros evaluados en distintos tratamientos. La estabilidad mostró una media de 5.23 minutos con una desviación estándar de 0.06, y un p-valor de 0.0148, lo que indica una diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos ($p < 0.05$).

Tabla 26. Análisis de varianza para el tratamiento 3

Tratamientos	Media	Desviación estándar	P-valor
Estabilidad	5.23	0.06	0.0148
Par C1	1.10	0.01	0.5082
Tiempo C2	17.06	0.26	0.0572
Par C2	0.22	0.01	0.1560
Temperatura C2	60.47	0.38	0.0216

- Estabilidad

En la tabla 27 se muestra que el p-valor para el supuesto de normalidad es de 0.08242 es superior al 0.05, indica que los datos siguen una distribución normal, por lo tanto, cumple con el supuesto, mientras que el p-valor de 0.6653 es superior al 0.05, es decir, cumple con el supuesto de homocedasticidad, por lo tanto, los datos se consideran paramétricos, se realiza un análisis de varianza y una prueba de Tukey para identificar si existe diferencia significativa entre los tratamientos.

Tabla 27. Prueba de normalidad y homocedasticidad en estabilidad

Supuestos	Método	Valor	Indicador	Cumplimiento
Normalidad	Shapiro-Wilk normality test	0.08242	P-valor	Si
Homocedasticidad	Levene's	0.6653	P-valor	Si

La tabla 28 muestra el análisis de varianza (ANOVA) para evaluar el efecto de los tratamientos en el aspecto estabilidad, se observa que los tratamientos presentan diferencias significativas (P-valor = 8.03e-08), por lo tanto, se realiza la prueba de Tukey.

Tabla 28. Análisis de varianza del aspecto estabilidad

Fuente	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Prueba F	P-valor
Tratamientos	3	21.99	7.330		
Error	8	0.30	0.038	195.5	8.03 e-08
Total	11	22.29			
C.V. (%)					2.956476

La tabla 29 presenta los valores promedio de estabilidad para cada tratamiento y su agrupación estadística. El tratamiento T0 muestra la mayor estabilidad y se ubica en el grupo A, indicando que es significativamente diferente de los demás. Los tratamientos T1, T2 y T3 presentan menores valores de estabilidad, con T1 en el grupo B y T2 y T3 en el grupo C, lo que sugiere que estos últimos dos no difieren significativamente entre sí, pero sí respecto a T0 y T1.

Tabla 29. Prueba de Tukey del aspecto estabilidad.

Tratamientos	Estabilidad	Grupos
T0	8.60	A
T1	6.93	B
T2	5.43	C
T3	5.23	C

En la figura 26 se observa que el T0 indica mayor estabilidad.

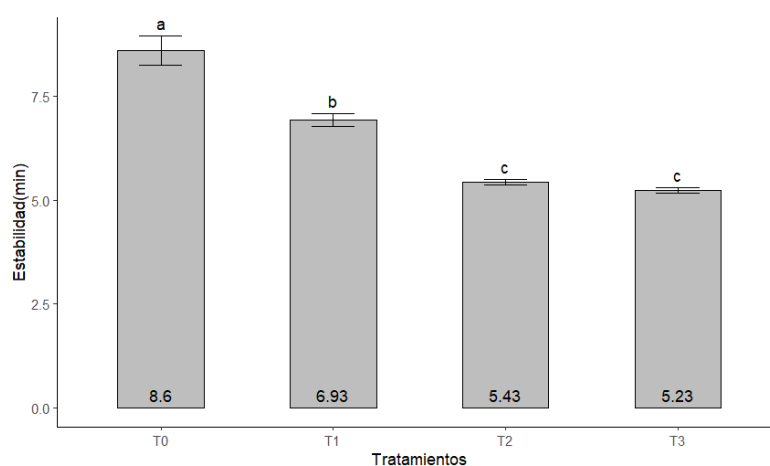


Figura 26. Diagrama de barras para el aspecto estabilidad.

- Par C1

En la tabla 30 se muestra que el p-valor para el supuesto de normalidad es de 0.7064 es superior al 0.05, indica que los datos siguen una distribución normal, por lo tanto,

cumple con el supuesto de normalidad, mientras que el p-valor de 0.619 es superior al 0.05, es decir, cumple con el supuesto de homocedasticidad, por lo tanto, los datos se consideran paramétricos, se realiza un análisis de varianza para identificar si existe diferencia significativa entre los tratamientos.

Tabla 30. Prueba de normalidad y homocedasticidad en par C1

Supuestos	Método	Valor	Indicador	Cumplimiento
Normalidad	Shapiro-Wilk normality test	0.7064	P-valor	Si
Homocedasticidad	Levene's	0.619	P-valor	Si

La tabla 31 muestra el análisis de varianza (ANOVA) para evaluar el efecto de los tratamientos en el aspecto par C1, se observa que los tratamientos no presentan diferencias significativas (P-valor = 0.433).

Tabla 31. Análisis de varianza del aspecto par C1

Fuente	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Prueba F	P-valor
Tratamientos	3	0.001193	7.330		
Error	8	0.003119	0.038	1.02	0.433
Total	11	0.004312			
C.V. (%)					1.768929

En la figura 27 indica que no hay diferencias significativas en cuanto a los supuestos.

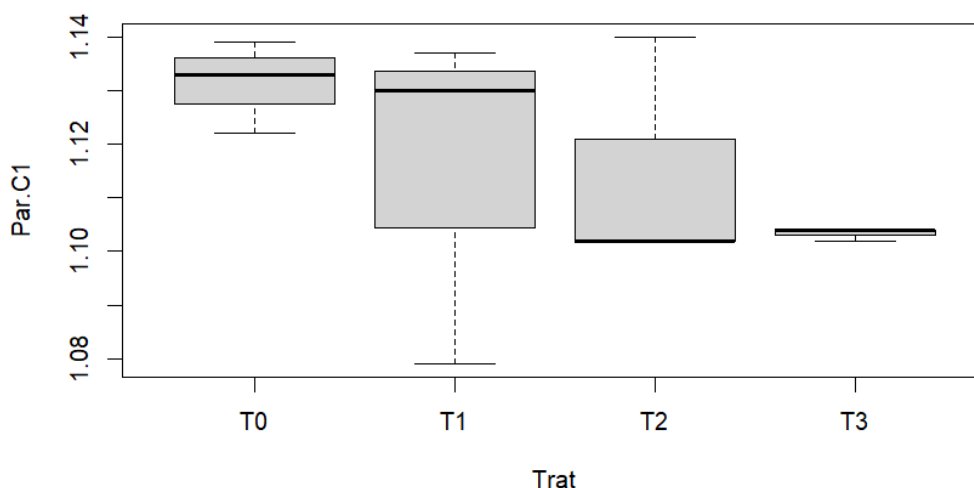


Figura 27. Diagrama de caja y bigote del aspecto par C1.

- Tiempo C2

En la tabla 32 se muestra el p-valor para el supuesto de normalidad es de 0.1561 es superior al 0.05, indica que los datos siguen una distribución normal, por lo tanto, cumple con el supuesto de normalidad. El p-valor de 0.9059 es superior al 0.05, es decir, cumple con el supuesto de homocedasticidad. Por lo tanto, los datos se

consideran paramétricos, se realiza un análisis de varianza y una prueba de Tukey para identificar si existe diferencia significativa entre los tratamientos.

Tabla 32. Prueba de normalidad y homocedasticidad en tiempo C2.

Supuestos	Método	Valor	Indicador	Cumplimiento
Normalidad	Shapiro-Wilk test	normality 0.1561	P-valor	Si
Homocedasticidad	Levene's	0.9059	P-valor	Si

La tabla 33 muestra el análisis de varianza (ANOVA) para evaluar el efecto de los tratamientos en el aspecto tiempo C2, se observa que los tratamientos presentan diferencias significativas (P-valor = 0.0114), por lo tanto, se realiza la prueba de Tukey

Tabla 33. Análisis de varianza del aspecto tiempo C2.

Fuente	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Prueba F	P-valor
Tratamientos	3	2.0595	0.6865		
Error	8	0.7567	0.0946	7.258	0.0114
Total	11	2.8162			
C.V. (%)					1.875459

La tabla 34 presenta los valores promedio de estabilidad para cada tratamiento y su agrupación estadística. El tratamiento T3 muestra la mayor estabilidad (17.06) y se ubica en el grupo A, indicando que es significativamente diferente de los demás. El tratamiento T2 se ubica en el grupo AB, lo que sugiere que no difiere significativamente de T3 ni de los tratamientos con menor tiempo. Los tratamientos T1 y T0 se agrupan en el grupo C, lo que indica que no hay diferencias significativas entre ellos, y presentan los valores más bajos de Tiempo C2.

Tabla 34. Prueba de Tukey del aspecto tiempo C2.

Tratamientos	Tiempo C2	Grupos
T3	17.06	A
T2	16.40	AB
T1	16.17	C
T0	15.96	C

En la figura 28 se observa que el T3 se ubica como el mejor tratamiento en el parámetro tiempo C2.

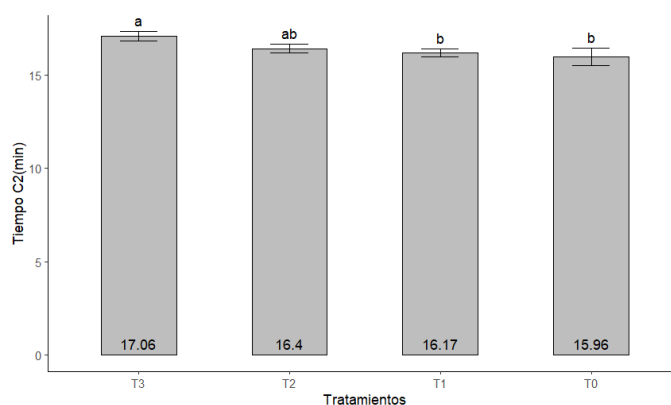


Figura 28. Diagrama de barras del aspecto tiempo C2.

- Par C2

En la tabla 35 indica el p-valor para el supuesto de normalidad es de 0.9806 es superior al 0.05, indica que los datos siguen una distribución normal, por lo tanto, cumple con el supuesto de normalidad. El p-valor de 0.4802 es superior al 0.05, es decir, cumple con el supuesto de homocedasticidad. Por lo tanto, los datos se consideran paramétricos, se realiza un análisis de varianza y una prueba de Tukey para identificar si existe diferencia significativa entre los tratamientos.

Tabla 35. Prueba de normalidad y homocedasticidad en par C2

Supuestos	Método	Valor	Indicador	Cumplimiento
Normalidad	Shapiro-Wilk normality test	0.9806	P-valor	Si
Homocedasticidad	Levene's	0.4802	P-valor	Si

La tabla 36 muestra el análisis de varianza (ANOVA) para evaluar el efecto de los tratamientos en el aspecto estabilidad, se observa que los tratamientos presentan diferencias significativas (P-valor = 8.03e-08), por lo tanto, se realiza la prueba de Tukey.

Tabla 36. Análisis de varianza del aspecto par C2.

Fuente	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Prueba F	P-valor
Tratamientos	3	0.10292	0.03431		
Error	8	0.00047	0.00006	579.8	1.08 e-09
Total	11	0.10339			
C.V. (%)					2.423309

La tabla 37 muestra los valores del Par C2 para cuatro tratamientos. El tratamiento T0 presentó el valor más alto y pertenece al grupo A, indicando diferencia significativa con los demás. Los tratamientos T1, T2 y T3 mostraron valores progresivamente y se

ubicaron en grupos B, C y D, lo que indica diferencias significativas entre todos los tratamientos.

Tabla 37. Prueba de Tukey del aspecto par C2

Tratamientos	Par C2	Grupos
T0	0.46	A
T1	0.33	B
T2	0.26	C
T3	0.21	D

En la figura 29 se observa que el T0 se ubica como el mejor tratamiento en el parámetro par C2.

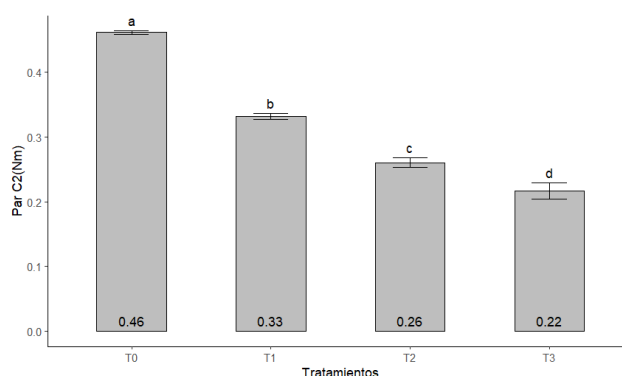


Figura 29. Diagrama de barras del aspecto par C2.

- Temperatura C2

En la tabla 38 el p-valor para el supuesto de normalidad es de 0.6734 es superior al 0.05, indica que los datos siguen una distribución normal, por lo tanto, cumple con el supuesto de normalidad. El p-valor de 0.8733 es superior al 0.05, es decir, cumple con el supuesto de homocedasticidad. Por lo tanto, los datos se consideran paramétricos, se realiza un análisis de varianza y una prueba de Tukey para identificar si existe diferencia significativa entre los tratamientos.

Tabla 38. Prueba de normalidad y homocedasticidad en temperatura C2.

Supuestos	Método	Valor	Indicador	Cumplimiento
Normalidad	Shapiro-Wilk normality test	0.6734	P-valor	Si
Homocedasticidad	Levene's	0.8733	P-valor	Si

La tabla 39 muestra el análisis de varianza (ANOVA) para evaluar el efecto de los tratamientos en el aspecto estabilidad, se observa que los tratamientos presentan diferencias significativas (P-valor = 2.47 e-05), por lo tanto, se realiza la prueba de Tukey.

Tabla 39. Análisis de varianza del aspecto Tiempo C2.

Fuente	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Prueba F	P-valor
Tratamientos	3	41.10	13.699		
Error	8	2.47	0.308	44.43	2.47 e-05
Total	11	43.57			
C.V. (%)					0.9594431

La tabla 40 presenta los valores de Temperatura C2 para cuatro tratamientos. El tratamiento T3 alcanzó la mayor temperatura y pertenece al grupo A, indicando diferencia significativa frente a los demás. T2 se ubica en el grupo B, mostrando un valor intermedio. Por otro lado, los tratamientos T1 y T0 comparten el grupo C, sin diferencias significativas entre ellos.

Tabla 40. Prueba de Tukey del aspecto tiempo C2.

Tratamientos	Temperatura C2	Grupos
T3	60.47	A
T2	58.73	B
T1	56.53	C
T0	55.77	C

En la figura 30 se observa que el T0 se ubica como el mejor tratamiento en el parámetro par C2.

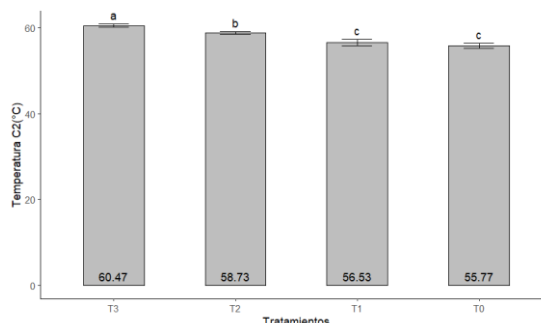


Figura 30. Diagrama de barras del aspecto temperatura C2

4.1.6. Análisis fisicoquímicos de la pasta a partir de la harina de chontaduro

- Humedad pasta fresca

En la tabla 41 el p-valor para el supuesto de normalidad es de 0.8107 es superior al 0.05, indica que los datos siguen una distribución normal, por lo tanto, cumple con el supuesto de normalidad. El p-valor de 0.687 es superior al 0.05, es decir, cumple con el supuesto de homocedasticidad. Por lo tanto, los datos se consideran paramétricos, se realiza un análisis de varianza y una prueba de Tukey para identificar si existe diferencia significativa entre los tratamientos.

Tabla 41. Prueba de normalidad y homocedasticidad en el parámetro humedad pasta fresca

Supuestos	Método	Valor	Indicador	Cumplimiento
Normalidad	Shapiro-Wilk normality test	0.8107	P-valor	Sí
Homocedasticidad	Levene's	0.687	P-valor	Sí

La tabla 42 muestra el análisis de varianza (ANOVA) para evaluar el efecto de los tratamientos en el aspecto humedad pasta fresca, se observa que los tratamientos presentan diferencias significativas (P-valor = 0.00101), por lo tanto, se realiza la prueba de Tukey.

Tabla 42. Análisis de varianza del aspecto humedad pasta fresca.

Fuente	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Prueba F	P-valor
Tratamientos	3	4.009	1.3362	15.79	0.00101
Error	8	0.677	0.0846		
Total	11	4.686			
C.V. (%)					1.2075

La tabla 43 muestra que la humedad de la pasta fresca varía entre tratamientos. T3 presentó la mayor humedad y se ubicó en el grupo A, seguido de T2 en el grupo AB. T1 se ubicó en el grupo BC y T0 en el grupo C. Estos resultados indican diferencias significativas entre todos los tratamientos.

Tabla 43. Prueba de Tukey del aspecto humedad pasta fresca.

Tratamientos	Humedad pasta fresca	Grupos
T3	24.89	A
T2	24.34	AB
T1	23.72	BC
T0	23.39	C

En la figura 31 se observan diferencias significativas en la humedad de la pasta fresca entre tratamientos, destacándose T3 como el que retiene mayor contenido de humedad.

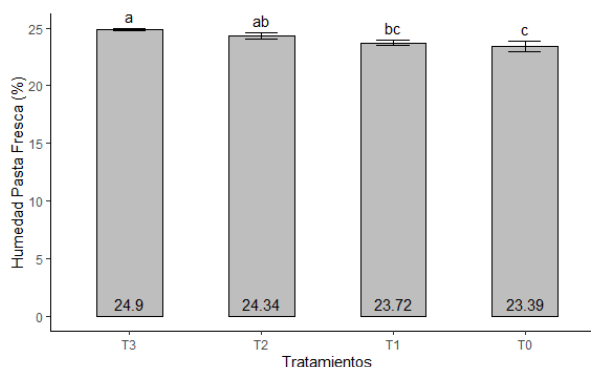


Figura 31. Diagrama de barras del aspecto humedad pasta fresca

- Ceniza pasta fresca

La tabla 44 presenta el p-valor para el supuesto de normalidad es de 0.1351 es superior al 0.05, indica que los datos siguen una distribución normal, por lo tanto, cumple con el supuesto de normalidad. El p-valor de 0.296 es superior al 0.05, es decir, cumple con el supuesto de homocedasticidad. Por lo tanto, los datos se consideran paramétricos, se realiza un análisis de varianza y una prueba de Tukey para identificar si existe diferencia significativa entre los tratamientos.

Tabla 44. Prueba de normalidad y homocedasticidad en el parámetro ceniza pasta fresca

Supuestos	Método	Valor	Indicador	Cumplimiento
Normalidad	Shapiro-Wilk normality test	0.1351	P-valor	Sí
Homocedasticidad	Levene's	0.296	P-valor	Sí

La tabla 45 muestra el análisis de varianza (ANOVA) para evaluar el efecto de los tratamientos en el aspecto ceniza pasta fresca, se observa que los tratamientos presentan diferencias significativas (P-valor = 0.0277), por lo tanto, se realiza la prueba de Tukey.

Tabla 45. Análisis de varianza de el parámetro ceniza pasta fresca.

Fuente	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Prueba F	P-valor
Tratamientos	3	0.0948	0.0316		
Error	8	0.0486	0.0060	5.205	0.0277
Total	11	0.1434			
C.V. (%)					3.1117

La tabla 46 muestra el contenido de ceniza en la pasta fresca para diferentes tratamientos. T3 y T2 presentan los valores más altos y pertenecen al grupo A, sin diferencias significativas entre ellos. T1 se ubica en el grupo AB, indicando similitud con T2 y diferencia con T0. Por su parte, T0 tiene el menor contenido de ceniza y pertenece al grupo B, siendo significativamente diferente de T3. Esto evidencia que los tratamientos influyen en el contenido de ceniza de la pasta fresca.

Tabla 46. Prueba de Tukey del aspecto ceniza pasta fresca

Tratamientos	Ceniza pasta fresca	Grupos
T3	2.58	A
T2	2.56	A
T1	2.51	AB
T0	2.35	B

En la figura 32 los tratamientos influyen en el contenido de ceniza, siendo T3 y T2 los que más lo incrementan.

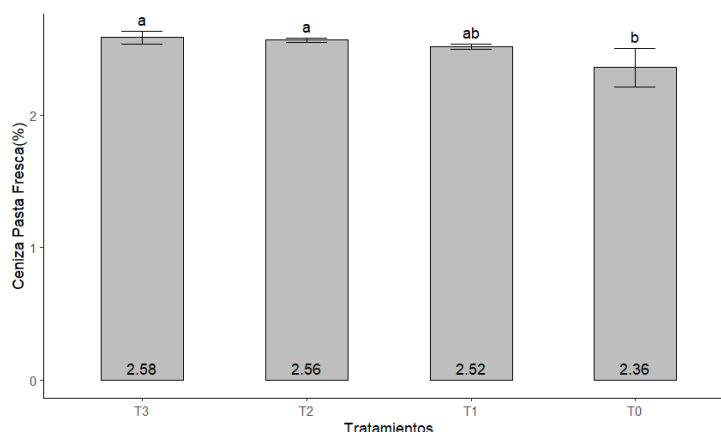


Figura 32. Diagrama de barras del aspecto ceniza pasta fresca

- Humedad pasta seca

En la tabla 47 indica el p-valor para el supuesto de normalidad es de 0.07578 es superior al 0.05, indica que los datos siguen una distribución normal, por lo tanto, cumple con el supuesto de normalidad. El p-valor de 0.6604 es superior al 0.05, es decir, cumple con el supuesto de homocedasticidad. Por lo tanto, los datos se consideran paramétricos, se realiza un análisis de varianza y una prueba de Tukey para identificar si existe diferencia significativa entre los tratamientos.

Tabla 47. Prueba de normalidad y homocedasticidad en el parámetro humedad pasta seca.

Supuestos	Método	Valor	Indicador	Cumplimiento
Normalidad	Shapiro-Wilk normality test	0.07578	P-valor	Sí
Homocedasticidad	Levene's	0.6604	P-valor	Sí

La tabla 48 muestra el análisis de varianza (ANOVA) para evaluar el efecto de los tratamientos en el aspecto humedad pasta seca, se observa que los tratamientos presentan diferencias significativas (P-valor = 1.67 e-12), por lo tanto, se realiza la prueba de Tukey.

Tabla 48. Análisis de varianza del aspecto humedad pasta seca.

Fuente	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Prueba F	P-valor
Tratamientos	3	67.39	22.464	2937	1.67 e-12
Error	8	0.06	0.008		
Total	11	67.45			
C.V. (%)					0.9439436

La tabla 49 muestra el contenido de humedad en pasta seca para los distintos tratamientos. El tratamiento T3 presentó la mayor humedad y pertenece al grupo A, seguido de T2 en el grupo B, T1 en el grupo C, y T0 en el grupo D. Estos resultados evidencian diferencias significativas entre todos los tratamientos, indicando que el tratamiento influye directamente en el contenido de humedad de la pasta seca.

Tabla 49. prueba de Tukey en el parámetro humedad pasta seca.

Tratamientos	Humedad pasta seca	Grupos
T3	12.66	A
T2	9.89	B
T1	8.35	C
T0	6.15	D

En la figura 33 se observa que el T3 se ubica como el mejor tratamiento en el parámetro humedad pasta seca.

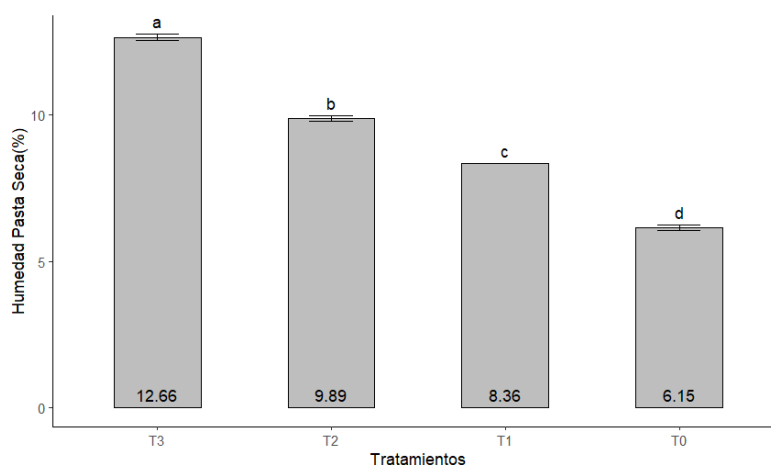


Figura 33. Diagrama de barras del aspecto humedad pasta seca.

- Ceniza pasta seca

En la tabla 50 presenta el p-valor para el supuesto de normalidad es de 0.206 es superior al 0.05, indica que los datos siguen una distribución normal, por lo tanto, cumple con el supuesto de normalidad. El p-valor de 0.347 es superior al 0.05, es decir, cumple con el supuesto de homocedasticidad. Por lo tanto, los datos se consideran paramétricos, se realiza un análisis de varianza y una prueba de Tukey para identificar si existe diferencia significativa entre los tratamientos.

Tabla 50. Prueba de normalidad de homocedasticidad del parámetro ceniza pasta seca

Supuestos	Método	Valor	Indicador	Cumplimiento
Normalidad	Shapiro-Wilk normality test	0.206	P-valor	Si
Homocedasticidad	Levene's	0.347	P-valor	Si

La tabla 51 muestra el análisis de varianza (ANOVA) para evaluar el efecto de los tratamientos en el aspecto ceniza pasta seca, se observa que los tratamientos presentan diferencias significativas (P-valor = 3.33 e-08), por lo tanto, se realiza la prueba de Tukey.

Tabla 51. Análisis de varianza del parámetro ceniza pasta seca.

Fuente	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Prueba F	P-valor
Tratamientos	3	1.9008	0.6336		
Error	8	0.0208	0.0026	244.2	3.33 e-08
Total	11	1.9216			
C.V. (%)					1.678712

La tabla 52 muestra el contenido de ceniza en pasta seca para cuatro tratamientos diferentes (T0, T1, T2 y T3). Se observa un incremento significativo en el contenido de ceniza conforme avanza el tratamiento, siendo T3 el que presenta el mayor valor, seguido por T2, T1 y finalmente T0 con el menor contenido. Los grupos asignados indican diferencias estadísticamente significativas entre cada tratamiento.

Tabla 52. Prueba de Tukey en el aspecto ceniza pasta seca

Tratamientos	Ceniza pasta seca	Grupos
T3	3.49	A
T2	3.33	B
T1	2.81	C
T0	2.50	D

En la figura 34 los tratamientos influyen en el contenido de ceniza pasta seca, siendo T3 y T2 los que más lo incrementan.

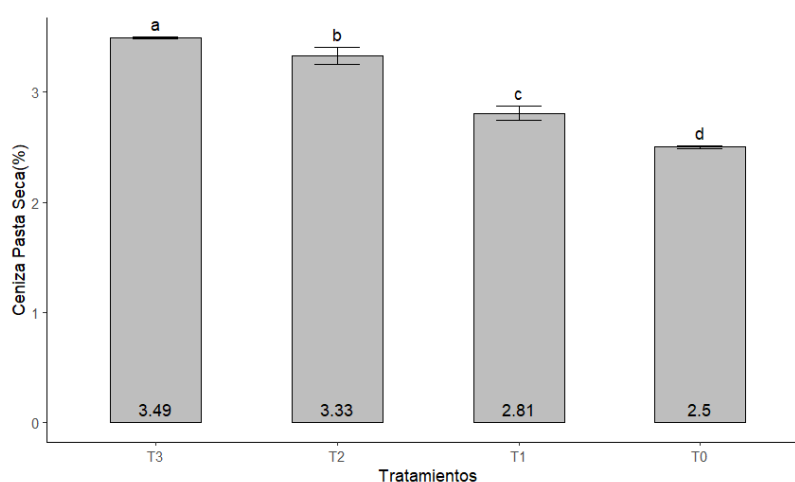


Figura 34. Diagrama de barras del aspecto ceniza pasta seca.

- Acidez

En la tabla 53 indica el p-valor para el supuesto de normalidad es de 0.04589 es inferior al 0.05, indica que los datos siguen una distribución normal, por lo tanto, no cumple con el supuesto de normalidad y los datos no son paramétricos por lo tanto decidimos hacer una prueba de Kruskal Wallis.

Tabla 53. Prueba de normalidad y homocedasticidad en el aspecto acidez.

Supuestos	Método	Valor	Indicador	Cumplimiento
Normalidad	Shapiro-Wilk normality test	0.04589	P-valor	No
Homocedasticidad	Levene's	-	P-valor	-

La tabla 54 muestra la prueba de Kruskal Wallis para evaluar el efecto de los tratamientos en el aspecto acidez, se observa que los tratamientos presentan diferencias significativas (P-valor = 0.01173), por lo tanto, se realiza la prueba de Dunn.

Tabla 54. Prueba de Kruskal Wallis en el parámetro acidez.

Método	Chi- Cuadrado	Grados de libertad	P-valor
Kruskal Wallis	11	3	0.01173

La tabla 55 indica que si existe diferencia significativa entre los tratamientos T0-T2, T0-T3, T1-T3.

Tabla 55. Prueba de Dunn para el parámetro ceniza pasta seca.

Tratamientos	T0	T1	T2
T1	Diferencia	-1.048808	
	P-valor	0.1471	
T2	Diferencia	-2.097617	-1.048808
	P-valor	0.0180*	0.1471
T3	Diferencia	-3.146426	-2.097617
	P-valor	0.0008*	0.0180*
			-1.048808
			0.1471

- Proteína

En la tabla 56 el p-valor para el supuesto de normalidad es de 0.2897 es superior al 0.05, indica que los datos siguen una distribución normal, por lo tanto, cumple con el supuesto de normalidad. El p-valor de 0.8346 es superior al 0.05, es decir, cumple con el supuesto de homocedasticidad. Por lo tanto, los datos se consideran paramétricos, se realiza un análisis de varianza y una prueba de Tukey para identificar si existe diferencia significativa entre los tratamientos.

Tabla 56. Prueba de normalidad y homocedasticidad en el parámetro proteína

Supuestos	Método	Valor	Indicador	Cumplimiento
Normalidad	Shapiro-Wilk normality test	0.2897	P-valor	Si
Homocedasticidad	Levene's	0.8346	P-valor	Si

La tabla 57 muestra el análisis de varianza (ANOVA) para evaluar el efecto de los tratamientos en el aspecto proteína, se observa que los tratamientos presentan diferencias significativas (P-valor = 1.13 e-10), por lo tanto, se realiza la prueba de Tukey.

Tabla 57. Análisis de varianza del aspecto proteína

Fuente	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Prueba F	P-valor
Tratamientos	3	9.954	3.318		
Error	8	0.026	0.003	1.021	1.13 e-10
Total	11	9.980			
C.V. (%)					0.5771792

En la tabla 58 los tratamientos evaluados muestran diferencias significativas en el contenido de proteína. El tratamiento T3 registró la mayor humedad seguido por T2, T1 y T0 con el valor más bajo. Cada grupo presenta diferencias estadísticas claras, indicando que el tipo de tratamiento influye directamente en la retención de humedad.

Tabla 58. Prueba de Tukey del aspecto proteína

Tratamientos	Humedad pasta fresca	Grupos
T3	11.26	A
T2	9.85	B
T1	9.68	C
T0	8.71	D

En la figura 35 se observa que el T3 se ubica como el mejor tratamiento en el parámetro proteína.

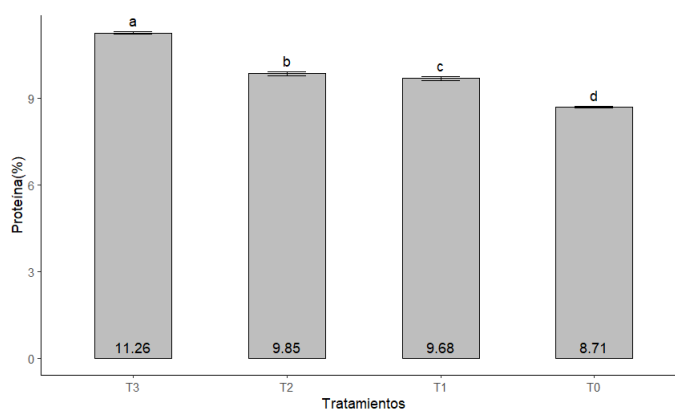


Figura 35. Diagrama de barras del aspecto del aspecto proteína.

- Grasa

En la tabla 59 se puede denotar el valor de p para normalidad, siendo mayor a 0,05. Además, el valor de p en homocedasticidad es menor al referente. El cual, demuestra que los tratamientos siguen una distribución normal, son datos paramétricos y no cumplen con el supuesto de homocedasticidad.

Tabla 59. Prueba de normalidad y homocedasticidad en el parámetro de grasa

Supuestos	Método	Valor	Indicador	Cumplimiento
Normalidad	Shapiro-Wilk normality test	0.0709	P-valor	Si
Homocedasticidad	Levene's	2.2 e-16	P-valor	No

La tabla 60 muestra el análisis de ANOVA para evaluar el efecto de cada uno de los tratamientos. Con esto se puede observar que el p-valor es menor al referente, asegurando que existen diferencias estadísticamente significativas en el contenido de grasa entre al menos dos tratamientos. Procediendo así a aplicar un post-hoc.

Tabla 60. Análisis de varianza para grasa

Fuente	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Prueba F	p-valor
Tratamientos	3	0.4868	0.16226		
Error	4	0.0009	0.00024	690.1	6.97e-06
Total	7				
C.V. (%)					0.7250

Como se muestra en la tabla 61, los tratamientos evaluados muestran diferencias estadísticamente significativas en el contenido de grasa. Se observa que el tratamiento T3 presenta un mayor contenido de grasa que los tratamientos T2, T1 y T0. Esto sugiere que el T3 es más efectivo para preservar o concentrar el contenido de grasa en las pastas.

Tabla 61. Prueba de Tukey para grasa

Tratamientos	Grasa	Grupos
T3	2.32520	A
T2	2.25350	B
T1	2.18425	C
T0	1.69640	D

Una vez realizado el post-hoc de Tukey en cada uno de los tratamientos, se obtiene la figura 36 donde se muestra un diagrama de barras; muestra que hay diferencias significativas en cada tratamiento, el cual está denotado por diferentes letras formando grupos.

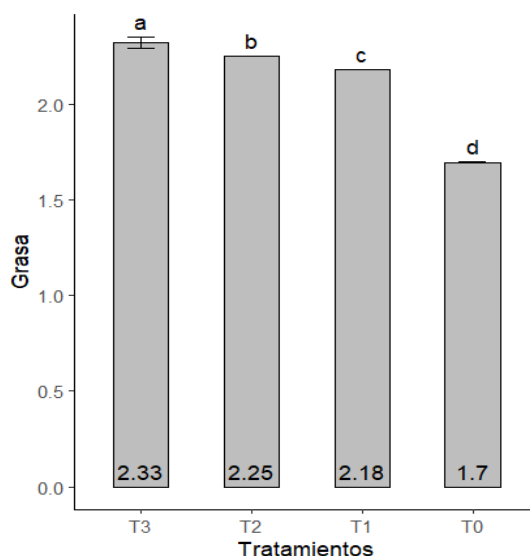


Figura 36. Diagrama de barras del contenido de grasa en cada tratamiento.

La tabla 62 presenta los resultados de los análisis fisicoquímicos realizados a las pastas tipo fettuccini elaboradas con diferentes proporciones de sustitución por chontaduro (*Bactris gasipaes*). Se evaluaron los parámetros de humedad en pasta fresca y seca, contenido de cenizas, acidez, proteína y grasa, con el objetivo de determinar el impacto del ingrediente funcional en la calidad del producto final.

Los resultados muestran que la incorporación de harina de chontaduro genera variaciones significativas en las propiedades fisicoquímicas de las pastas. El tratamiento T3 (18% de sustitución) presentó el mayor contenido de proteína (11.261%), grasa (2.33%) y acidez (0.18%), lo que sugiere un mayor aporte nutricional y posibles cambios en la fermentación o estabilidad microbiológica. En cuanto a la humedad, T3 mostró el valor más alto en pasta seca (12.661%), mientras que T1 presentó los menores valores tanto en humedad (6.150%) como en proteína (9.685%) dentro de los tratamientos con sustitución. Las cenizas, indicativas de contenido mineral, alcanzaron su punto máximo en T3 (3.493%) para pasta seca, aunque T1 y T2 también mostraron valores elevados. Estos cambios reflejan el impacto de la harina de chontaduro sobre la composición nutricional y estabilidad de las pastas, destacando el tratamiento T3 como el más enriquecido en proteínas y con mayor acidez, posiblemente asociado a una mayor interacción entre componentes estructurales y funcionales.

Tabla 62. Análisis físicos químicos de la pasta tipo fettuccini

Tratamiento	Humedad Pasta Fresca (%)	Humedad Pasta Seca (%)	Cenizas Pasta Fresca (%)	Cenizas Pasta Seca (%)	Acidez (%)	Proteína (%)	Grasa (%)
T0	23.39±0.45 ^c	6.15±0.09 ^d	2.35±0.15 ^b	2.50±0.01 ^d	0.079 ^d	8.71±0.03 ^d	1.70±0.003 ^d
T1	23.72±0.24 ^{bc}	8.35±0.01 ^c	2.51±0.02 ^{ab}	2.81±0.01 ^c	0.126 ^c	9.68±0.06 ^c	2.18±0.006 ^c
T2	24.90±0.26 ^{ab}	9.89±0.10 ^b	2.56±0.05 ^a	3.33±0.08 ^b	0.166 ^b	9.85±0.08 ^b	2.25±0.001 ^b
T3	24.90±0.10 ^a	12.66±0.11 ^a	2.58±0.02 ^a	3.49±0.01 ^a	0.181 ^a	11.26±0.05 ^a	2.32±0.03 ^a

4.1.7. Análisis sensorial de las formulaciones de pasta tipo fettuccini con sustitución parcial de harina convencional por harina de chontaduro (*Bactris gasipaes*)

- Color

La tabla 63 resume los resultados obtenidos para cuatro tratamientos con 60 repeticiones cada uno. La mediana se mantiene constante en 3 para todos los tratamientos. Sin embargo, el rango promedio muestra un aumento progresivo desde 100.25 en T0 hasta 138.20 en T3. El análisis estadístico mediante la prueba de Chi-cuadrado reporta un valor de 15.419, con un valor de F de 4.71 y un valor de P de 0.0147, indicando diferencias significativas entre los tratamientos.

Tabla 63. Prueba de Kruskal Willis en el parámetro color

Tratamientos	Repeticiones	Mediana	Rango promedio	Chi cuadrado	Valor de F	Valor de P
T0	60	3	100.25	15.419	4.71	0.0147
T1	60	3	118.68			
T2	60	3	124.87			
T3	60	3	138.20			
General	240					

La tabla 64 presenta las comparaciones por pares entre tratamientos, basadas en las medianas obtenidas. El tratamiento T0 mostró una mediana de 3, mientras que los tratamientos T1, T2 y T3 alcanzaron una mediana de 4. Las comparaciones T0-T1 ($p = 0.0339$), T0-T2 ($p = 0.0051$) y T0-T3 ($p = 0.0005$) evidencian diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$), lo que indica que T0 difiere notablemente de los demás tratamientos. En cambio, la comparación T1-T2 ($p = 0.7306$) no mostró diferencias significativas, mientras que T1-T3 ($p = 0.0372$) sí presentó una diferencia estadísticamente significativa. La comparación T2-T3 ($p = 0.0916$) no fue significativa.

Tabla 64. Prueba de Wilcoxon en el aspecto color

Tratamientos	Mediana	Muestra	Valor de P
T0	3	T0-T1	0.0339
T1	4	T0-T2	0.0051
T2	4	T0-T3	0.0005
T3	4	T1-T2	0.7306
		T1-T3	0.0372
		T2-T3	0.0916

La tabla 65 presenta los resultados de cuatro tratamientos (T0 a T3), todos con una mediana de 3 y 60 repeticiones cada uno. Aunque los rangos promedios varían levemente entre tratamientos (de 108.88 en T0 a 126.13 en T3), el análisis estadístico mediante la prueba de Kruskal-Wallis arrojó un valor de Chi-cuadrado de 12.332, con un valor de F de 1.33 y un valor de p de 0.4452. Dado que el p es superior a 0.05, no se evidencian diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, por lo que no es necesario aplicar pruebas de comparaciones múltiples.

- Olor

Tabla 65. Prueba de Kruskal Wallis aplicado en el parámetro olor

Tratamientos	Repeticiones	Mediana	Rango promedio	Chi cuadrado	Valor de F	Valor de P
T0	60	3	108.88	12.332	1.33	0.4452
T1	60	3	121.82			
T2	60	3	125.18			
T3	60	3	126.13			
General	240					

En la tabla 66 los resultados muestran que los tratamientos T0, T1, T2 y T3 tienen medias similares, con T2 alcanzando la mayor media (3.75) y T0 la más baja (3.22). T2 presentó la mayor desviación estándar (2.58), indicando mayor variabilidad. Todos los tratamientos pertenecen al mismo grupo estadístico (A), lo que sugiere que no hay diferencias significativas entre ellos, respaldado por un valor p de 0.2664.

Tabla 66. Análisis de varianza para el atributo olor

Tratamientos	Media	Desviación estándar	Grupos	P-valor
T2	3.75	2.58	A	0.2664
T3	3.47	0.83	A	
T1	3.38	0.94	A	
T0	3.22	0.87	A	

- Sabor

La tabla 67 indica los resultados obtenidos para los cuatro tratamientos, con 60 repeticiones cada uno, mostraron medianas que oscilaron entre 3 y 4, y rangos promedios que variaron de 104.32 a 127.35. La prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias entre los grupos debido a la naturaleza no paramétrica de los

datos, arrojó un valor de Chi-cuadrado de 19.061 y un valor de p de 0.1851. Dado que el valor de p fue mayor que el nivel de significancia establecido ($\alpha = 0.05$), no se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. Por tanto, no se aplicaron pruebas post hoc como la prueba de Wilcoxon para comparaciones por pares.

Tabla 67. Prueba de Kruskal Wallis en el parámetro sabor

Tratamientos	Repeticiones	Mediana	Rango promedio	Chi cuadrado	Valor de F	Valor de P
T0	60	3	104.32	19.061	1.96	0.1851
T1	60	4	127.35			
T2	60	3	126.03			
T3	60	3	124.31			
General	240					

La tabla 68 muestra los resultados de los tratamientos T0, T1, T2 y T3, el tratamiento T2 presentó la mayor media (3.58), seguido de T3 y T1 (ambos con 3.55), y T0 tuvo la media más baja (3.20). En cuanto a la variabilidad, T0 mostró la mayor desviación estándar (1.12), lo que sugiere mayor dispersión en los datos. Todos los tratamientos pertenecen al mismo grupo estadístico (A), lo que indica que no existen diferencias significativas entre ellos, como lo respalda el valor p de 0.1214.

Tabla 68. Análisis de varianza para el atributo sabor

Tratamientos	Media	Desviación estándar	Grupos	P-valor
T2	3.58	1.01	A	
T3	3.55	0.95	A	
T1	3.55	0.93	A	0.1214
T0	3.20	1.12	A	

- Textura

La tabla 69 muestra los resultados de cuatro tratamientos (T0 a T3), cada uno con 60 repeticiones. Las medianas de los tratamientos varían, siendo T0 la única con mediana 3, mientras que T1, T2 y T3 presentan una mediana de 4. Los rangos promedios aumentan progresivamente desde 98.22 en T0 hasta 137.37 en T3. El análisis estadístico mediante la prueba de Kruskal-Wallis reveló un valor de Chi-cuadrado de 22.150, un valor de F de 4.71 y un valor de p de 0.0071. Debido a que el valor de p es menor a 0.05, se concluye que existen diferencias estadísticamente significativas entre al menos dos de los tratamientos evaluados. Por lo tanto, es necesario aplicar pruebas de comparaciones múltiples.

Tabla 69. Prueba de Kruskal Wallis aplicada en el parámetro textura

Tratamientos	Repeticiones	Mediana	Rango promedio	Chi cuadrado	Valor de F	Valor de P
T0	60	3	98.22	22.150	4.71	0.0071
T1	60	4	115.85			
T2	60	4	130.57			
T3	60	4	137.37			
General	240					

La tabla 70 indica que la prueba de Wilcoxon mostró diferencias significativas entre T0 y T2 ($p = 0.0011$) y entre T0 y T3 ($p = 0.0014$). No se observaron diferencias significativas en las demás comparaciones ($p > 0.05$). Esto indica que T0 difiere de T2 y T3, mientras que los demás tratamientos son estadísticamente similares.

Tabla 70. Prueba de Wilcoxon aplicada al parámetro textura

Tratamientos	Mediana	Muestra	Valor de P
T0	3	T0-T1	0.1447
T1	4	T0-T2	0.0011
T2	4	T0-T3	0.0014
T3	4	T1-T2	0.2344
		T1-T3	0.1024
		T2-T3	0.5481

- Aceptación general

La tabla 71 indica la aplicación de la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para evaluar las diferencias entre tratamientos. El análisis mostró diferencias estadísticamente significativas ($p = 0.0327$), con una mediana inferior en el tratamiento T0 (3), en comparación con T1, T2 y T3, que presentaron una mediana de 4. Estos resultados justifican la aplicación de pruebas de comparaciones específicas que generan dichas diferencias.

Tabla 71. Prueba de Kruskal Wallis en el aspecto aceptación general

Tratamientos	Repeticiones	Mediana	Rango promedio	Chi cuadrado	Valor de F	Valor de P
T0	60	3	106.83	18.640	4.31	0.0327
T1	60	4	109.28			
T2	60	4	134.51			
T3	60	4	131.38			
General	240					

La tabla 72 indica las comparaciones múltiples mediante la prueba de Wilcoxon revelaron diferencias significativas entre T0 y T2 ($p = 0.0036$), T0 y T3 ($p = 0.0237$), y entre T1 y T2 ($p = 0.0296$). No se observaron diferencias significativas entre T0 y T1, T1 y T3, ni entre T2 y T3 ($p > 0.05$). Estos resultados indican que los tratamientos T2 y T3 difieren significativamente de T0, mientras que T1 mostró un comportamiento intermedio.

Tabla 72. Prueba de Wilcoxon aplicada al parámetro aceptación general

Tratamientos	Mediana	Muestra	Valor de P
T0	3	T0-T1	0.7987
T1	4	T0-T2	0.0036
T2	4	T0-T3	0.0237
T3	4	T1-T2	0.0296
		T1-T3	0.0802
		T2-T3	0.8721

En la tabla 73 se observa que el tratamiento 2 presentó los mejores resultados, seguido por los tratamientos 3, 1 y 0. Estos tratamientos mostraron diferencias significativas en comparación con los demás.

Tabla 73. Evaluación sensorial de los tratamientos desarrollados de la pasta tipo fetuccini

Tratamientos	Color	Olor	Sabor	Textura	Aceptación General
T2	4 ^{ab}	3 ^a	4 ^a	4 ^a	4 ^a
T3	4 ^a	3 ^a	3 ^a	4 ^a	4 ^{ab}
T1	4 ^{ab}	3 ^a	3 ^a	4 ^{ab}	4 ^b
T0	3 ^b	3 ^a	3 ^a	3 ^b	3 ^b
P-valor	0.0147	0.4452	0.1851	0.0071	0.0327

4.2. DISCUSIÓN

4.2.1. Rendimiento del chontaduro a harina

La harina de chontaduro obtenida en la investigación presentó un rendimiento de 55.52 % y una merma de 44.48 % durante el proceso de industrialización específicamente en la cocción, pelado y deshidratación del chontaduro. En comparación, Escobar, et al. (2016) reportaron un rendimiento del 30 % en el proceso de producción de esta harina, ellos ameritan este rendimiento a la probable pérdida de agua y lípidos que contiene el chontaduro. Por otro lado, Felipe et al. (2018) en la evaluación de las propiedades funcionales de harina de chontaduro (*Bactris gasipaes*) obtenida por secado por convección, registraron un valor de 46.30 %. El resultado logrado en esta investigación destaca como el más elevado respecto a estudios previos, se evidencia una mayor eficiencia en la extracción de materia seca, lo cual se relaciona a las condiciones adecuadas de procesamiento que reducen pérdidas durante la cocción, pelado y deshidratación.

4.2.2. Evaluación fisicoquímica de harina de chontaduro

- Humedad

La Norma INEN 616 (2015) fija un límite máximo de humedad del 14.5 % para harinas destinadas a la fabricación de pastificios. El resultado de la harina experimental

presenta un contenido de humedad del 6.38 %, valor que se encuentra por debajo de los niveles máximos permitidos. Este nivel de humedad contribuye a una textura adecuada para su mezcla con otros ingredientes sin formación de grumos, facilitando tanto su manipulación como conservación (Godoy et al., 2016). Por otro lado, Martínez (2019) reportó un valor de 8.32 % en harinas comerciales de chontaduro, mientras que Escobar et al. (2016), en la caracterización fisicoquímica de harina de chontaduro proveniente de la Amazonía ecuatoriana, registraron un valor de 10.25 %. La harina evaluada en esta investigación destaca por su menor contenido de humedad, lo cual favorece la estabilidad microbiológica y prolonga la vida útil del producto.

- Ceniza

El contenido de ceniza en la harina evaluada fue de 0.79 %, cifra que encuentra por debajo del límite máximo de 0.85% establecido por la Norma INEN 616 (2015). Este resultado sugiere que el producto es adecuado para la elaboración de productos como pastas tipo fettuccini. En comparación, Martínez (2019) y Escobar et al. (2016) reportaron valores más altos de 1.25 % y 1.58 % respectivamente. La harina analizada en este estudio presenta el valor más favorable, al reflejar menor contenido de material mineral, contribuye a evitar sabores no deseados y mantiene la calidad sensorial del producto final.

- Proteína

La Norma INEN 616(2015) establece el límite máximo de 10.5% para productos pastificios. En la harina experimental se revela un contenido de proteína de 5.92 %, valor que cumple con la normativa. Según, Escobar et al. (2016) hallaron un valor inferior de 5.05 %. Por su parte, González Henao et al. (2021) indicaron que la harina de chontaduro presenta 5.37 % de proteína, mientras que la harina elaborada con cáscara de chontaduro contiene solo 4.92 %, lo cual sugiere que la mayor concentración proteica se encuentra en la pulpa del fruto. Estos resultados refuerzan la idea de que la harina de chontaduro representa una fuente importante de proteínas, contribuyendo al valor nutricional de los alimentos (Bravo y Moreno, 2015). El porcentaje obtenido en este estudio representa una alternativa nutricional superior para su uso en productos alimentarios.

- Acidez

El valor de acidez de la harina experimental fue de 0.16 %, también dentro del rango permitido por la normativa ecuatoriana, lo que la hace apta para el consumo humano. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Martínez-Girón et al. (2017), quienes determinaron que la acidez de la harina de chontaduro fue de 0.17 %, sin presentar diferencias significativas durante períodos de almacenamiento de hasta seis meses. Esto sugiere una buena estabilidad de este parámetro a lo largo del tiempo. El resultado más adecuado es el de la harina experimental (0.16 %), ya que una menor acidez mejora la aceptabilidad sensorial del producto final y puede indicar un menor grado de degradación o fermentación.

- Grasa

El porcentaje de extracto etéreo obtenido en este estudio fue de $14.09 \pm 0.18\%$, un valor que se encuentra en concordancia con el reportado por Garbanzo et al. (2012), quienes indicaron un contenido de grasa del 13% en harina de mesocarpio de chontaduro. Por otro lado, Martínez et al. (2017) señalan que la harina obtenida de chontaduro presenta un alto contenido de grasa con un 13,47%, muy similar al valor obtenido. Esto confirma que la harina de chontaduro posee un alto nivel lipídico, atribuible probablemente a su elevado contenido de ácidos grasos poliinsaturados.

Esta variabilidad entre el contenido de grasa en la harina de chontaduro puede deberse por las diferencias en la genética, condiciones ambientales, madurez del fruto y técnicas de procesamiento. Azogue (2025) reporta que la composición nutricional del chontaduro varía según la región geográfica, atribuible a factores climáticos, tipo de suelo y condiciones de cultivo, que inciden directamente en el perfil nutricional del fruto. Asimismo, Medina (2017) documenta que diferentes ecotipos presentan composiciones variables en ácidos grasos saturados y poliinsaturados, lo que repercute en la concentración total de grasa.

4.2.3. Análisis microbiológico de la harina de chontaduro (*Bactris gasipaes*)

La harina de chontaduro experimental cumple con los requisitos de inocuidad establecidos en la Norma INEN 616 (2015). Acorde a lo mencionado, en la investigación realizada por Escobar et al. (2016) se demostró que la harina obtenida a partir de chontaduro muestra estabilidad microbiológica después de ocho meses de almacenamiento, en cuanto a los recuento UFC/ml de *E. coli*, mohos y levaduras; estableciendo que la harina de chontaduro cumple satisfactoriamente con los

parámetros microbiológicos y que puede ser consumida sin provocar afecciones en la salud humana.

4.2.4. Evaluación del comportamiento viscoelástico de las masas obtenidas a partir de los tratamientos formulados para pasta tipo fetuccini

Las gráficas de viscosidad y esfuerzo de corte en función de la tasa de corte revelan un comportamiento pseudoplástico en todos los tratamientos, incluyendo el control sin sustitución (T0) y aquellos con adición de harina de chontaduro: T1 (6%), T2 (12%) y T3 (18%). Este comportamiento se caracteriza por una disminución progresiva de la viscosidad conforme aumenta la tasa de corte, fenómeno típicamente observado en sistemas alimentarios ricos en almidón y proteínas. Según (Velásquez-Barreto et al. 2018), este perfil se debe a la orientación y desorganización de las cadenas moleculares de gluten y almidón bajo cizallamiento. El esfuerzo de corte también mostró un incremento con el aumento de la sustitución, siendo T3 el que presentó los valores más altos, lo que indica una mayor resistencia mecánica de la masa. Esto puede explicarse por la presencia de fibra y proteínas funcionales del chontaduro, que refuerzan la red estructural. Estas observaciones coinciden con lo reportado por (Montero et al. 2006), quienes destacan que la adición de ingredientes con alto contenido nutricional tiende a fortalecer la reología y cohesión interna de matrices alimentarias complejas.

- Índice de comportamiento (n)

El índice de comportamiento en la masa tipo fetuccini mostró un p-valor de 0.3311, lo que indica que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados. Esto sugiere que la sustitución parcial de harina no modificó de forma relevante el comportamiento reológico de la masa, manteniéndose un perfil pseudoplástico característico en todos los casos. en el estudio de Martínez et al. (2022), la incorporación de harina de chontaduro en formulaciones de pasta mostró que, aunque se incrementó la viscosidad aparente, el índice de comportamiento no presentó diferencias significativas ($p = 0.294$), concluyendo que la sustitución no afecta la naturaleza pseudoplástica del sistema.

- Índice de consistencia

El análisis del índice de consistencia (K) en las masas tipo fetuccini mostró que, aunque se observaron variaciones entre los tratamientos, las diferencias no fueron estadísticamente significativas ($p = 0.2741$). Esto indica que la incorporación de harina

alternativa, como la harina de chontaduro, no afecta de manera relevante la resistencia al flujo de la masa, manteniendo una viscosidad adecuada para procesos de laminado y extrusión. Martínez et al. (2022) reportaron que la incorporación de harina de chontaduro en formulaciones de pasta no produjo diferencias significativas en el índice de consistencia ($p = 0.294$), este aspecto es crucial para garantizar una textura y procesabilidad óptimas.

4.2.5. Análisis funcional de las formulaciones de pasta tipo fettuccini con sustitución parcial de harina convencional por harina de chontaduro (*Bactris gasipaes*)

- Estabilidad

Los resultados obtenidos evidencian que el tratamiento control (T0) presentó la mayor estabilidad de la masa (8.6 min), lo cual indica una red de gluten fuerte y estable durante el proceso de mezclado. Esto concuerda con lo reportado por Ianushkevych et al. (2025), quienes destacaron que las harinas de trigo sin modificaciones presentan mayor estabilidad por la integridad de su red proteica. En contraste, los tratamientos T1, T2 y T3 mostraron una disminución progresiva en la estabilidad, siendo más notable en T3 (5.20 min). Esta reducción podría estar relacionada con la incorporación de ingredientes alternativos (como harinas no convencionales o aditivos funcionales), aunque pueden aportar propiedades nutricionales, tienden a diluir el contenido de gluten, afectando negativamente su comportamiento reológico (Ianushkevych et al. 2025).

- Par C1

Se observa que el valor del Par C1 disminuye según el incremento de harina de chontaduro, estadísticamente existe una diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre la muestra control y los demás tratamientos con el 6%, 12%, 18% los valores estuvieron dentro del rango de 1 a 1.15 Nm lo que asegura la confiabilidad del ensayo realizado, por otro lado, indica cambios en la resistencia y consistencia inicial de la masa durante el proceso de mezcla. Álvarez et al. (2024), destacaron que en las mezclas de harina de trigo y plátano del 10%, 15% y 25% obtienen los valores de 1.13Nm a 1.10Nm esta disminución se debe a que la masa es menos resistente.

4.2.6. Análisis fisicoquímico de la pasta

- Humedad

Los tratamientos T0, T1, T2 y T3 presentaron niveles de humedad dentro de los límites establecidos por la Norma INEN 616:2010, que estipula un máximo de 30 % para pasta fresca y 13 % para pasta seca. Esta conformidad normativa indica que todas las formulaciones evaluadas tienen una humedad adecuada para garantizar la inocuidad, estabilidad y conservación del producto. Comparativamente, Acevedo et al. (2014) reportaron valores de humedad en pastas de ajonjolí elaboradas artesanalmente (5.2 %) y tecnificadas (3.5 %), observándose una menor humedad en la versión tecnificada, lo cual favorece su estabilidad. Todos los tratamientos cumplen la norma; sin embargo, valores más bajos como los observados en la pasta tecnificada (3.5 %) son preferibles, ya que mejoran la vida útil del producto.

- Acidez

En todos los tratamientos (T0 a T3), los valores de acidez oscilan entre 0.079 y 1.81 %, manteniéndose por debajo del límite máximo establecido por la norma INEN 616:2010, que permite hasta 0.2 ml de NaOH 0.1 N/g. De acuerdo con Ramírez (2015), en su estudio sobre la evaluación de características fisicoquímicas y sensoriales de pasta tipo Fettuccini con sustitución parcial de la haría de trigo por almidón de yuca y cáscara de huevo, se reportó un valor de acidez de 2.41 %. Estos resultados indican que las pastas elaboradas presentan buena calidad, reflejada en su frescura y la ausencia de fermentación o deterioro. Aunque todos los tratamientos cumplen con la normativa, los valores más bajos de acidez son preferibles, ya que sugieren una mayor estabilidad química y mejor aceptabilidad sensorial.

- Ceniza

Se observó que los valores de ceniza en las pastas frescas oscilan entre 2.35 y 2.58 y en pastas secas presentaron resultados de 2.50 y 3.49 de todos los tratamientos superaron el límite establecido por la normativa INEN 616:2010 (máximo 1.0 %). Este exceso puede deberse al uso de harinas integrales o ingredientes funcionales adicionados. Estudios como el de Acevedo et al. (2014) obtuvieron un valor de 0.70 % en pasta artesanal y 0.77 % en pasta tecnificada, señalando que el uso de harinas no convencionales, como la de ajonjolí o de frutos, tiende a incrementar el contenido de cenizas. Desde el punto de vista normativo, ninguno de los tratamientos es óptimo.

Sin embargo, un mayor contenido de ceniza puede ser aceptable si se justifica como aporte nutricional (minerales) y se declara correctamente en el etiquetado.

- Proteínas

Respecto al contenido proteico, solo el tratamiento T3 cumple con el valor mínimo exigido por la INEN 616:2010, que es 10.5 %. Los demás tratamientos (T0, T1 y T2) presentan valores inferiores, lo que limita su clasificación dentro de las categorías de pastas enriquecidas o de alto valor nutricional. Por su parte, Acevedo et al. (2014) observaron en pastas de ajonjolí elaboradas de forma tecnificada un contenido de proteínas de 23.8 %, superior al de las pastas artesanales (20.53 %), demostrando que el método de procesamiento puede influir significativamente en la concentración proteica. El tratamiento T3 representa el mejor resultado entre las formulaciones analizadas, al cumplir con el mínimo requerido. Sin embargo, las pastas tecnificadas descritas por Acevedo et al. (2014) ofrecen un contenido proteico aún más alto, siendo ideales para productos con valor funcional o dietético.

- Grasa

En cuanto a las pastas, se observará un incremento progresivo en el extracto etéreo al aumentar la proporción de harina de chontaduro, con valores de 1.69 ± 0.00 % para T0 hasta 2.33 ± 0.03 % en T3 (18 % de chontaduro). Este resultado es consistente con lo esperado, pues la harina de chontaduro presenta un contenido lipídico notablemente mayor (14.09 %) que la harina de trigo. Sin embargo, Espinales (2020) manifiesta que el contenido de extracto etéreo en la pasta elaborada con harina de trigo es de 1.84 %, siendo ligeramente menor a los datos obtenidos. Además, el resultado se encuentra dentro del rango establecido (2 %) por la NTE INEN 616:2015 para productos convencionales derivados del trigo; debido a la limitada presencia natural de lípidos en el endospermo del grano, por la que tienden a presentar un bajo contenido graso natural.

Este incremento en la grasa puede influir positivamente en características sensoriales, mejorando sabor, textura y aporte calórico, a la vez que le confiere un valor nutricional diferencial debido a la presencia de ácidos grasos insaturados característicos de la fruta de chontaduro (Martínez et al., 2017).

4.2.7. Evaluación sensorial

- Color

El tratamiento T3 presentó la puntuación media más alta en color con 3.82 ± 0.75 , seguido por T2 con 3.58 ± 1.60 , mientras que T1 y T0 obtuvieron puntuaciones menores (3.47 ± 0.93 y 3.27 ± 0.94 respectivamente). Sin embargo, el análisis estadístico arrojó un p-valor de 0.0147, indicando que no existen diferencias significativas en la percepción del color entre los tratamientos, lo que sugiere que los evaluadores perciben similares características visuales en las muestras. Aunque no hay diferencias significativas, el tratamiento T3 mostró la mayor puntuación en color, indicando una mejor aceptación visual. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Pérez et al. (2017), quienes encontraron que la adición de ingredientes funcionales no alteró significativamente la percepción del color en productos similares ($p > 0.05$), aunque pequeñas variaciones favorecieron la aceptación visual. El tratamiento T3 es el mejor en cuanto a color, ya que presenta la mayor puntuación y puede ofrecer un atractivo visual superior para los consumidores.

- Olor

En cuanto al olor, T2 obtuvo la puntuación más alta (3.75 ± 2.58), seguida por T3 (3.47 ± 0.83). Los tratamientos T1 y T0 presentaron valores inferiores (3.38 ± 0.94 y 3.22 ± 0.87 , respectivamente). El p-valor fue de 0.4452, lo que indica que no hay diferencias estadísticamente significativas en la percepción olfativa entre los tratamientos. El tratamiento T2 presentó el mejor desempeño en olor, aunque la diferencia no es significativa. Similarmente, González y Martínez (2019) observaron que la incorporación de harinas alternativas no afectó significativamente la aceptación olfativa general ($p = 0.38$), especialmente con niveles moderados de sustitución. El tratamiento T2 es el mejor en olor, mostrando una ligera preferencia olfativa que podría favorecer su aceptación.

- Sabor

El sabor fue mejor valorado en T2 (3.58 ± 1.01), seguido muy de cerca por T3 y T1 (3.55 ± 0.95 y 3.55 ± 0.93 respectivamente), mientras que T0 tuvo la puntuación más baja (3.20 ± 1.12). El p-valor de 0.1851 indica que las diferencias en la percepción del sabor no fueron significativas entre los tratamientos. T2 se destacó levemente en sabor, pero sin diferencias estadísticas significativas respecto a los otros tratamientos. Estos

hallazgos coinciden con Silva et al. (2018), quienes reportaron que la incorporación de ingredientes con alto contenido de fibra mejoró el sabor sin generar rechazo sensorial ($p = 0.12$), especialmente en sustituciones inferiores al 20 %. Comentario: El tratamiento T2 se posiciona como el mejor en sabor, ofreciendo un perfil gustativo favorable para los evaluadores.

- Textura

La textura mostró diferencias significativas entre los tratamientos, con un p-valor de 0.0071. T2 obtuvo la puntuación más alta (3.65 ± 1.04), mientras que T0 tuvo la puntuación más baja (3.12 ± 1.08). Esto indica que las diferencias en textura fueron perceptibles para los evaluadores y que T2 fue claramente preferido. En línea con esto, Rodríguez et al. (2020) señalaron que la adición de harina de frutas ricas en fibra mejoró la textura y la aceptación de productos horneados debido a la interacción con la matriz del producto, observando diferencias significativas ($p < 0.01$). Comentario: El tratamiento T2 es el mejor en textura, aportando una sensación agradable y mejor aceptación sensorial.

- Aceptación general

La aceptación global fue mejor para T2 (3.82 ± 0.85), seguido muy de cerca por T3 (3.78 ± 0.92). Los tratamientos T1 y T0 obtuvieron puntuaciones más bajas (3.43 ± 0.87 y 3.40 ± 0.94 , respectivamente). El p-valor de 0.0327 indica diferencias significativas en la aceptación general, confirmando que T2 fue el tratamiento más aceptado. Estos resultados están respaldados por Herrera et al. (2016), quienes encontraron mejoras significativas en la aceptación global con sustituciones parciales de harinas enriquecidas ($p = 0.03$), atribuyendo esta mejora a un balance óptimo entre atributos sensoriales. Comentario: El tratamiento T2 es el mejor en aceptación general, reflejando una preferencia clara y significativa para este formulado entre los evaluadores.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- El proceso de secado convectivo permitió obtener harina de chontaduro con un rendimiento de 55.52 %, evidenciando una mayor eficiencia en la extracción de materia seca, para lo cual esta técnica es adecuada para la transformación y aprovechamiento del fruto, contribuyendo a la valorización de subproductos agroindustriales.
- Los análisis fisicoquímicos de la harina cumplen con los parámetros establecidos por la Norma Ecuatoriana INEN 616, lo que garantiza su calidad y aptitud para el consumo humano. Los resultados microbiológicos confirmaron que la harina es segura y no presenta riesgos para la salud, cumpliendo con los requisitos de inocuidad.
- La incorporación de harina de chontaduro influyó en las propiedades reológicas y funcionales de la pasta. Se observaron variaciones en la textura, el índice de comportamiento (n), y otros parámetros fisicoquímicos, manteniéndose dentro de rangos aceptables que permiten considerar la harina como un ingrediente funcional viable en la formulación de pastas. Los tratamientos formulados para la producción de pasta tipo fettuccini con harina de chontaduro (T1, T2 y T3) presentaron un comportamiento viscoelástico pseudoplástico, caracterizado por una disminución de la viscosidad conforme aumentó la tasa de corte, lo que es típico en sistemas ricos en almidón y proteínas. El tratamiento T3, con el 18 % de harina de chontaduro, mostró la mayor resistencia mecánica, lo que sugiere que la adición de harina de chontaduro refuerza la estructura de la masa debido a su contenido de proteínas.
- La prueba sensorial tipo hedónica de 5 puntos reveló que las pastas elaboradas con diferentes porcentajes de sustitución fueron bien aceptadas por los evaluadores, aunque se identificaron ligeras diferencias entre tratamientos los resultados de la evaluación sensorial de las pastas elaboradas con harina de chontaduro muestran que los tratamientos T2 (12 % harina de

chontaduro) y T3 (18 % harina de chontaduro) obtuvieron las puntuaciones más altas en color, olor, sabor y aceptación general, aunque las diferencias en estos aspectos no fueron estadísticamente significativas. Sin embargo, la textura presentó diferencias significativas, con T2 destacándose como el tratamiento con mejor puntuación.

5.2. RECOMENDACIONES

- Optimizar el proceso de secado por convección, explorando temperaturas y tiempos que permitan mejorar el rendimiento sin comprometer las propiedades nutricionales y microbiológicas de la harina, siendo útil realizar un análisis de costos para evaluar la viabilidad económica de escalar este proceso a nivel industrial.
- Se debe explorar el comportamiento de la masa en procesos de amasado y laminado automatizados, evaluando su estabilidad y elasticidad en condiciones industriales, analizando el impacto de diferentes porcentajes de sustitución en la calidad de la pasta durante la cocción, para identificar la formulación que combine mejor propiedades sensoriales y estructurales.
- La evaluación sensorial mostró resultados positivos; sin embargo, se recomienda realizar estudios adicionales que incluyan grupos de consumidores con diferentes perfiles demográficos y hábitos alimenticios, ofreciendo información más detallada sobre las preferencias de sabor, textura y color, además de evaluar la aceptación frente a productos convencionales del mercado.
- Es necesario estudiar la vida útil del producto bajo diversas condiciones de almacenamiento, incluyendo temperaturas controladas y humedad relativa, para determinar los parámetros ideales de conservación, así como el análisis de cómo las propiedades reológicas y fisicoquímicas se ven afectadas después de largos periodos de almacenamiento y durante la cocción.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdel-Aziz, M. E. (2019). The Mixolab Parameters of Wheat/Quinoa Composite Flour and Their Relation to Quality Characteristics. In *Egyptian J. of Nutrition* (Issue 2).
- A. Cerpa, P. Tartaj, & T. García-González. (2003). Estudio comparativo del comportamiento reológico de muestras lateríticas de diferentes yacimientos que procesa la Empresa Moa Niquel S.A. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, 23(1), 03–08.
- Acevedo, D., Montero, P. M., & Marrugo, Y. A. (2014a). Caracterización Reológica de Pastas untuosas Artesanal y Tecnificada de Ajonjolí (*Sesamum indicum*) Cultivado en Zambrano-Bolívar (Colombia). *Información tecnológica*, 25(4), 73–78. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000400010>
- Acevedo, D., Montero, P. M., & Marrugo, Y. A. (2014b). Caracterización Reológica de Pastas untuosas Artesanal y Tecnificada de Ajonjolí (*Sesamum indicum*) Cultivado en Zambrano-Bolívar (Colombia). *Información tecnológica*, 25(4), 73–78. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000400010>
- Ambrosio, A. F., Guerrero Ortiz, M. A., Salgado Sánchez, A. F., Sotelo Díaz, L. I., & Vernot, D. (2020). *Chontaduro y coco en salsa de ciencia, cultura y técnica* (E. Franco, Ed.; Primera). Universidad de La Sabana. <https://doi.org/10.5294/978-958-12-0565-3>
- Basto, G. J., Carvalho, C. W. P., Soares, A. G., Costa, H. T. G. B., Chávez, D. W. H., Godoy, R. L. de O., & Pacheco, S. (2016). Physicochemical properties and carotenoid content of extruded and non-extruded corn and peach palm (*Bactris gasipaes*, Kunth). *LWT*, 69, 312–318. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2015.12.065>
- Bravo, E. D., & Moreno, L. J. (2015). Evaluación de las propiedades fisicoquímicas y sensoriales del pan tipo molde con sustitución parcial de harina de chontaduro (*bactris gasipaes*) var. Rojo cauca. *Universidad de La Salle Bogotá*, 1–89.
- Bravo Pérez, E. D., & Moreno Prada, L. J. (2015). *Evaluación de las propiedades fisicoquímicas y sensoriales del pan tipo molde con sustitución parcial de harina de chontaduro (Bactris Gasipaes) var. Rojo cauca*. Universidad de La Salle. Facultad de Ingeniería. Ingeniería de Alimentos. <https://hdl.handle.net/20.500.14625/32838>
- Cuaycal, J. A., Diaz, A. T., Jurado, Y. C., Velásquez, Y. A., Universidad, M., & Gomajoa, H. A. (2023). *Caracterización fisicoquímica del fruto de chontaduro*. 10(3), 180–185.
- De Ingeniería, C., & Biotecnología, E. N. (s/f). *Universidad regional amazónica ikiam facultad de ciencias de la vida*.

- Dussán-Sarria, S., Cruz-Noguera, R. E. D. la, & Godoy, S. P. (2019). Estudio del Perfil de Aminoácidos y Análisis Proximal de Pastas Secas Extruidas a Base de Harina de Quinua y Harina de Chontaduro. *Información tecnológica*, 30(6), 93–100. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000600093>
- Dussán-Sarria, S., Cruz-Noguera, R. E. D. la, Godoy, S. P., Dussán-Sarria, S., Cruz-Noguera, R. E. D. la, & Godoy, S. P. (2019). Estudio del Perfil de Aminoácidos y Análisis Proximal de Pastas Secas Extruidas a Base de Harina de Quinua y Harina de Chontaduro. *Información tecnológica*, 30(6), 93–100. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000600093>
- Dussán-Sarria, S., Cruz-Noguera, R. E. D. la, Godoy, S. P., Dussán-Sarria, S., Cruz-Noguera, R. E. D. la, & Godoy, S. P. (2019). Estudio del Perfil de Aminoácidos y Análisis Proximal de Pastas Secas Extruidas a Base de Harina de Quinua y Harina de Chontaduro. *Información tecnológica*, 30(6), 93–100. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000600093>
- Dussán-Sarria, S., Hurtado-Hurtado, D. L., & Camacho-Tamayo, J. H. (2019a). Granulometría, Propiedades Funcionales y Propiedades de Color de las Harinas de Quinua y Chontaduro. *Información tecnológica*, 30(5), 3–10. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000500003>
- Dussán-Sarria, S., Hurtado-Hurtado, D. L., & Camacho-Tamayo, J. H. (2019b). Granulometría, Propiedades Funcionales y Propiedades de Color de las Harinas de Quinua y Chontaduro. *Información tecnológica*, 30(5), 3–10. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000500003>
- Escobar, J. A., Asanza Novillo, G. M., Herrera, B., & Gonzalez Rivera, J. E. (2016). Caracterización físico-química de harinas de especies vegetales para la agroindustria ecuatoriana. *Revista Amazónica. Ciencia y Tecnología*, 5(2), 159–168. <https://doi.org/10.59410/racyt-v05n02ep05-0141>
- Farías Pérez, C., Espinoza Hernández, Á., & Fernández Barros, G. (2019). Análisis del comportamiento reciente del precio de la harina de panificación. *Estudios y Políticas Agrarias -Odepa*.
- Felipe, A., Chaves, M., David, J., & Hernández, V. (2018a). *Evaluación de las propiedades funcionales de harina de chontaduro (Bactris gasipaes) mediante secado por convección*. <http://repositorio.unicauca.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/1720>
- Fuentes, S., Estrada, B., Fuentes, S., & Estrada, B. (2023). Alimentación escolar y educación alimentaria: tendencias recientes en la investigación en América Latina entre 2005 y 2021. *Revista Educación*, 47(1), 588–604. <https://doi.org/10.15517/REVEDU.V47I1.51724>
- Gloria Pascual Chagman, & Joaquín Zapata Huamán. (2010). Sustitución parcial de harina de trigo (*Triticum aestivum* L.) por harina de kiwicha usando el método directo y esponja y masa, en la elaboración de pan. *Rev soc quím*, 76(4), 378–391.

- Godoy, S. P., Motta, E. L., Forero, C. L., Diaz, D. E., & Luna, G. A. (2006). Estandarización de harina de chontaduro para fortalecer su cadena productiva en el departamento del Cauca. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 4(1), 105–111. <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/633>
- Hambre e inseguridad alimentaria | FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (s/f). Recuperado el 3 de mayo de 2025, de <https://www.fao.org/hunger/es>
- Harina de origen vegetal. Determinación de la pérdida por calentamiento , pub. L. No. 518, inen 518 (2006).
- Ianushkevych, O., Grynchenko, N., Radchenko, A., Smetanska, I., Marynin, A., & Hrynchenko, O. (2025). Determining the influence of technological factors on the microstructural and rheological parameters of sauces with emulsion structure. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(11 (134)), 33–41. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.325417>
- INEN. (2013). *Cereales y leguminosas. Determinación del contenido en nitrógeno y cálculo del contenido de proteína bruta. Método de kjeldahl (idt)*.
- INEN 616. (2015). Nte Inen 616. *Inen, Harina de Trigo. Requisitos*, 8.
- Jiménez-Vera, V., Aguilar Martínez, D., & Martínez-Manrique, E. (2018). *Investigación y Desarrollo en Ciencia Elaboración de una pasta de sémola tipo Fettuccine enriquecida con chía blanca (Salvia hispanica L.) con alto valor nutrimental (Vol. 3)*.
- Lascano Sumbana, A. V. (2010). *Estudio reológico de mezclas de harinas de cereales: cebada (hordeum vulgare), maíz (zea mays), quinua (chenopodium quinoa), trigo (triticum vulgare) y tubérculo: papa (solanum tuberosum) nacionales con trigo (triticum vulgare) importado para orientar su uso en la elaboración de pan y pastas Alimenticias*. <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/867>
- Martínez-Girón, J., Rodríguez-Rodríguez, X., Pinzón-Zárate, L. X., & Ordóñez-Santos, L. E. (2017). Caracterización fisicoquímica de harina de residuos del fruto de chontaduro (*Bactris gasipaes* Kunth, Arecaceae) obtenida por secado convectivo. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 18(3), 599–613. https://doi.org/10.21930/rcta.vol18_num3_art:747
- Menéndez, N. (2022). *Sustitución parcial de harina de trigo (triticum aestivum L.) por la de arroz (Oryza sativa L.) y la objetida de fréjol mungo (Vigna radiata) para la elaboración de fideos tipo spagueti*. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/17935/1/T-UCSG-PRE-TEC-CIA-85.pdf>
- Meneses Quelal, O., & Pulles, M. B. (2025). Nutritional, Functional and Microbiological Potential of Andean *Lupinus mutabilis* and *Amaranthus* spp. in the Development of Healthy Foods—A Review. *Foods*, 14(12), 2059. <https://doi.org/10.3390/foods14122059>

- Molano Cetina, L. G. (2011a). Tesis de grado. *Biomédica*, 31(sup3.2). <https://doi.org/10.7705/biomedica.v31i0.530>
- Molano Cetina, L. G. (2011b). Tesis de grado. *Biomédica*, 31(sup3.2). <https://doi.org/10.7705/biomedica.v31i0.530>
- Montero, E. C., Andrea, C., & Díaz, J. (2006). *Universidad de Chile facultad de ciencias químicas y farmacéuticas departamento de ciencia de los alimentos y tecnología química estudio de las propiedades reológicas de la masa para pastas a base de harina de quinoa memoria para optar al título de ingeniero en alimentos.*
- Montoya, J., Giraldo, G. A., & Sánchez, L. T. (2019). Efecto de Diferentes Aditivos sobre el Comportamiento Reológico de Masas de Harina de Plátano Dominicano Hartón (*Musa paradisiaca* L.). *Información tecnológica*, 30(4), 3–12. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000400003>
- Peralta, S. P., & Álvarez, K. O. (2024). Análisis de los principales indicadores socioeconómicos del sector agropecuario ecuatoriano (2000-2022). *Perspectivas Rurales Nueva Época*, 22(43), 1–32. <https://doi.org/10.15359/PRNE.22-43.12>
- Ponce, M., Navarrete, D., & Vernaza, M. G. (2018). Sustitución Parcial de Harina de Trigo por Harina de Lupino (*Lupinus mutabilis* Sweet) en la Producción de Pasta Larga. *Información tecnológica*, 29(2), 195–204. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000200195>
- Por, E., Valencia, R., Montúfar, R., Navarrete, H., & Balslev, H. (s/f). *PALMAS ECUATORIANAS: BIOLOGÍA Y USO SOSTENIBLE.*
- Quijosaca, O., & Santiago, R. (2014). *Escuela superior politecnica de chimborazo facultad de salud pública escuela de gastronomía.*
- Ramírez. (2015). *Evaluación de características físicas, químicas y sensoriales de pasta Fettuccine con sustitución parcial de la harina de trigo por almidón de yuca y cáscara de huevo.*
- Reyes Cuesta, R., Bastidas, S., & Peña Rojas, E. A. (2000). Caracterización de frutos de chontaduro (*bactris gasipaes* k.) de la región de Tumaco, Colombia. *Revista de Ciencias Agrícolas*, ISSN-e 2256-2273, ISSN 0120-0135, Vol. 17, N.º. 1, 2000 (Ejemplar dedicado a: *Revista de Ciencias Agrícolas - Primer semestre, Enero - Junio 2000*), págs. 45-61, 17(1), 45–61. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6191542&info=resumen&idioma=SPA>
- Sánchez Ramos, C. E. (2024). *Las cocinas del Paraíso: un paseo por las culturas gastronómicas regionales de Colombia* (E. Robayo, Ed.; Primera, Vol. 3). Universidad de La Sabana. <https://doi.org/10.5294/978-958-12-0667-4>
- Sánchez-Malusin, E., Sánchez-Malusin, T., García- Muñoz, M., Bayas-Morejón, F., & Vásquez-Coloma, H. (2022). Sustitución parcial de harina de trigo (*triticum aestivum* L) por harina de zapallo (*cucúrbita máxima*) en la elaboración de

extruidos de origen alimentario cultivadas en Ecuador. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 3(2), 1568–1580. <https://doi.org/10.56712/latam.v3i2.202>

Subcomité Nacional CCMAS. (2022). *Métodos Oficiales del Codex Alimentarius para Análisis Proximal y Constituyentes Nutricionales para Alimentos y Bebidas*.

Suryam Dora, D. (2017). Studies on variation in milk production and it's constituents during different season, stage of lactation and parity in gir cows m.v.sc d suryam dora livestock, 6–18.

Valdes Restrepo, M., Londoño Hernández, L., & Ortiz Grisales, S. (2023). Panificación con harinas compuestas de trigo y ahuyama (Cucurbita moschata Duchesne). *Temas Agrarios*, 28(1), 46–55. <https://doi.org/10.21897/rta.v28i1.3198>

Velásquez-Barreto, F. F., Velezmoro, C., Molina, L., & Lima, P. (2018). Propiedades reológicas y viscoelásticas de almidones de tubérculos andinos. *Scientia Agropecuaria*, 9(2), 189–197. <https://doi.org/10.17268/SCI.AGROPECU.2018.02.03>

Velasteguí Núñez, M., & Torres Jurado, F. (2020). Universidad estatal amazónica carrera de ingeniería agropecuaria proyecto de investigación para la obtención del título de ingeniero agropecuario.

Verdesoto Yugcha, J. A. (2025). *Sustitución parcial de harina de trigo por harina de chontaduro (Bactris gasipaes) en la elaboración de pastas compuestas tipo spaghetti*. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología. Carrera de Alimentos. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/43884>

VII. ANEXOS

Anexo 1. Acta de la sustentación de Predefensa del TIC



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI



FACULTAD DE INDUSTRIAS AGROPECUARIAS Y CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA DE ALIMENTOS

ACTA

DE LA SUSTENTACIÓN ORAL DE LA PREDEFENSA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

ESTUDIANTE:	MARTÍNEZ CHUGÁ NAYELI STEFANIA	CÉDULA DE IDENTIDAD:	0401988774
PERIODO ACADÉMICO:	2025A		
PRESIDENTE TRIBUNAL	PhD. MIGUEL ANGEL ANCHUNDIA LUCAS	DOCENTE TUTOR:	PhD. MARCO RUBEN BURBANO PULLES
DOCENTE:	MSC. WILMAN JENNY YAMBAY VALLEJO		
TEMA DEL TIC: "Sustitución de harina de trigo (<i>Triticum</i>) por harina de chontaduro (<i>Bactris gasipaes</i>) en la elaboración de una pasta tipo fideualla"			
No.	CATEGORÍA	Evaluación cuantitativa	OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES
1	PROBLEMA - OBJETIVOS	7,00	Los resultados de los objetivos deben estar bien claros, bien discutidos y con sustento científico
2	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	7,00	Debe estudiar y adueñarse de los fundamentos teóricos y técnicos en lo que están sustentado el tema de estudio
3	METODOLOGÍA	7,00	Debe explicar los diagramas y revisar las operaciones unitarias utilizadas en cada proceso, revisar la forma de cuan
4	RESULTADOS	7,00	Debe indicar las diferencias significativas en los resultados, en los resultados sensorial debe revisar la elección de la n
5	DISCUSIÓN	7,00	Profundizar y ampliar la explicación de los resultados obtenidos en el estudio
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	7,00	Revisar en base a los objetivos planteados
7	DEFENSA, ARGUMENTACIÓN Y VOCABULARIO PROFESIONAL	7,00	Debe estudiar para la defensa, evitar la lectura durante la exposición y debe tener un vocabulario técnico
8	FORMATO, ORGANIZACIÓN Y CALIDAD DE LA INFORMACIÓN	7,00	Revisar redacción, ortografía y norma APA.

Obteniendo una nota de: 7,00 Por lo tanto, **APRUEBA**; debiendo el o los investigadores acatar el siguiente artículo:

Art. 36.- De los estudiantes que aprueban el informe final del TIC con observaciones.- Los estudiantes tendrán el plazo de 10 días para proceder a corregir su informe final del TIC de conformidad a las observaciones y recomendaciones realizadas por los miembros del Tribunal de sustentación de la pre-defensa.

Para constancia del presente, firman en la ciudad de Tulcán el viernes, 29 de agosto de 2025

PhD. MIGUEL ANGEL ANCHUNDIA LUCAS
PRESIDENTE TRIBUNAL

PhD. MARCO RUBEN BURBANO PULLES
DOCENTE TUTOR

MSC. WILMAN JENNY YAMBAY VALLEJO
DOCENTE

Anexo 2. Certificado del abstract por parte de idiomas



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI FOREIGN
AND NATIVE LANGUAGES CENTER

ABSTRACT- EVALUATION SHEET				
NAME: Martínez Chugá Nayeli Stefania DATE: Lunes, 10 de noviembre de 2025 Topic: "Sustitución de harina de trigo (Triticum) por harina de chontaduro (Bactris gasipaes) en la elaboración de una pasta tipo fettuccini" MARKS AWARDED QUANTITATIVE AND QUALITATIVE				
VOCABULARY AND WORD USE	Use new learnt vocabulary and precise words related to the topic	Use a little new vocabulary and some appropriate words related to the topic	Use basic vocabulary and simplistic words related to the topic	Limited vocabulary and inadequate words related to the topic
	EXCELLENT: 2 <input type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
WRITING COHESION	Clear and logical progression of ideas and supporting paragraphs.	Adequate progression of ideas and supporting paragraphs.	Some progression of ideas and supporting paragraphs.	Inadequate ideas and supporting paragraphs.
De	EXCELLENT: 2 <input type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
ARGUMENT	The message has been communicated very well and identify the type of text	The message has been communicated appropriately and identify the type of text	Some of the message has been communicated and the type of text is little confusing	The message hasn't been communicated and the type of text is inadequate
	EXCELLENT: 2 <input type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
CREATIVITY	Outstanding flow of ideas and events	Good flow of ideas and events	Average flow of ideas and events	Poor flow of ideas and events
	EXCELLENT: 2 <input type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
SCIENTIFIC SUSTAINABILITY	Reasonable, specific and supportable opinion or thesis statement	Minor errors when supporting the thesis statement	Some errors when supporting the thesis statement	Lots of errors when supporting the thesis statement
	EXCELLENT: 2 <input type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
TOTAL/AVERAGE	9 - 10: EXCELLENT 7 - 8,9: GOOD 5 - 6,9: AVERAGE 0 - 4,9: LIMITED		TOTAL 9	



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL
CARCHI- FOREIGN AND NATIVE LANGUAGES
CENTER**

**Informe sobre el Abstract de Artículo Científico
o Investigación.**

Autor: Martínez Chugá Nayeli Stefania

Fecha de recepción del abstract: Miércoles, 5 de noviembre de 2025

Fecha de entrega del informe: Lunes, 10 de noviembre de 2025

El presente informe validará la traducción del idioma español al inglés si alcanza un porcentaje de: 9 – 10 Excelente.

Si la traducción no está dentro de los parámetros de 9 – 10, el autor deberá realizar las observaciones presentadas en el ABSTRACT, para su posterior presentación y aprobación.

Observaciones:

Después de realizar la revisión del presente abstract, éste presenta una apropiada traducción sobre el tema planteado en el idioma Inglés. Según la rúbrica de evaluación de la traducción en Inglés, ésta alcanza un valor de 9; por lo cual se valida dicho trabajo.

Atentamente



MA. Martha Viveros
Responsable del
CIDEN

Anexo 3. Memorias



Figura 37. Cocción del chontaduro



Figura 38. Pelado del chontaduro



Figura 39. Troceado del chontaduro



Figura 40. Secado del chontaduro



Figura 41. Molienda del chontaduro



Figura 42. Tamizado de la harina de chontaduro



Figura 43. Almacenado de la harina de chontaduro



Figura 44. Humedad de la harina de chontaduro



Figura 45. Acidez de la harina de chontaduro



Figura 46. Determinación de proteína en harina de chontaduro



Figura 47. Ceniza de la harina de chontaduro



Figura 48. Analisis microbiológico de Coliformes y E.coli de la harina de chontaduro



Figura 49. Analisis microbiológico de Aerobios de la harina de chontaduro



Figura 50. Analisis microbiológico de Mohos y Levaduras de la harina de chontaduro



Figura 51. Elaboración de la pasta con harina de trigo y chontaduro



Figura 52. Masas de los tratamientos de la pasta



Figura 53. Humedad pasta fresca de la pasta fettuccini con harina de trigo y harina de chontaduro



Figura 54. Humedad pasta seca de la pasta fettuccini con harina de trigo y harina de chontaduro



Figura 55. Ceniza de la pasta fresca fetuccini con harina de trigo y harina de chontaduro



Figura 56. Ceniza de la pasta fresca fetuccini con harina de trigo y harina de chontaduro



Figura 57. Acidez de la pasta fetuccini con harina de trigo y harina de chontaduro



Figura 58. Proteína de la pasta fetuccini con harina de trigo y harina de chontaduro



Figura 59. Análisis de viscosidad de la masa de la pasta fetuccini

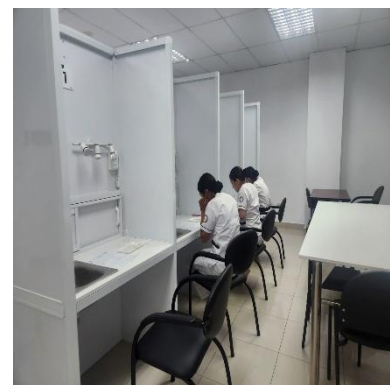


Figura 60. Análisis sensorial de la pasta fetuccini

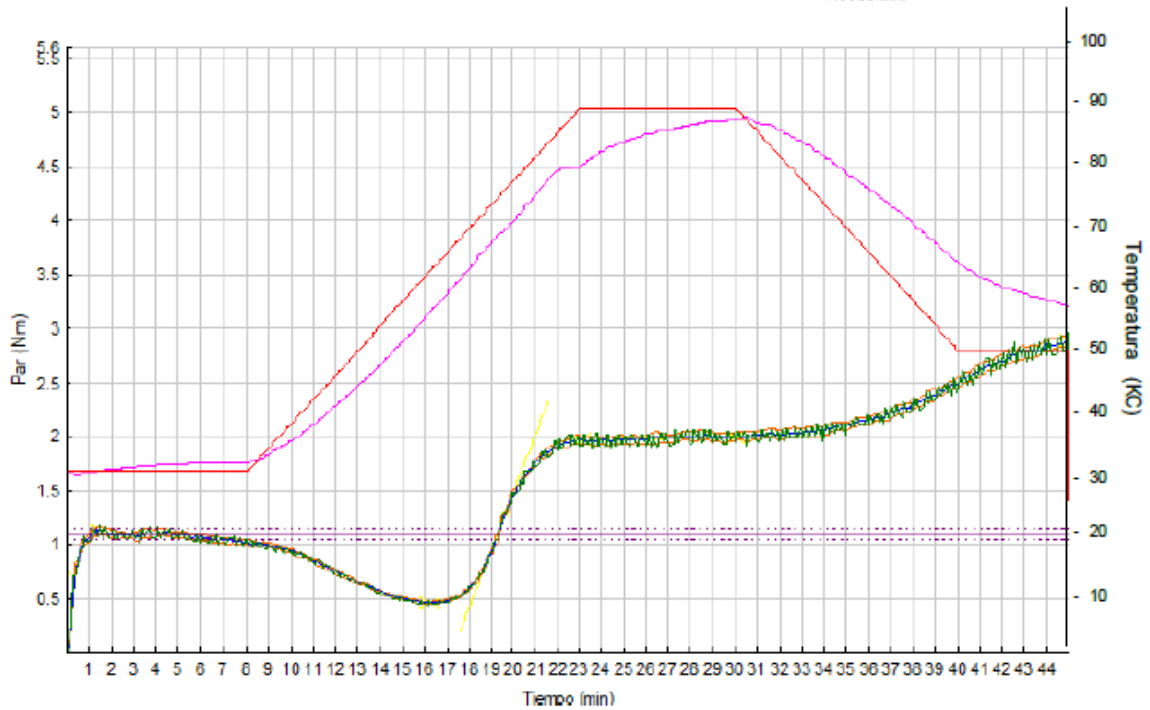
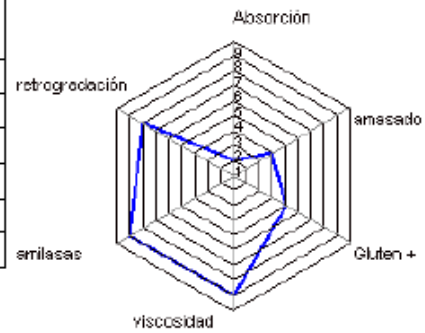
Tulcan
Ecuador
92390 VILLENEUVE LA GARENNE
FRANCE

UPEC - 545 hume 12 TRIGO R21

Fecha : 26/02/2025 Hora : 17:50 Protocolo : Chopin+
 Hydration : 54.5 % base 14% (b14) Peso de la masa : 75.0 g
 Contenido de 12.0 % Temperatura del depósito : 30.0 9C
 Indice: 1-34-887 Velocidad de amasado : 80 rpm

α :	-0.098	Nm/min
β :	0.538	Nm/min
γ :	0.004	Nm/min

	Tiempo (min)	Par (Nm)	Temp. Masa (9C)	Amplitud (Nm)	Estabilidad (min)
C1	1.45	1.133	30.0	0.074	8.40
CS	8.00	1.014	31.4		6.9
C2	16.25	0.458	56.2		
C3	23.00	1.978	80.8		
C4	30.00	2.002	88.2		
C5	45.02	2.901	57.4		



UPEC Amasado 1/1 N° de aparato : 918 Versión 4.1.3.16+4.11

Figura 61. Resultados tratamiento 0 repetición 2

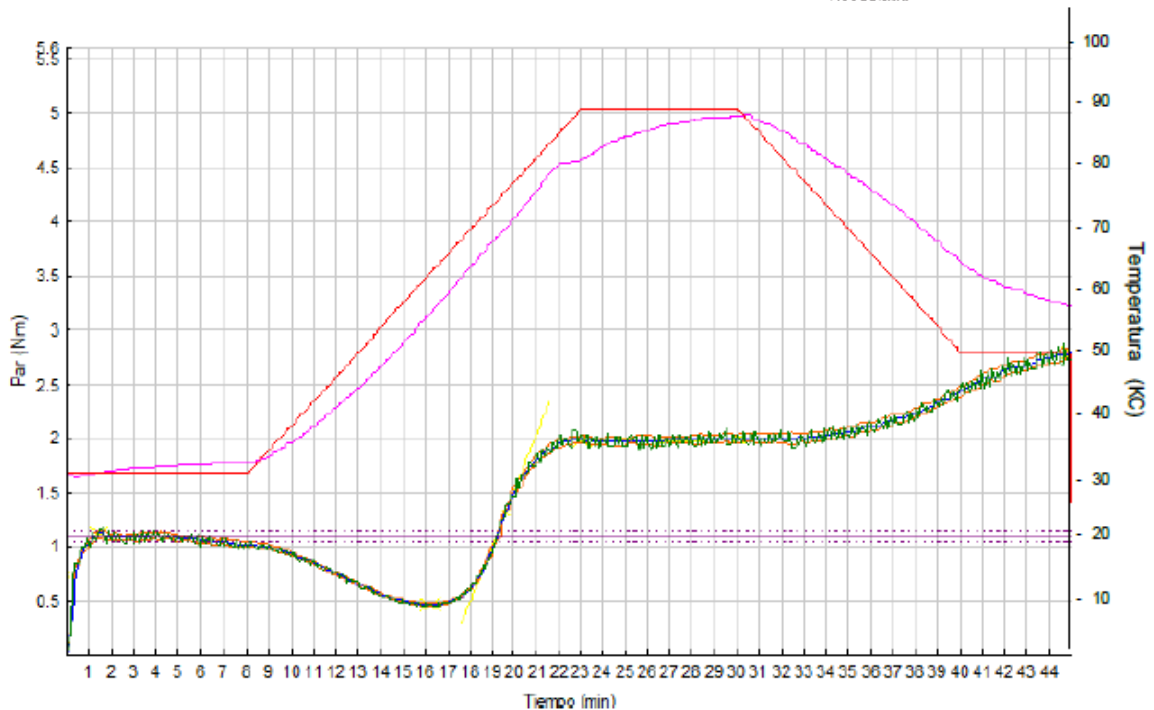
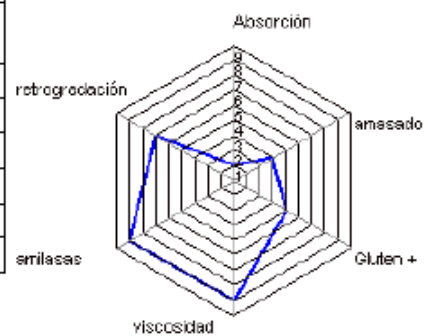
Tulcan
Ecuador
92390 VILLENEUVE LA GARENNE
FRANCE

UPEC - 545 hume 12 TRIGO R31

Fecha : 26/02/2025 Hora : 19:11 Protocolo : Chopin+
 Hydration : 54.5 % base 14% (b14) Peso de la masa : 75.0 g
 Contenido de 12.0 % Temperatura del depósito : 30.0 9C
 Indice: 1-34-886 Velocidad de amasado : 80 rpm

α :	-0.094	Nm/min
β :	0.522	Nm/min
γ :	-0.004	Nm/min

	Tiempo (min)	Par (Nm)	Temp. Masa (JC)	Amplitud (Nm)	Estabilidad (min)
C1	1.48	1.139	30.1	0.085	8.40
CS	8.00	1.021	31.6		6.8
C2	16.20	0.463	56.1		
C3	23.00	1.990	81.6		
C4	30.00	2.008	88.9		
C5	45.02	2.795	57.5		



UPEC

Amasado

1/1

Nº de aparato : 918

Versión 4.1.3.16+4.1t

Figura 62. Resultados tratamiento 0 repetición 3

Anexo 5. Análisis funcional tratamiento 1

Mixolab

Universidad Politecnica Estatal Carchi

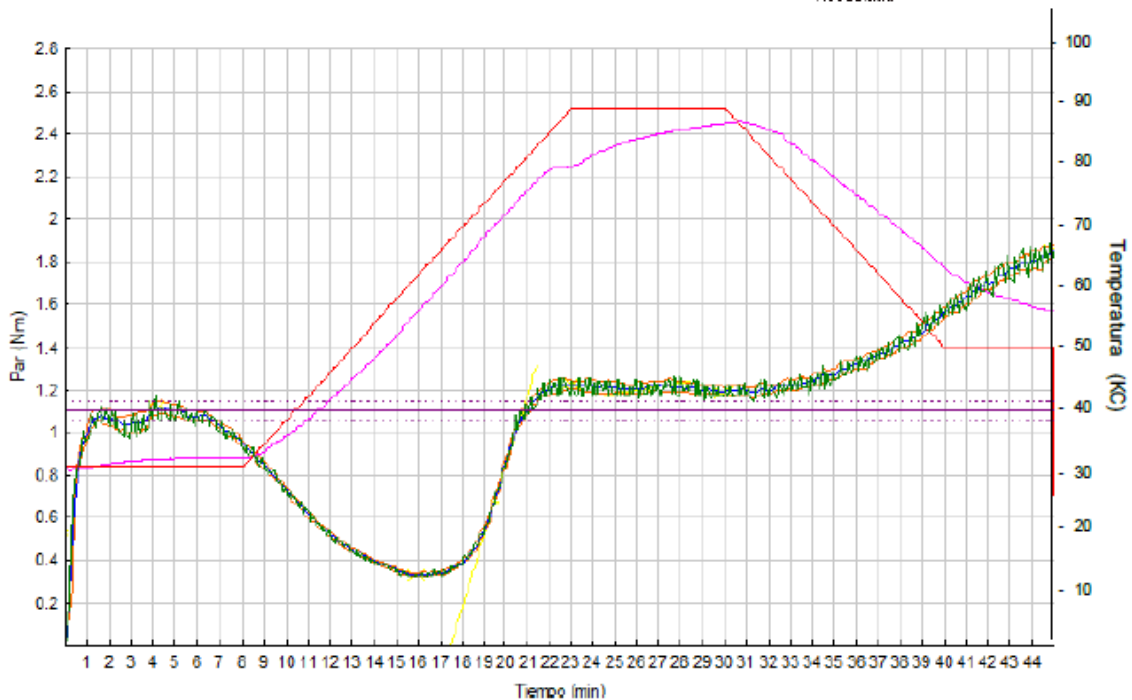
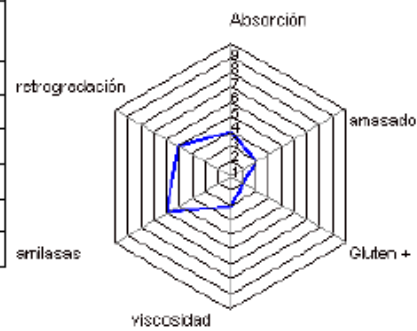
Tulcan
Ecuador
92390 VILLENEUVE LA GARENNE
FRANCE

CHOPIN
a KPM brand

UPEC - 10 chontaduro r11

Fecha :	03/06/2025	Hora :	20:29	Protocolo :	Chopin+		
Hydration :	56.4 % base 14% (b14)	Peso de la masa :	75.0 g	α :	-0.084 Nm/min		
Contenido de	9.0 %	Temperatura del depósito :	30.0 9C	β :	0.334 Nm/min		
Indice:	3-21-254	Velocidad de amasado :	80 rpm	γ :	0.018 Nm/min		

	Tiempo (min)	Par (Nm)	Temp. Masa (JC)	Amplitud (Nm)	Estabilidad (min)
C1	4.20	1.079	31.1	0.062	6.80
CS	8.00	0.951	31.4		4.7
C2	15.93	0.331	55.7		
C3	23.02	1.233	80.4		
C4	29.90	1.191	87.4		
C5	45.02	1.852	56.1		



UPEC Amasado 1/1 Nº de aparato : 918 Versión4.1.3.16+4.1t

Figura 63. Resultados tratamiento 1 repetición 1

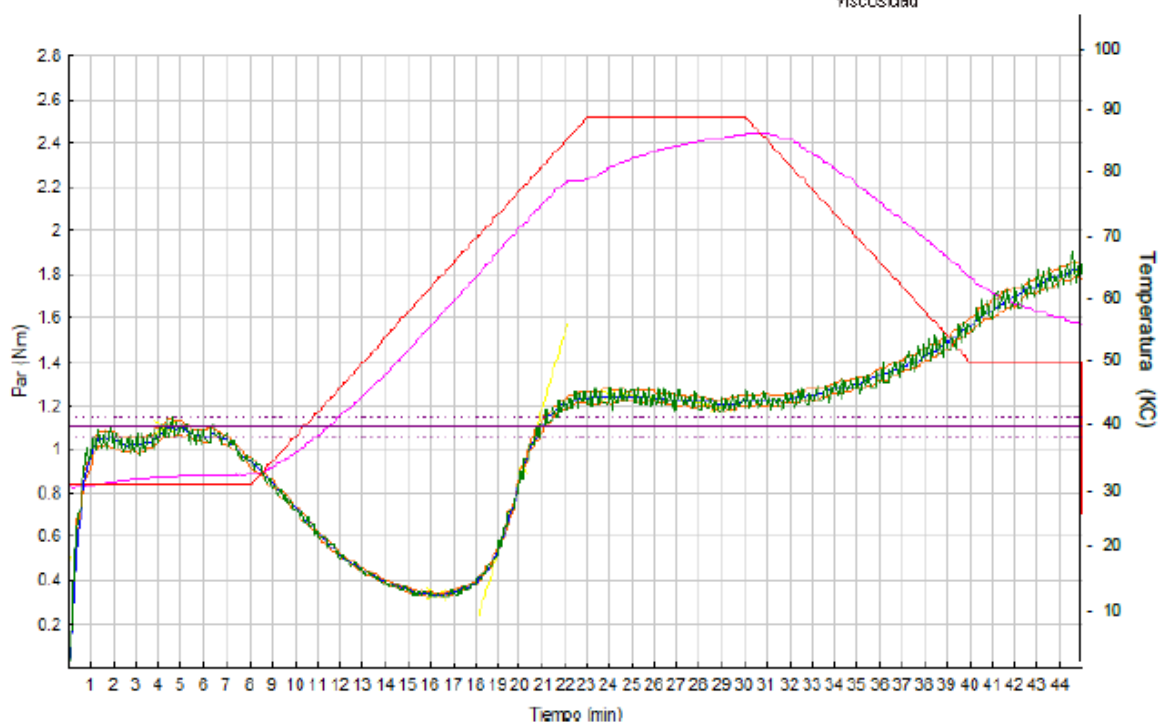
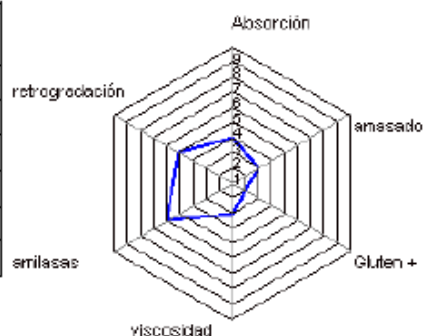
Tulcan
Ecuador
92390 VILLENEUVE LA GARENNE
FRANCE

UPEC - 10 chontaduro r2

Fecha : 03/06/2025 Hora : 21:59 Protocolo : Chopin+
 Hydration : 56.4 % base 14% (b14) Peso de la masa : 75.0 g
 Contenido de 9.0 % Temperatura del depósito : 30.0 9C
 Indice: 3-21-254 Velocidad de amasado : 80 rpm

α :	-0.078	Nm/min
β :	0.336	Nm/min
γ :	-0.012	Nm/min

	Tiempo (min)	Par (Nm)	Temp. Masa (9C)	Amplitud (Nm)	Estabilidad (min)
C1	4.32	1.137	31.1	0.076	6.90
CS	8.00	0.949	31.6		4.6
C2	16.30	0.337	56.8		
C3	23.98	1.251	81.6		
C4	28.90	1.203	86.6		
C5	45.02	1.830	56.3		



UPEC

Amasado

1/1

Nº de aparato : 918

Versión 4.1.3.16+4.11

Figura 64. Resultados tratamiento 1 repetición 2

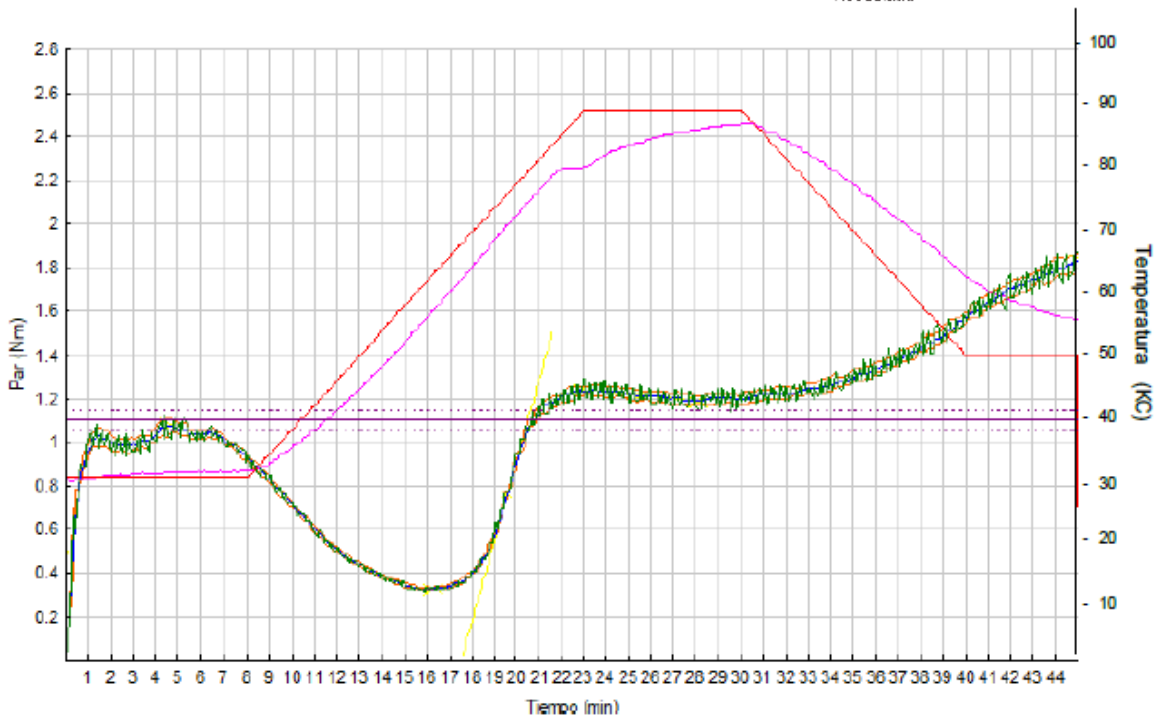
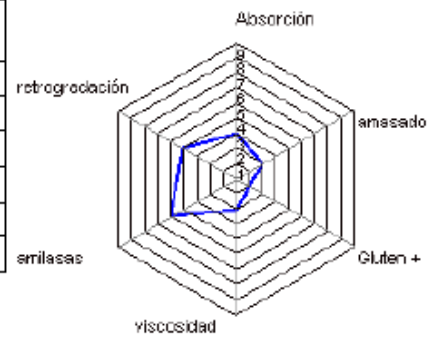
Tulcan
Ecuador
92390 VILLENEUVE LA GARENNE
FRANCE

UPEC - 10 chontaduro r3

Fecha : 04/06/2025 Hora : 17:34 Protocolo : Chopin+
 Hydration : 56.4 % base 14% (b14) Peso de la masa : 75.0 g
 Contenido de 9.0 % Temperatura del depósito : 30.0 9C
 Indice: 3-21-254 Velocidad de amasado : 80 rpm

α :	-0.088	Nm/min
β :	0.370	Nm/min
γ :	-0.010	Nm/min

	Tiempo (min)	Par (Nm)	Temp. Masa (JC)	Amplitud (Nm)	Estabilidad (min)
C1	4.68	1.13	30.8	0.070	7.10
CS	8.00	0.935	31.1		4.6
C2	16.28	0.328	57.1		
C3	22.87	1.245	80.7		
C4	28.08	1.190	86.9		
C5	45.02	1.835	55.6		



UPEC

Amasado

1/1

Nº de aparato : 918

Versión 4.1.3.16+4.1t

Figura 65. Resultados tratamiento 1 repetición 3

Anexo 6. Análisis funcional tratamiento 2

Mixolab

CHOPIN Universidad Politecnica Estatal Carchi

Tulcan
Ecuador
92390 VILLENEUVE LA GARENNE
FRANCE

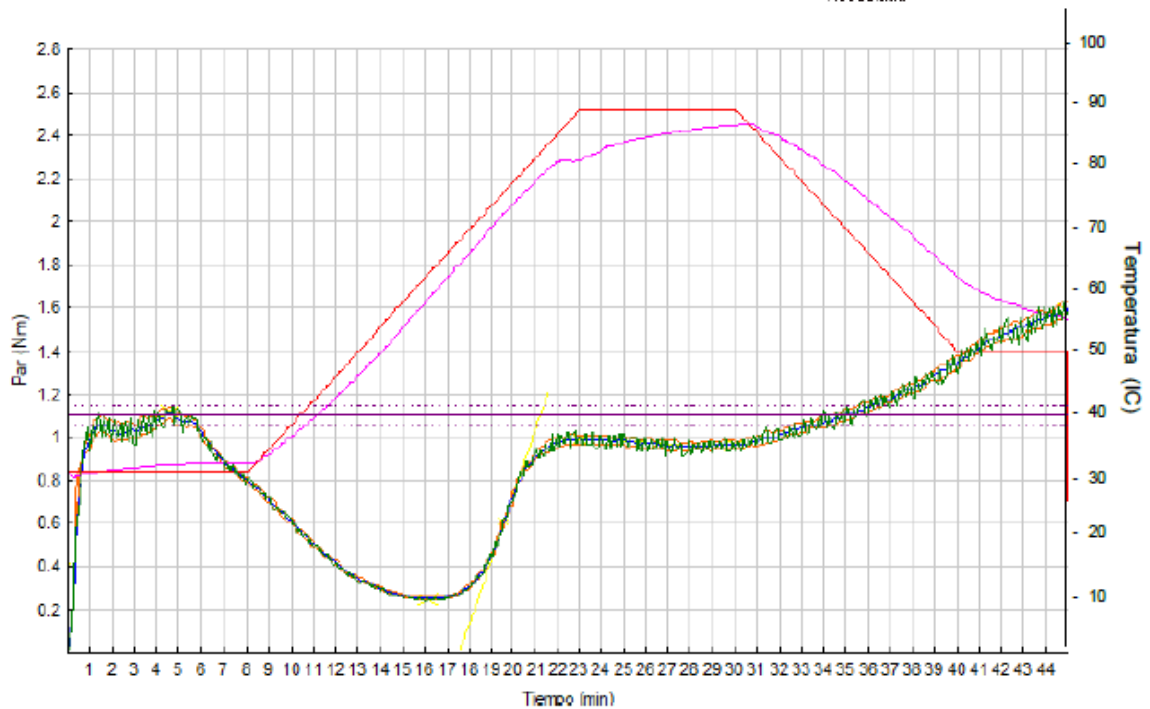
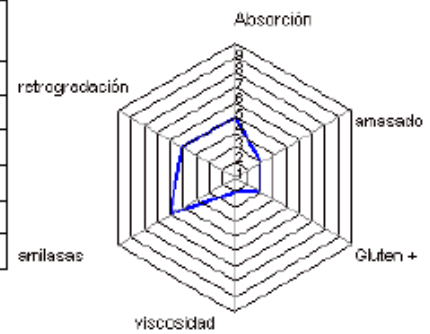


UPEC - 20 chontaduro re

Fecha : 04/06/2025 Hora : 19:24 Protocolo : Chopin+
 Hydration : 57.6 % base 14% (b14) Peso de la masa : 75.0 g
 Contenido de 9.0 % Temperatura del depósito : 30.0 8C
 Indice: 4-22-154 Velocidad de amasado : 80 rpm

α :	-0.096	Nm/min
β :	0.304	Nm/min
γ :	-0.008	Nm/min

	Tiempo (min)	Par (Nm)	Temp. Masa (HC)	Amplitud (Nm)	Estabilidad (min)
C1	4.63	1.102	31.1	0.051	5.40
C5	8.00	0.805	31.4		4.2
C2	16.17	0.252	58.5		
C3	23.00	0.994	81.6		
C4	30.00	0.968	87.4		
C5	45.02	1.589	55.1		



UPEC Amasado 1/1 N° de aparato : 918 Versión 4.1.3.16+4.1t

Figura 66. Resultados tratamiento 2 repetición 1

UPEC - 20 chontaduro r2

Fecha : 04/06/2025 Hora : 20:42 Protocolo : Chopin+
 Hydration : 57.6 % base 14% (b14) Peso de la masa : 75.0 g
 Contenido de 9.0 % Temperatura del depósito : 30.0 7C
 Indice: 4-22-154 Velocidad de amasado : 80 rpm

α :	-0.080	Nm/min
β :	0.304	Nm/min
γ :	-0.004	Nm/min

	Tiempo (min)	Par (Nm)	Temp. Masa (7C)	Amplitud (Nm)	Estabilidad (min)
C1	4.40	1.14	31.2	0.084	5.50
C5	8.00	0.821	31.5		4.4
C2	16.38	0.265	59.1		
C3	23.80	1.014	82.0		
C4	27.58	0.966	86.3		
C5	45.02	1.587	55.5		

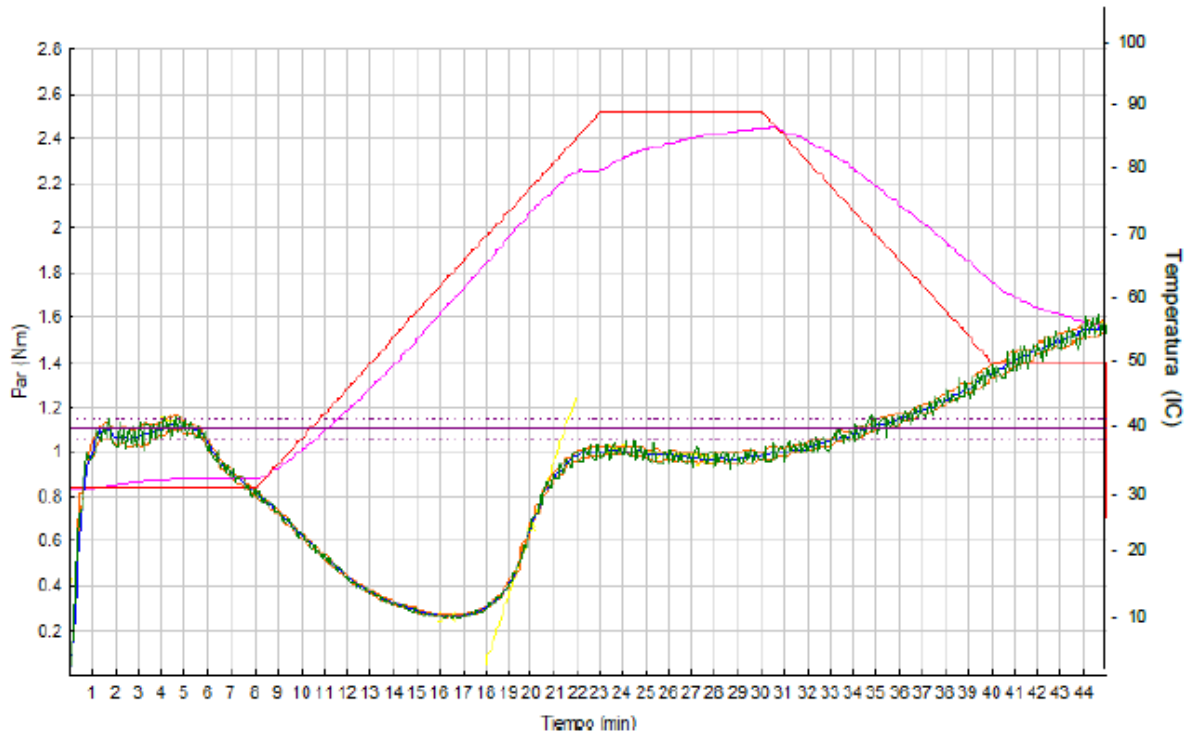


Figura 67. Resultados tratamiento 2 repetición 2

UPEC - 20chontaduro R3

Fecha : 04/06/2025 Hora : 22:45 Protocolo : Chopin+
 Hydration : 57.8 % base 14% (b14) Peso de la masa : 75.0 g
 Contenido de 9.0 % Temperatura del depósito : 30.0 7C
 Indice: 4-22-154 Velocidad de amasado : 80 rpm

α :	-0.058	Nm/min
β :	0.254	Nm/min
γ :	-0.024	Nm/min

	Tiempo (min)	Par (Nm)	Temp. Masa (HC)	Amplitud (Nm)	Estabilidad (min)
C1	4.40	1.102	31.5	0.062	5.40
CS	8.00	0.808	31.6		4.6
C2	16.65	0.264	58.6		
C3	23.00	1.005	80.6		
C4	30.00	0.997	87.6		
C5	45.02	1.575	55.9		

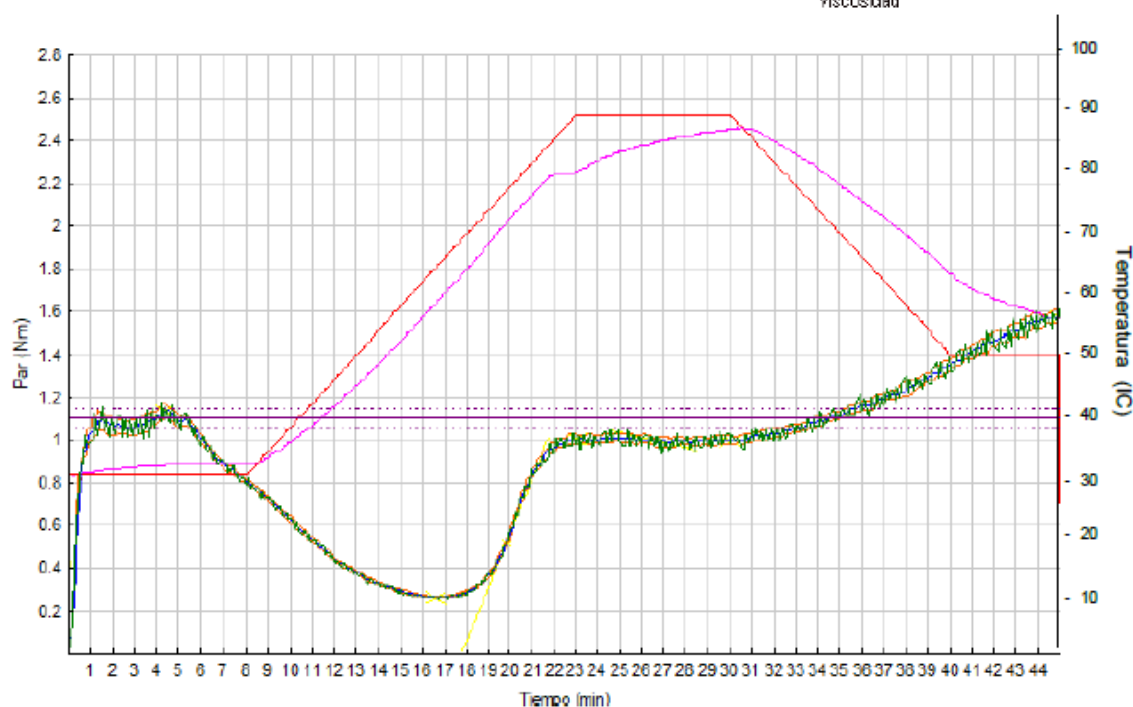
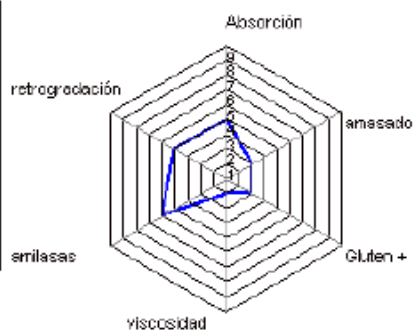


Figura 68. Resultados tratamiento 2 repetición 3

Anexo 7. Análisis funcional tratamiento 3

Mixolab

CHOPIN Universidad Politecnica Estatal Carchi

Tulcan
Ecuador
92390 VILLENEUVE LA GARENNE
FRANCE



UPEC - 30 chontaduro RE

Fecha :	04/06/2025	Hora :	23:52	Protocolo :	Chopin+	
Hydration :	58.8 % base 14% (b14)	Peso de la masa :	75.0 g	α :	-0.064	Nm/min
Contenido de	8.5 %	Temperatura del depósito :	30.0 8C	β :	0.208	Nm/min
Indice:	6-22-153	Velocidad de amasado :	80 rpm	γ :	-0.012	Nm/min

	Tiempo (min)	Par (Nm)	Temp. Masa (HC)	Amplitud (Nm)	Estabilidad (min)
C1	4.50	1.104	31.4	0.060	5.20
CS	8.00	0.743	31.7		4.3
C2	17.13	0.204	60.9		
C3	22.97	0.781	80.1		
C4	28.15	0.729	86.3		
C5	45.02	1.220	55.5		

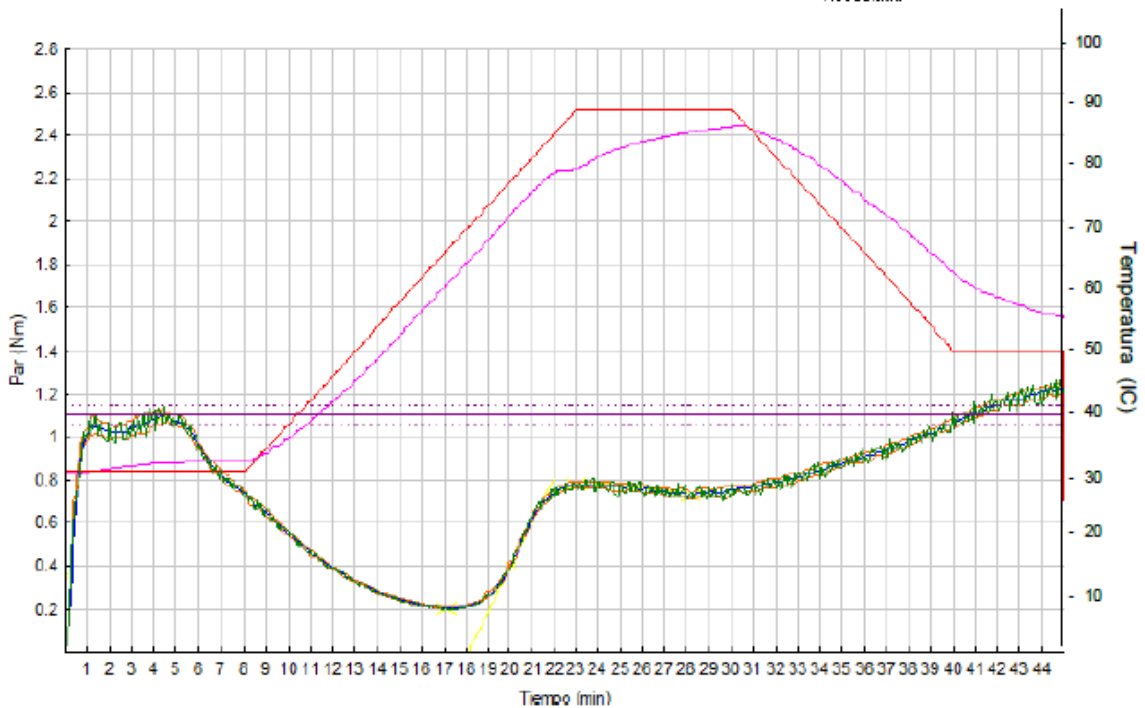
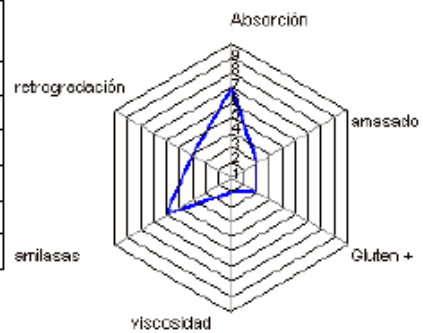


Figura 69. Resultados tratamiento 3 repetición 1

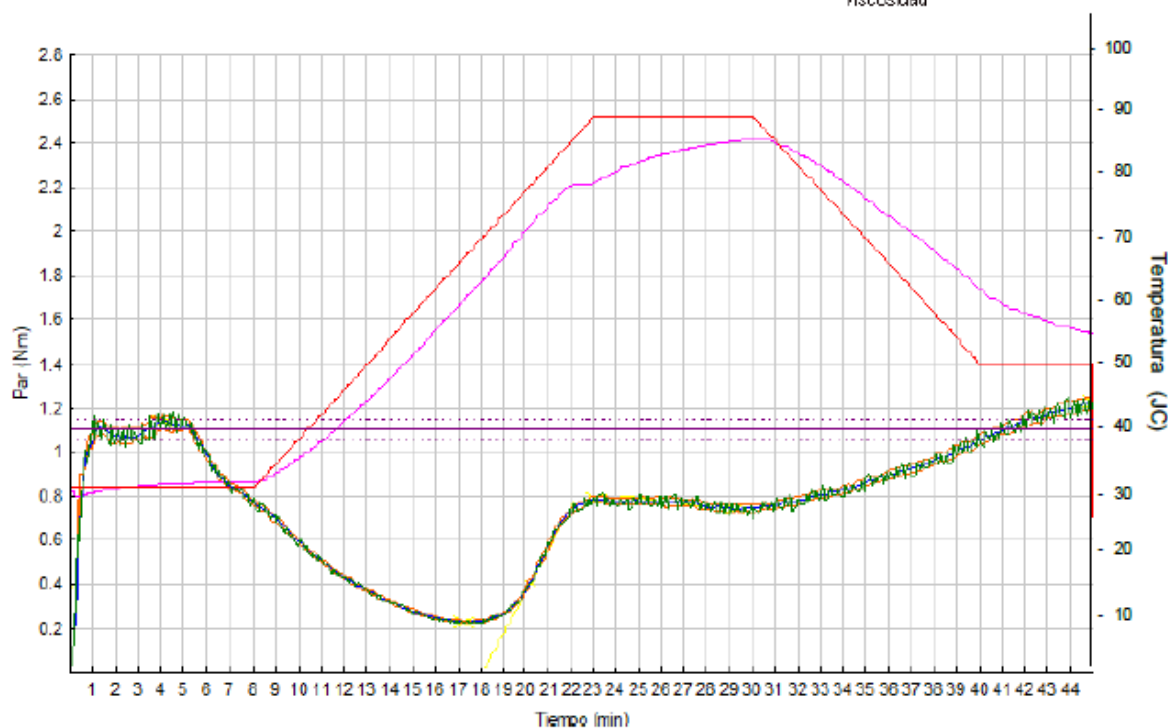
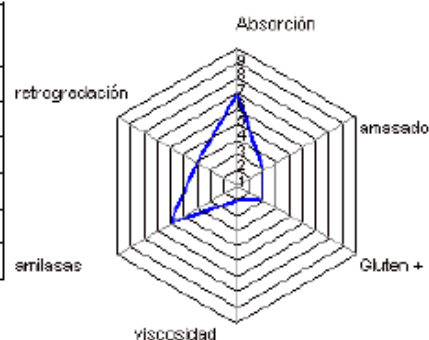
Tulcan
Ecuador
92390 VILLENEUVE LA GARENNE
FRANCE

UPEC - 30 chonta r4

Fecha : 05/06/2025 Hora : 17:17 Protocolo : Chopin+
 Hydration : 58.8 % base 14% (b14) Peso de la masa : 75.0 g
 Contenido de 8.5 % Temperatura del depósito : 30.0 9C
 Indice: 6-22-153 Velocidad de amasado : 80 rpm

α :	-0.058	Nm/min
β :	0.192	Nm/min
γ :	-0.014	Nm/min

	Tiempo (min)	Par (Nm)	Temp. Masa (1C)	Amplitud (Nm)	Estabilidad (min)
C1	4.10	1.104	30.6	0.066	5.20
CS	8.00	0.775	30.9		4.8
C2	17.28	0.229	60.3		
C3	23.10	0.788	79.4		
C4	29.20	0.744	86.1		
C5	45.00	1.229	54.9		



UPEC

Amasado

1/1

Nº de aparato : 918

Versión4.1.3.16+4.1t

TNC

Figura 70. Resultados tratamiento 3 repetición 2

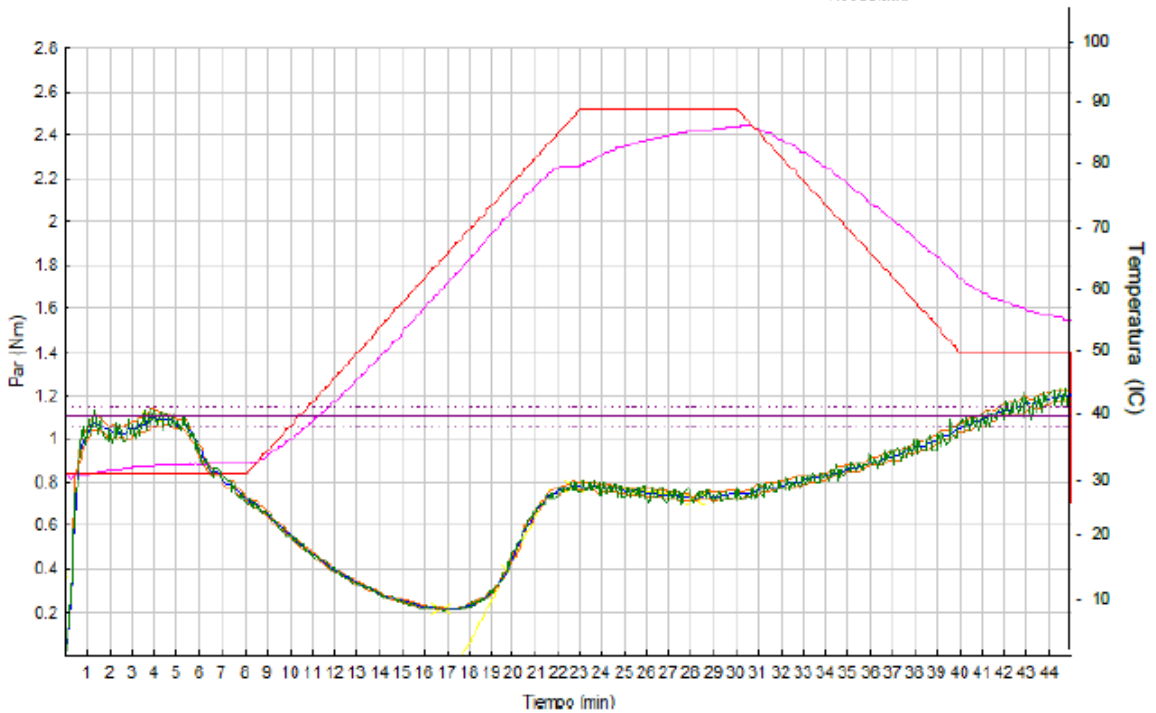
Tulcan
Ecuador
92390 VILLENEUVE LA GARENNE
FRANCE

UPEC - 30 chonta r5

Fecha : 05/06/2025 Hora : 18:19 Protocolo : Chopin+
 Hydration : 58.8 % base 14% (b14) Peso de la masa : 75.0 g
 Contenido de 8.5 % Temperatura del depósito : 30.0 9C
 Indice: 6-23-153 Velocidad de amasado : 80 rpm

α :	-0.062	Nm/min
β :	0.196	Nm/min
γ :	-0.010	Nm/min

	Tiempo (min)	Par (Nm)	Temp. Masa (HC)	Amplitud (Nm)	Estabilidad (min)
C1	3.95	1.102	31.2	0.085	5.30
C5	8.00	0.731	31.6		4.5
C2	16.78	0.216	60.2		
C3	22.72	0.785	80.5		
C4	28.12	0.722	86.4		
C5	45.00	1.208	55.1		



UPEC

Amasado

1/1

Nº de aparato : 918

Versión4.1.3.16+4.1t

Figura 71. Resultados tratamiento 3 repetición 3

Anexo 8. Gráficas de viscosidad tratamiento 0

Company:
Street:
City:

QM Report

Test | Info

Tesis Nayeli Tratamiento 1 2
e57c9952-802b-4fd1-sb7f-40f4baac3a04

Test created by operator: REOMETRO
Test creation date: 7/1/2025 17:09:33

Origin of project: Viscosity curve
4d1a6792-96cb-459c-991b-e4afbca77db1

Rheometer: MCR 302e SN83994166
Measuring System: PP25 SN89990

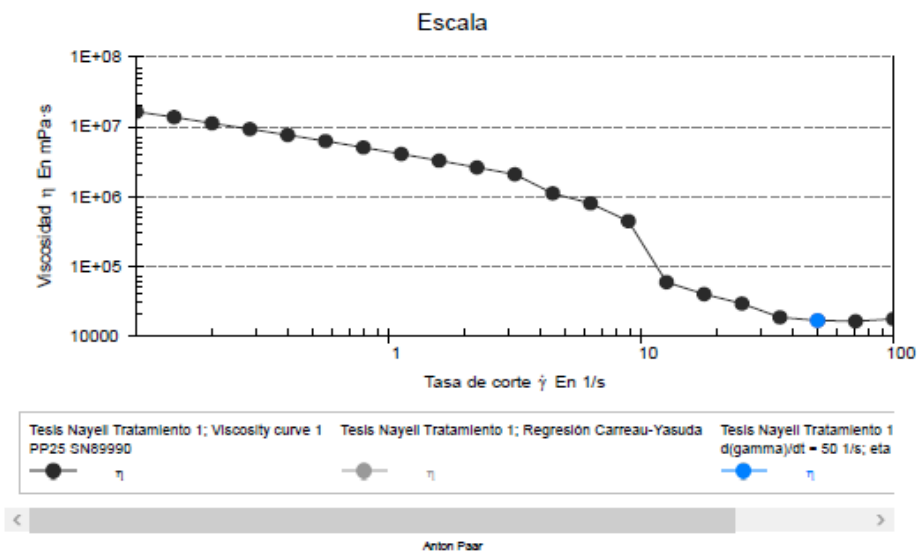
Sample | Info

Sample name: M2 T1 R3
Batch No.:
Description: M2 T1 R3

Result Data

Viscosity | 1st point: 2,294E+07 mPa·s
Viscosity | last point: 1,537E+04 mPa·s

Regression:
Interpolation: $d(\gamma)/dt = 50 \text{ 1/s}$; $\eta = 20660 \text{ mPa}\cdot\text{s}$



Measurement success state: OK
Project approval status: El proyecto se creó desde una plantilla no aprobada
Timestamp of printout: 8/7/2025 9:16:47

Signature of operator: _____ Name: Date:

Signature of approver: _____ Name: Date:

Página 1 de 1

Figura 72. Viscosidad/tasa de corte tratamiento 0 repetición 1

Company:
Street:
City:

QM Report

Test | Info

Tesis Nayeli Tratamiento 1 2
e57c9952-802b-4fd1-abf7-40f4baac3a04

Test created by operator: REOMETRO
Test creation date: 7/1/2025 17:09:33
Origin of project: Viscosity curve
4d1a6792-96cb-459c-991b-e4afbca77db1

Rheometer: MCR 302e SN83994166
Measuring System: PP25 SN89990

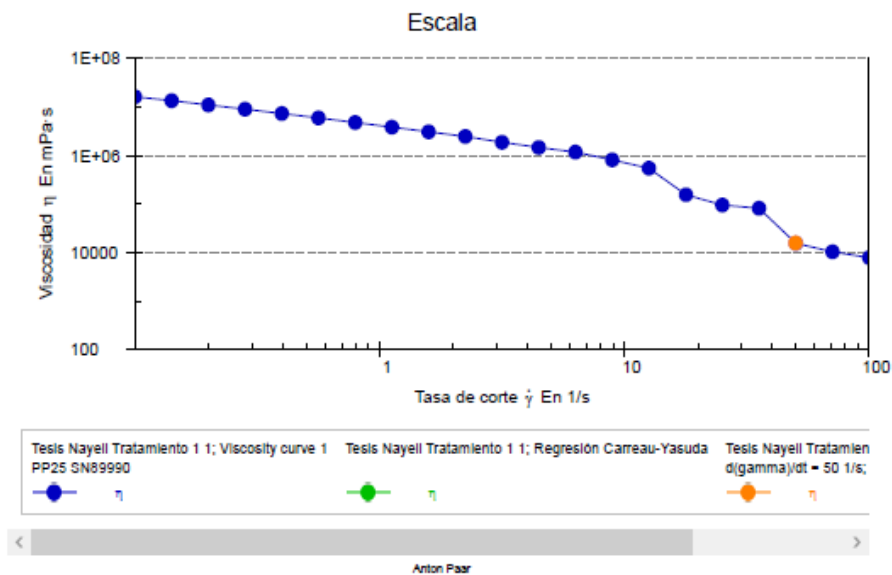
Sample | Info

Sample name: M2 T1 R3
Batch No.:
Description: M2 T1 R3

Result Data

Viscosity | 1st point: 2,294E+07 mPa·s
Viscosity | last point: 1,537E+04 mPa·s

Regression:
Interpolation: $d(\gamma)/dt = 50 \text{ 1/s}$; $\eta = 20660 \text{ mPa}\cdot\text{s}$



Measurement success state: OK
Project approval status: El proyecto se creó desde una plantilla no aprobada
Timestamp of printout: 8/7/2025 9:20:37

Signature of operator: _____ Name: Date:
Signature of approver: _____ Name: Date:

Figura 73. Viscosidad/tasa de corte tratamiento 0 repetición 2

Company:
Street:
City:

QM Report

Test | Info

Tesis Nayeli Tratamiento 1 2
e57c9952-802b-4fd1-abf7-40f4baac3a04

Test created by operator: REOMETRO
Test creation date: 7/1/2025 17:09:33
Origin of project: Viscosity curve
4d1a6792-96cb-459c-991b-e4afbc77db1

Rheometer: MCR 302e SN83994166
Measuring System: PP25 SN89990

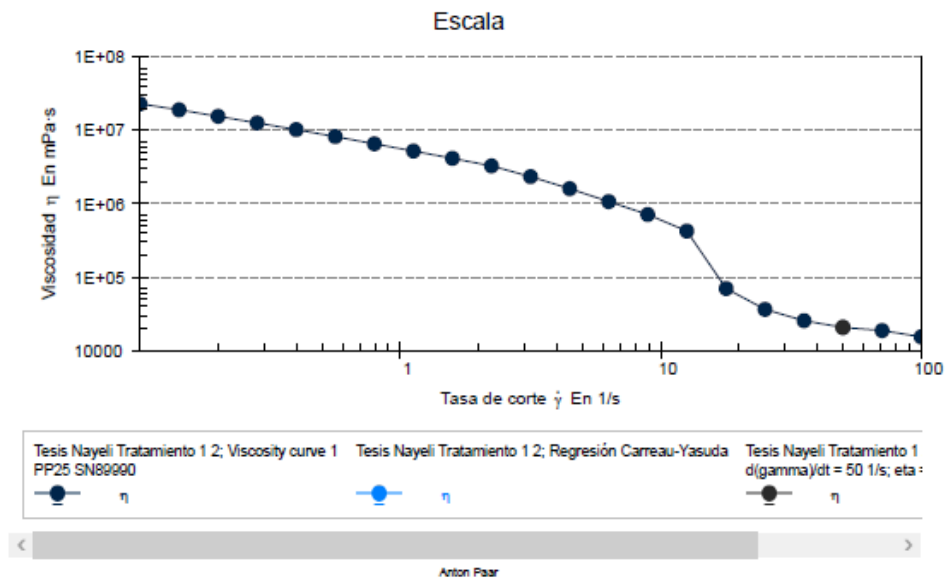
Sample | Info

Sample name: M2 T1 R3
Batch No.:
Description: M2 T1 R3

Result Data

Viscosity | 1st point: 2,294E+07 mPa·s
Viscosity | last point: 1,537E+04 mPa·s

Regression:
Interpolation: $d(\gamma)/dt = 50 \text{ 1/s}$; $\eta = 20660 \text{ mPa}\cdot\text{s}$



Measurement success state: OK
Project approval status: El proyecto se creó desde una plantilla no aprobada
Timestamp of printout: 8/7/2025 9:23:28

Signature of operator: _____ Name: Date:
Signature of approver: _____ Name: Date:

Figura 74. Viscosidad/tasa de corte tratamiento 0 repetición 3

Anexo 9. Gráficas de viscosidad tratamiento 1

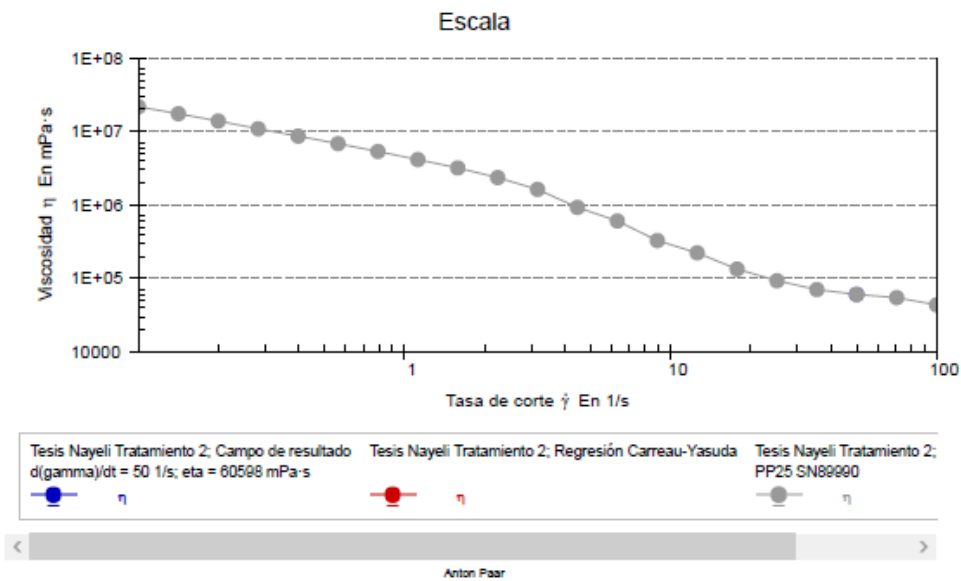
Company:
Street:
City:

QM Report

Test | Info
Tesis Nayeli Tratamiento 1 2
e57c9952-802b-4fd1-abf7-40f4baac3a04
Test created by operator: REOMETRO
Test creation date: 7/1/2025 17:09:33
Origin of project: Viscosity curve
4d1a6792-96cb-459c-991b-e4afbca77db1
Rheometer: MCR 302e SN83994166
Measuring System: PP25 SN89990

Sample | Info
Sample name: M2 T1 R3
Batch No.:
Description: M2 T1 R3

Result Data
Viscosity | 1st point: 2,294E+07 mPa·s
Viscosity | last point: 1,537E+04 mPa·s
Regression:
Interpolation: $d(\gamma)/dt = 50 \text{ 1/s}$; $\eta_a = 20660 \text{ mPa}\cdot\text{s}$



Measurement success state: OK
Project approval status: El proyecto se creó desde una plantilla no aprobada
Timestamp of printout: 8/7/2025 9:26:09

Signature of operator: _____ Name: Date: :
Signature of approver: _____ Name: Date: :

Figura 75. Viscosidad/tasa de corte tratamiento 1 repetición 1

Company:
Street:
City:

QM Report

Test | Info

Tesis Nayeli Tratamiento 1 2
e57c9952-802b-4fd1-abf7-40f4baac3a04

Test created by operator: REOMETRO
Test creation date: 7/1/2025 17:09:33

Origin of project: Viscosity curve
4d1a6792-96cb-459c-991b-e4afbca77db1

Rheometer: MCR 302e SN83994166
Measuring System: PP25 SN89990

Sample | Info

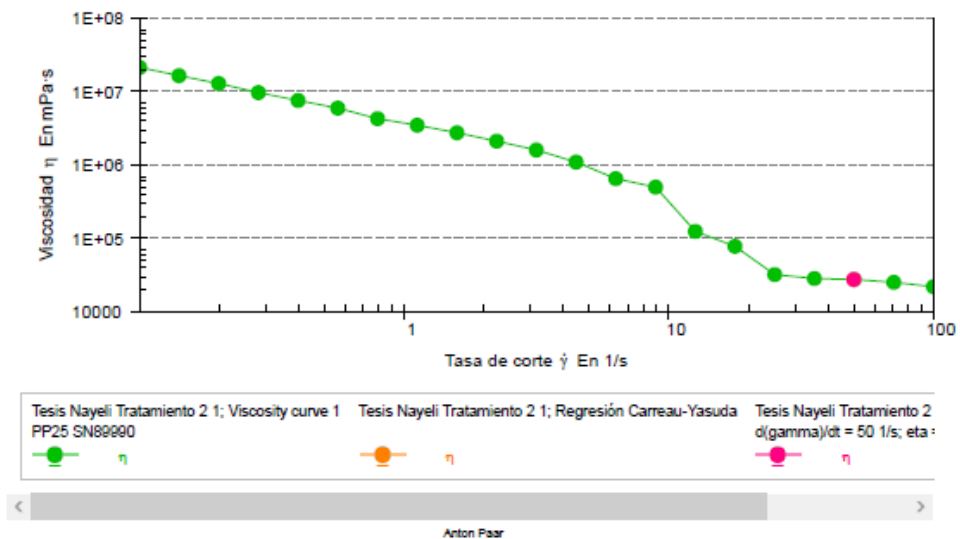
Sample name: M2 T1 R3
Batch No.:
Description: M2 T1 R3

Result Data

Viscosity | 1st point: 2,294E+07 mPa·s
Viscosity | last point: 1,537E+04 mPa·s

Regression:
Interpolation: $d(\gamma)/dt = 50 \text{ 1/s}$; $\eta = 20660 \text{ mPa}\cdot\text{s}$

Escala



Measurement success state: OK
Project approval status: El proyecto se creó desde una plantilla no aprobada
Timestamp of printout: 8/7/2025 9:27:23

Signature of operator: _____ Name: Date: :
Signature of approver: _____ Name: Date: :

Figura 76. Viscosidad/tasa de corte tratamiento 1 repetición 2

Company:
Street:
City:

QM Report

Test | Info

Tesis Nayeli Tratamiento 1 2
e57c9952-802b-4fd1-abf7-40f4baac3a04

Test created by operator: REOMETRO
Test creation date: 7/1/2025 17:09:33
Origin of project: Viscosity curve
4d1a6792-96cb-459c-991b-e4afbca77db1
Rheometer: MCR 302e SN83994166
Measuring System: PP25 SN89990

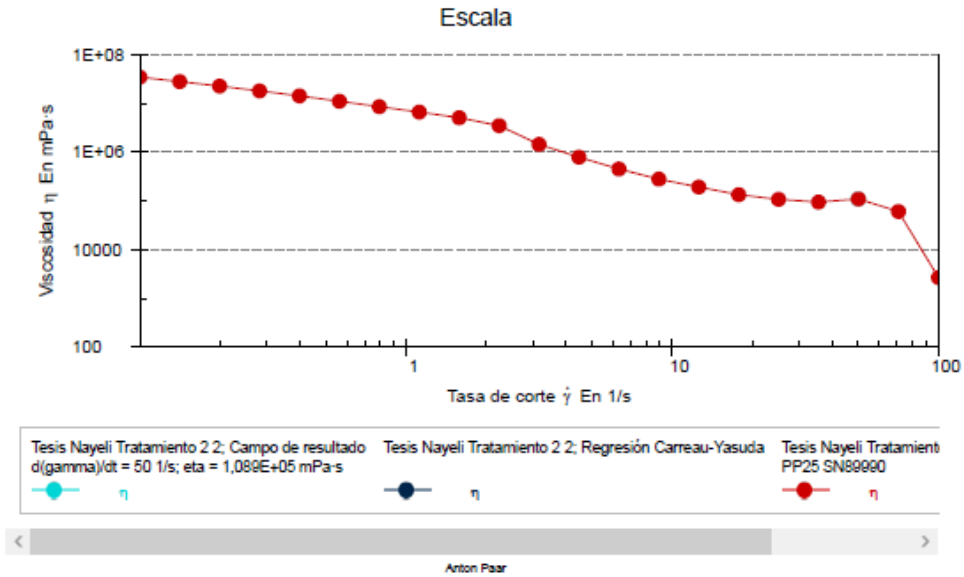
Sample | Info

Sample name: M2 T1 R3
Batch No.:
Description: M2 T1 R3

Result Data

Viscosity | 1st point: 2,294E+07 mPa·s
Viscosity | last point: 1,537E+04 mPa·s

Regression:
Interpolation: $d(\gamma)/dt = 50 \text{ 1/s}$; $\eta = 20660 \text{ mPa}\cdot\text{s}$



Measurement success state: OK
Project approval status: El proyecto se creó desde una plantilla no aprobada
Timestamp of printout: 8/7/2025 9:28:59

Signature of operator: _____ Name: Date:
Signature of approver: _____ Name: Date:

Figura 77. Viscosidad/tasa de corte tratamiento 1 repetición 3

Anexo 10. Gráficas de viscosidad tratamiento 2

Company:
Street:
City:

QM Report

Test | Info

Tesis Nayeli Tratamiento 1 2
e57c9952-802b-4fd1-abf7-40f4baac3a04

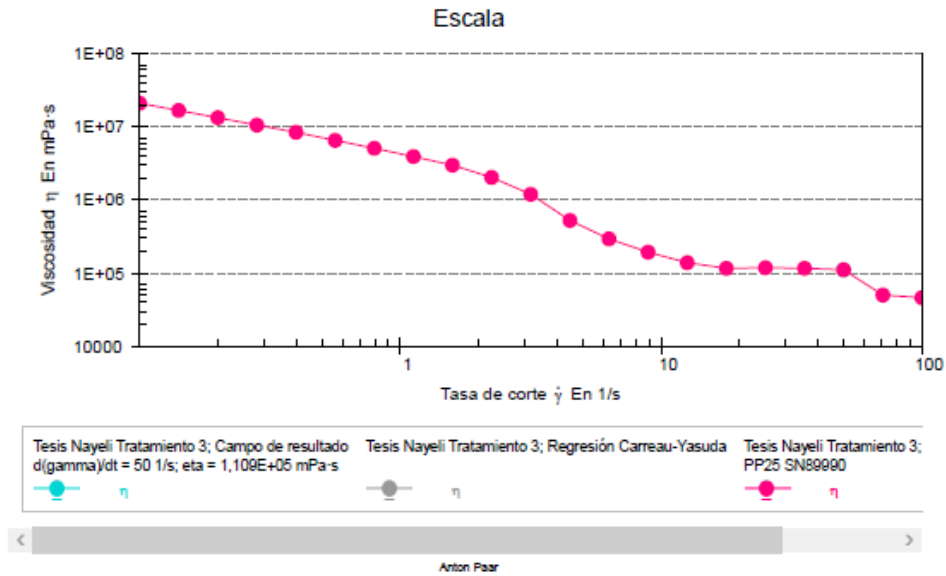
Test created by operator: REOMETRO
Test creation date: 7/1/2025 17:09:33
Origin of project: Viscosity curve
4d1a6792-96cb-459c-991b-e4afbca77db1
Rheometer: MCR 302e SN83994166
Measuring System: PP25 SN89990

Sample | Info

Sample name: M2 T1 R3
Batch No.:
Description: M2 T1 R3

Result Data

Viscosity | 1st point: 2,294E+07 mPa·s
Viscosity | last point: 1,537E+04 mPa·s
Regression:
Interpolation: $d(\gamma)/dt = 50 \text{ 1/s}$; $\eta = 20660 \text{ mPa}\cdot\text{s}$



Measurement success state: OK
Project approval status: El proyecto se creó desde una plantilla no aprobada
Timestamp of printout: 8/7/2025 9:30:10

Signature of operator: _____ Name: Date:

Signature of approver: _____ Name: Date:

Página 1 de 1

Figura 78. Viscosidad/tasa de corte tratamiento 2 repetición 1

Company:
Street:
City:

QM Report

Test | Info

Tesis Nayeli Tratamiento 1 2
e57c9952-802b-4fd1-abf7-40f4baac3a04

Test created by operator: REOMETRO
Test creation date: 7/1/2025 17:09:33
Origin of project: Viscosity curve
4d1a6792-96cb-459c-991b-e4afbc77db1

Rheometer: MCR 302e SN83994166
Measuring System: PP25 SN89990

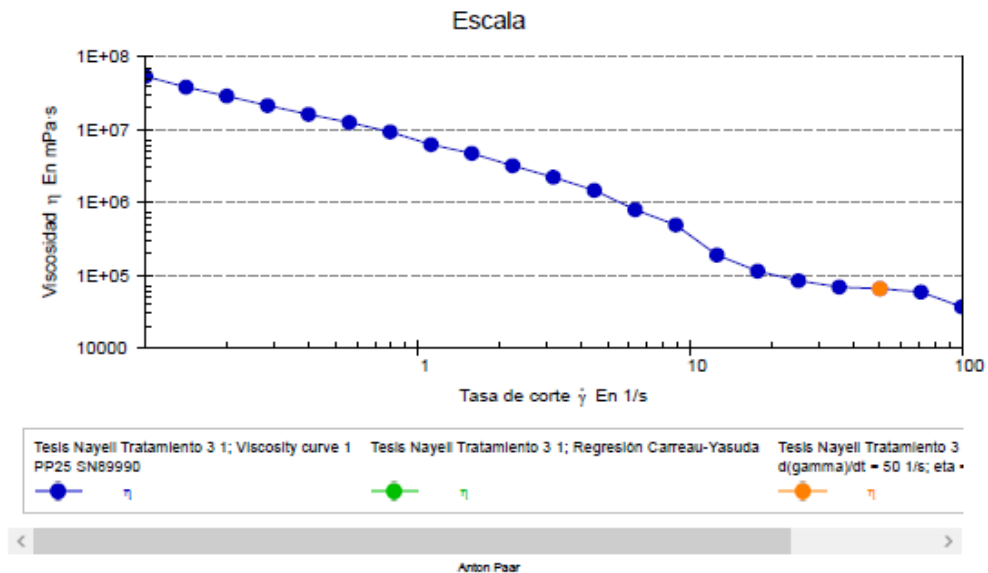
Sample | Info

Sample name: M2 T1 R3
Batch No.:
Description: M2 T1 R3

Result Data

Viscosity | 1st point: 2,294E+07 mPa·s
Viscosity | last point: 1,537E+04 mPa·s

Regression:
Interpolation: $d(\gamma)/dt = 50 \text{ 1/s}$; $\eta = 20660 \text{ mPa·s}$



Measurement success state: OK
Project approval status: El proyecto se creó desde una plantilla no aprobada
Timestamp of printout: 8/7/2025 9:31:20

Signature of operator: _____ Name: Date:
Signature of approver: _____ Name: Date:

Figura 79. Viscosidad/tasa de corte tratamiento 2 repetición 2

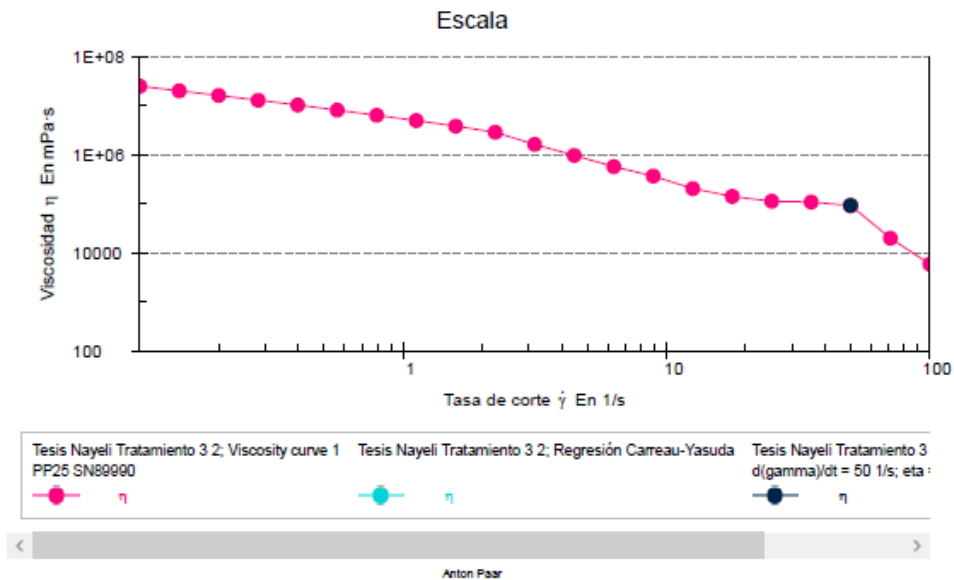
Company:
Street:
City:

QM Report

Test | Info
Tesis Nayeli Tratamiento 1 2
e57c9952-802b-4fd1-abf7-40f4baac3a04
Test created by operator: REOMETRO
Test creation date: 7/1/2025 17:09:33
Origin of project: Viscosity curve
4d1a6792-96cb-459c-991b-e4afbc77db1
Rheometer: MCR 302e SN83994166
Measuring System: PP25 SN89990

Sample | Info
Sample name: M2 T1 R3
Batch No.:
Description: M2 T1 R3

Result Data
Viscosity | 1st point: 2,294E+07 mPa·s
Viscosity | last point: 1,537E+04 mPa·s
Regression:
Interpolation: $d(\gamma)/dt = 50 \text{ 1/s}$; $\eta = 20660 \text{ mPa}\cdot\text{s}$



Measurement success state: OK
Project approval status: El proyecto se creó desde una plantilla no aprobada
Timestamp of printout: 8/7/2025 9:32:15

Signature of operator: _____ Name: Date:
Signature of approver: _____ Name: Date:

Figura 80. Viscosidad/tasa de corte tratamiento 2 repetición 3

Anexo 11. Gráficas de viscosidad tratamiento 3

Company:
Street:
City:

QM Report

Test | Info

Tesis Nayeli Tratamiento 1 2
e57c9952-802b-4fd1-abf7-40f4baac3a04

Test created by operator:

REOMETRO

Test creation date:

7/1/2025 17:09:33

Origin of project:

Viscosity curve
4d1a6792-96cb-459c-991b-e4afba77db1

Rheometer:

MCR 302e SN83994166

Measuring System:

PP25 SN89990

Sample | Info

Sample name:

M2 T1 R3

Batch No.:

Description:

M2 T1 R3

Result Data

Viscosity | 1st point:

2,294E+07 mPa·s

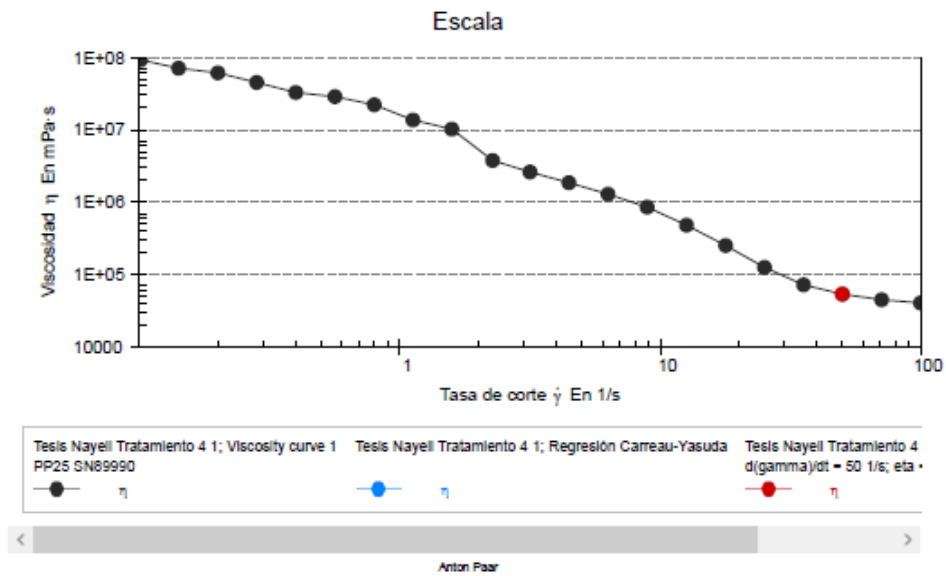
Viscosity | last point:

1,537E+04 mPa·s

Regression:

Interpolation:

$d(\gamma)/dt = 50 \text{ 1/s}$; $\eta = 20660 \text{ mPa}\cdot\text{s}$



Measurement success state: OK

Project approval status: El proyecto se creó desde una plantilla no aprobada

Timestamp of printout: 8/7/2025 9:33:18

Signature of operator: _____ Name: Date: :

Signature of approver: _____ Name: Date: :

Página 1 de 1

Figura 81. Viscosidad/tasa de corte tratamiento 3 repetición 1

Company:
Street:
City:

QM Report

Test | Info

Tesis Nayeli Tratamiento 1 2
e57c9952-802b-4fd1-abf7-40f4baac3a04
Test created by operator: REOMETRO
Test creation date: 7/1/2025 17:09:33
Origin of project: Viscosity curve
4d1a6792-96cb-459c-991b-e4afbca77db1
Rheometer: MCR 302e SN83994166
Measuring System: PP25 SN89990

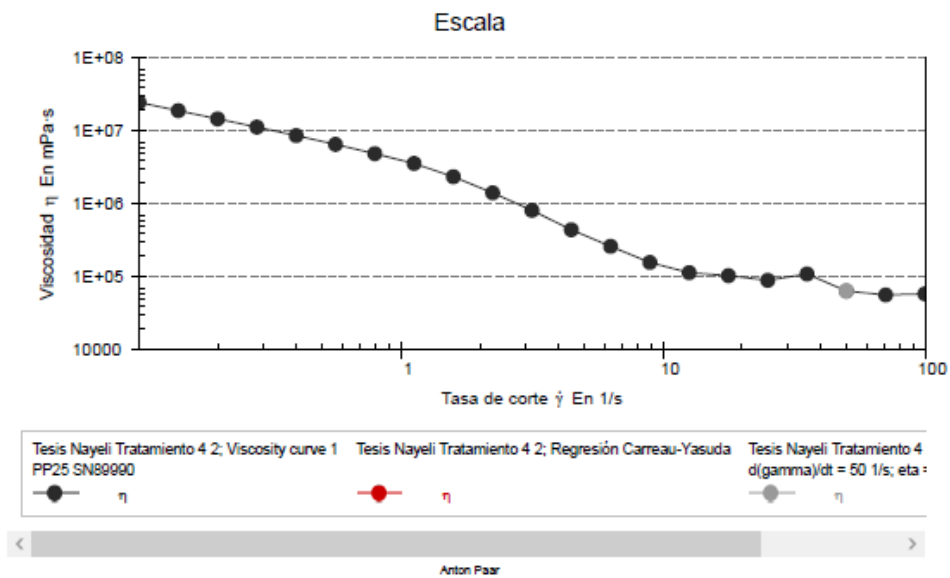
Sample | Info

Sample name: M2 T1 R3
Batch No.:
Description: M2 T1 R3

Result Data

Viscosity | 1st point: 2,294E+07 mPa·s
Viscosity | last point: 1,537E+04 mPa·s

Regression:
Interpolation: $d(\gamma)/dt = 50 \text{ 1/s}$; $\eta = 20660 \text{ mPa}\cdot\text{s}$



Measurement success state: OK
Project approval status: El proyecto se creó desde una plantilla no aprobada
Timestamp of printout: 8/7/2025 9:34:21

Signature of operator: _____ Name: Date:
Signature of approver: _____ Name: Date:

Figura 82. Viscosidad/tasa de corte tratamiento 3 repetición 2

Company:
Street:
City:

QM Report

Test | Info

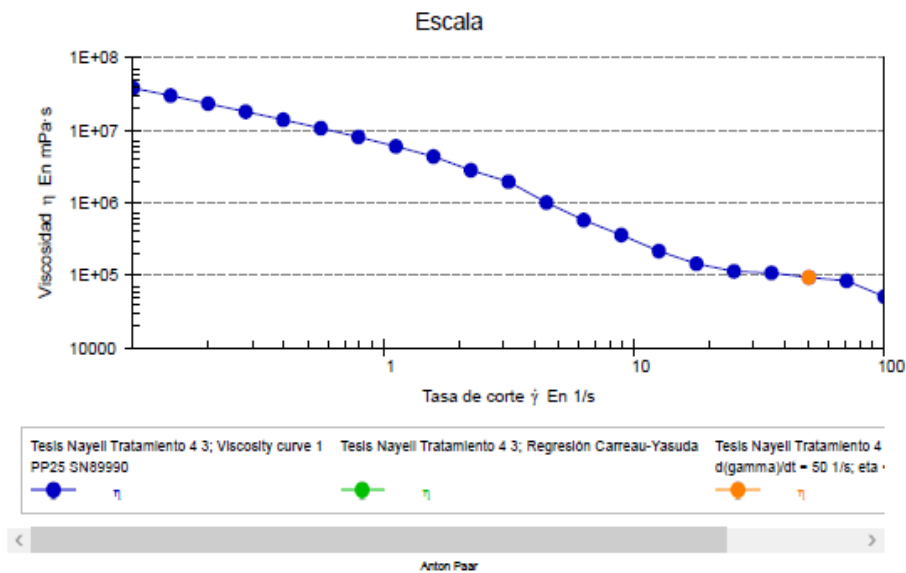
Tesis Nayeli Tratamiento 1 2
e57c9952-802b-4fd1-abf7-40f4baac3a04
Test created by operator: REOMETRO
Test creation date: 7/1/2025 17:09:33
Origin of project: Viscosity curve
4d1a6792-96cb-459c-991b-e4afba77db1
Rheometer: MCR 302e SN83994166
Measuring System: PP25 SN89990

Sample | Info

Sample name: M2 T1 R3
Batch No.:
Description: M2 T1 R3

Result Data

Viscosity | 1st point: 2,294E+07 mPa·s
Viscosity | last point: 1,537E+04 mPa·s
Regression:
Interpolation: $d(\gamma)/dt = 50 \text{ 1/s}$; $\eta = 20660 \text{ mPa}\cdot\text{s}$



Measurement success state: OK
Project approval status: El proyecto se creó desde una plantilla no aprobada
Timestamp of printout: 8/7/2025 9:35:26

Signature of operator: _____ Name: Date:
Signature of approver: _____ Name: Date:

Figura 83. Viscosidad/tasa de corte tratamiento 3 repetición 3

Anexo 12. Viscosidad, tasa de corte y esfuerzo de corte tratamiento 0

Tabla 74. Parámetros reológicos para el tratamiento 0 repetición 1

TRATAMIENTO 0		REPETICIÓN 1		
Datos de intervalo	Número de punto	Tasa de corte	Esfuerzo de corte	Viscosidad
		[1/s]	[Pa]	[mPa.s]
	1	0.1	1642.5	1.64E+11
	2	0.141	1936.8	1.37E+11
	3	0.2	2234.7	1.12E+07
	4	0.282	2603.7	9.24E+10
	5	0.398	3020.5	7.59E+10
	6	0.562	3494.8	6.22E+10
	7	0.794	3990.1	5.02E+10
	8	1.12	4542.6	4.05E+10
	9	1.58	5150.8	3.25E+10
	10	2.24	5801.9	2.59E+10
	11	3.16	6528.5	2.06E+10
	12	4.47	4920	1.10E+10
	13	6.31	4983.5	7.90E+09
	14	8.91	3918.2	4.40E+09
	15	12.6	734.12	58174
	16	17.8	696.69	39167
	17	25.1	720.22	28677
	18	35.5	645.51	18184
	19	50.1	821.55	16386
	20	70.8	1130.3	15961
	21	100	1724.4	17242

Tabla 75. Parámetros reológicos para el tratamiento 0 repetición 2

TRATAMIENTO 0		REPETICIÓN 2		
Datos de intervalo	Número de punto	Tasa de corte	Esfuerzo de corte	Viscosidad
		[1/s]	[Pa]	[mPa.s]
	1	0,1	1633.9	1.63E+11
	2	0.141	1919.3	1.36E+11
	3	0.2	2210.5	1.11E+11
	4	0.282	2555.1	9.07E+10
	5	0.398	2930	7.36E+06
	6	0.562	3370.2	5.99E+10
	7	0.794	3816.5	4.80E+10
	8	1.12	4328.1	3.86E+10
	9	1.58	4898.1	3.09E+10
	10	2.24	5539.3	2.47E+10
	11	3.16	5940.8	1.88E+10
	12	4.47	6562.1	1.47E+10
	13	6.31	7436	1.18E+10
	14	8.91	7259.5	8.14E+09
	15	12.6	6889	5.47E+08
	16	17.8	2769.7	1.55E+09
	17	25.1	2393.4	95309
	18	35.5	2897.9	81715
	19	50.1	775.16	15447
	20	70.8	732.69	10347
	21	100	783.92	7836.7

Tabla 76. Parámetros reológicos para el tratamiento 0 repetición 3

TRATAMIENTO 0	REPETICIÓN 3			
Datos de intervalo	Número de punto	Tasa de corte	Esfuerzo de corte	Viscosidad
		[1/s]	[Pa]	[mPa. s]
	1	0.1	2295.3	2.29E+11
	2	0.141	2688.6	1.90E+11
	3	0.2	3093.7	1.55E+11
	4	0.282	3554.7	1.26E+11
	5	0.398	4066.8	1.02E+11
	6	0.562	4616.6	8.21E+10
	7	0.794	5200.7	6.55E+10
	8	1.12	5858.6	5.22E+10
	9	1.58	6576.3	4.15E+10
	10	2.24	7331.8	3.28E+10
	11	3.16	7394.9	2.34E+10
	12	4.47	7167.4	1.60E+10
	13	6.31	6750.8	1.07E+10
	14	8.91	6354.4	7.13E+08
	15	12.6	5344.7	4.25E+09
	16	17,8	1247.4	69954
	17	25.1	914.78	36409
	18	35.5	905.39	25512
	19	50.1	1034	20629
	20	70.8	1326.3	18730
	21	100	1536.8	15367

Anexo 13. Viscosidad, tasa de corte y esfuerzo de corte tratamiento 1

Tabla 77. Parámetros reológicos para el tratamiento 1 repetición 1

TRATAMIENTO 1		REPETICIÓN 1		
Datos de intervalo	Número de punto	Tasa de corte	Esfuerzo de corte	Viscosidad
		[1/s]	[Pa]	[mPa. s]
	1	0.1	2166.7	2.17E+11
	2	0.141	2462.7	1.74E+11
	3	0.2	2768.3	1.39E+11
	4	0.282	3064.3	1.09E+11
	5	0.398	3436.6	8.63E+10
	6	0.562	3841.3	6.83E+10
	7	0.794	4240.7	5.34E+10
	8	1.12	4645.5	4.14E+10
	9	1.58	5056.3	3.19E+10
	10	2.24	5275.6	2.36E+10
	11	3.16	5138.3	1.62E+10
	12	4.47	41363	9.26E+09
	13	6.31	3815.2	6.05E+09
	14	8.91	2920.3	3.28E+09
	15	12.6	2802	2.23E+09
	16	17.8	2383.4	1.34E+05
	17	25.1	2337	93016
	18	35.5	2497.2	70387
	19	50.1	3033.6	60541
	20	70.8	3868.3	54660
	21	100	4359.3	43596

Tabla 78. Parámetros reológicos para el tratamiento 1 repetición 2

TRATAMIENTO 1		REPETICIÓN 2		
Datos de intervalo	Número de punto	Tasa de corte	Esfuerzo de corte	Viscosidad
		[1/s]	[Pa]	[mPa. s]
	1	0.1	2145.1	2.14E+10
	2	0.141	2334.8	1.65E+11
	3	0.2	2579.1	1.29E+11
	4	0.282	2737.2	9.71E+10
	5	0.398	3020.6	7.59E+10
	6	0.562	3354.8	5.97E+10
	7	0.794	3406.8	4.29E+10
	8	1.12	3914.1	3.49E+09
	9	1.58	4368.9	2.76E+09
	10	2.24	4741.1	2.12E+10
	11	3.16	5069.1	1.60E+10
	12	4.47	4904.1	1.10E+10
	13	6.31	4119.4	6.53E+09
	14	8.91	4469.4	5.01E+09
	15	12.6	1573.4	1.25E+09
	16	17.8	1392.6	78297
	17	25.1	809.55	32221
	18	35.5	1011.5	28501
	19	50.1	1385.1	27638
	20	70.8	1788.6	25266
	21	100	2202.4	22026

Tabla 79. Parámetros reológicos para el tratamiento 1 repetición 3

TRATAMIENTO 1	REPETICIÓN 3			
Datos de intervalo	Número de punto	Tasa de corte	Esfuerzo de corte	Viscosidad
		[1/s]	[Pa]	[mPa. s]
	1	0.1	3427.9	3.43E+11
	2	0.141	3924.4	2.78E+11
	3	0.2	4470.1	2.24E+07
	4	0.282	5045.5	1.79E+11
	5	0.398	5624.1	1.41E+11
	6	0.562	6165.5	1.10E+11
	7	0.794	6751.9	8.50E+10
	8	1.12	7383.2	6.58E+10
	9	1.58	8004	5.05E+10
	10	2.24	7768.2	3.47E+10
	11	3.16	4532.5	1.43E+10
	12	4.47	3500.6	7.83E+09
	13	6.31	2829.9	4.48E+09
	14	8.91	2481.9	2.78E+09
	15	12.6	2413.8	1.92E+09
	16	17.8	2374.9	1.34E+09
	17	25.1	2689.5	1.07E+09
	18	35.5	3339.7	94159
	19	50.1	5458.4	1.09E+09
	20	70.8	4280.1	60432
	21	100	266.64	2661.3

Anexo 14. Viscosidad, tasa de corte y esfuerzo de corte tratamiento 2

Tabla 80. Parámetros reológicos para el tratamiento 2 repetición 1

TRATAMIENTO 2		REPETICIÓN 1		
Datos de intervalo	Número de punto	Tasa de corte	Esfuerzo de corte	Viscosidad
		[1/s]	[Pa]	[mPa. s]
	1	0.1	2104	2.10E+11
	2	0.141	2365	1.67E+11
	3	0.2	2662.1	1.33E+11
	4	0.282	2978.3	1.06E+11
	5	0.398	3349.7	8.41E+10
	6	0.562	3676.1	6.54E+10
	7	0.794	4039.3	5.08E+10
	8	1.12	4399.2	3.92E+10
	9	1.58	4740.3	2.99E+10
	10	2.24	4550.3	2.03E+10
	11	3.16	3780.3	1.20E+10
	12	4.47	2345.2	5.25E+09
	13	6.31	1854	2.94E+08
	14	8.91	1721.1	1.93E+09
	15	12.6	1747.2	1.39E+09
	16	17.8	2062	1.16E+09
	17	25.1	2972.3	1.18E+09
	18	35.5	4117	1.16E+09
	19	50.1	5553.1	1.11E+09
	20	70.8	3542.9	50015
	21	100	4602.6	46035

Tabla 81. Parámetros reológicos para el tratamiento 2 repetición 2

TRATAMIENTO 2		REPETICIÓN 2		
Datos de intervalo	Número de punto	Tasa de corte	Esfuerzo de corte	Viscosidad
		[1/s]	[Pa]	[mPa. s]
	1	0.1	5340.7	5.33E+11
	2	0.141	5351.4	3.79E+11
	3	0.2	5696.5	2.85E+11
	4	0.282	5964.6	2.12E+11
	5	0.398	6379.1	1.60E+11
	6	0.562	6973.5	1.24E+07
	7	0.794	7312.2	9.20E+10
	8	1.12	6910.8	6.16E+10
	9	1.58	7404.2	4.67E+10
	10	2.24	7086.5	3.16E+10
	11	3.16	6941.6	2.20E+10
	12	4.47	6493.5	1.45E+10
	13	6.31	4974.6	7.88E+08
	14	8.91	4329.1	4.86E+09
	15	12.6	2373	1.88E+09
	16	17.8	2013.5	1.13E+09
	17	25.1	2098.7	83534
	18	35.5	2425.8	68391
	19	50.1	3254.5	64951
	20	70.8	4133.6	58407
	21	100	3664.3	36642

Tabla 82. Parámetros reológicos para el tratamiento 2 repetición 3

TRATAMIENTO 2	REPETICIÓN 3			
Datos de intervalo	Número de punto	Tasa de corte	Esfuerzo de corte	Viscosidad
		[1/s]	[Pa]	[mPa. s]
	1	0.1	2471.2	2.47E+11
	2	0.141	2804.2	1.99E+10
	3	0.2	3185.7	1.60E+11
	4	0.282	3596.8	1.28E+11
	5	0.398	4062.3	1.02E+11
	6	0.562	4512.7	8.02E+10
	7	0.794	5000.2	6.29E+10
	8	1.12	5510	4.91E+10
	9	1.58	6005.9	3.79E+10
	10	2.24	6354.9	2.84E+10
	11	3.16	5067.7	1.60E+10
	12	4.47	4283.5	9.59E+09
	13	6.31	3566.8	5.65E+09
	14	8.91	3241.5	3.64E+09
	15	12.6	2540.5	2.02E+09
	16	17.8	2486.3	1.40E+09
	17	25.1	2795.9	1.11E+09
	18	35.5	3805.1	1.07E+09
	19	50.1	4567.4	91183
	20	70.8	1392.6	19644
	21	100	583.96	5837,2

Anexo 15. Viscosidad, tasa de corte y esfuerzo de corte tratamiento 3

Tabla 83. Parámetros reológicos para el tratamiento 3 repetición 1

TRATAMIENTO 3		REPETICIÓN 1		
Datos de intervalo	Número de punto	Tasa de corte	Esfuerzo de corte	Viscosidad
		[1/s]	[Pa]	[mPa. s]
	1	0.1	9293	9.20E+11
	2	0.141	9984.1	7.06E+11
	3	0.2	12186	6.09E+11
	4	0.282	12691	4.50E+11
	5	0.398	13017	3.27E+11
	6	0.562	16145	2.87E+11
	7	0.794	17645	2.21E+11
	8	1.12	15324	1.36E+11
	9	1.58	16194	1.02E+11
	10	2.24	8581.9	3.78E+10
	11	3.16	8274.6	2.62E+09
	12	4.47	8314.6	1.86E+10
	13	6.31	8165.6	1.30E+10
	14	8.91	7649.9	8.59E+09
	15	12.6	6107.9	4.84E+09
	16	17.8	4524.3	2.54E+09
	17	25.1	3187.7	1.27E+09
	18	35.5	2586.1	72819
	19	50.1	2712.4	54065
	20	70.8	3210.7	45313
	21	100	4090.2	40917

Tabla 84. Parámetros reológicos para el tratamiento 3 repetición 2

TRATAMIENTO 3		REPETICIÓN 2		
Datos de intervalo	Número de punto	Tasa de corte	Esfuerzo de corte	Viscosidad
		[1/s]	[Pa]	[mPa. s]
	1	0.1	2461.4	2.46E+11
	2	0.141	2680.1	1.90E+11
	3	0.2	2920.3	1.46E+11
	4	0.282	3184.9	1.13E+11
	5	0.398	3441.6	8.64E+10
	6	0.562	3684.3	6.55E+10
	7	0.794	3885.2	4.89E+10
	8	1.12	4028	3.59E+06
	9	1.58	3747.2	2.36E+10
	10	2.24	3181.8	1.42E+10
	11	3.16	2587.9	8.18E+09
	12	4.47	1984.5	4.44E+09
	13	6.31	1662.5	2.63E+09
	14	8.91	1412.1	1.58E+09
	15	12.6	1444.6	1.15E+09
	16	17.8	1859.2	1.05E+09
	17	25.1	2267	90280
	18	35.5	3912	1.10E+09
	19	50.1	3227.5	64380
	20	70.8	4029.7	56938
	21	100	5890.8	58938

Tabla 85. Parámetros reológicos para el tratamiento 3 repetición 2

TRATAMIENTO 3		REPETICIÓN 3		
Datos de intervalo	Número de punto	Tasa de corte	Esfuerzo de corte	Viscosidad
		[1/s]	[Pa]	[mPa. s]
	1	0.1	3815.5	3.81E+10
	2	0.141	4250.1	3.01E+11
	3	0.2	4646.1	2.33E+11
	4	0.282	5086.8	1.80E+11
	5	0.398	5551.1	1.39E+10
	6	0.562	6001.1	1.07E+11
	7	0.794	6423.4	8.09E+10
	8	1.12	6722.1	5.99E+10
	9	1.58	6875.9	4.34E+10
	10	2.24	6282.3	2.81E+10
	11	3.16	6166.9	1.95E+10
	12	4.47	4508.2	1.01E+10
	13	6.31	3642.1	5.77E+09
	14	8.91	3206.7	3.60E+09
	15	12.6	2714.7	2.16E+09
	16	17.8	2564	1.44E+09
	17	25.1	2854	1.14E+09
	18	35.5	3825.2	1.08E+09
	19	50.1	4683.5	93521
	20	70.8	5938.2	83910
	21	100	5098.5	50908

Anexo 16. Ficha



 <p>Universidad Politécnica Estatal del Carchi</p>	<p>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI FACULTAD DE INDUSTRIAS AGROPECUARIAS Y CIENCIAS AMBIENTALES CARRERA DE ALIMENTOS FICHA DE EVALUACIÓN SENSORIAL</p>	 <p>POLITÉCNICA DEL CARCHI <small>ESFUERZO PARA TRANSFORMAR EL MUNDO</small></p>												
<p>Producto: Pasta tipo fettuccini a base de harina de trigo y harina de chontaduro</p> <p>Edad: _____ Sexo: _____ Fecha: 23/05/2024</p>														
<p>Objetivo: Determinar el grado de aceptación en los atributos, color, olor, sabor, viscosidad y aceptabilidad global de 3 muestras de pasta con diferente porcentaje de harina de chontaduro.</p>														
<p>Instrucciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Frente a usted se presenta (4) cuatro muestras de pasta, Deguste cada una de ellas de izquierda a derecha e indique su nivel de agrado de acuerdo con el puntaje de la escala indicada abajo, en el código correspondiente a cada una de las muestras. ▪ El rango para calificar es: 														
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">Puntaje</th> <th style="width: 85%;">Categoría</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td>Me disgusta mucho</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2</td> <td>Me disgusta moderadamente</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3</td> <td>No me gusta ni me disgusta</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">4</td> <td>Me gusta moderadamente</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">5</td> <td>Me gusta mucho</td> </tr> </tbody> </table>			Puntaje	Categoría	1	Me disgusta mucho	2	Me disgusta moderadamente	3	No me gusta ni me disgusta	4	Me gusta moderadamente	5	Me gusta mucho
Puntaje	Categoría													
1	Me disgusta mucho													
2	Me disgusta moderadamente													
3	No me gusta ni me disgusta													
4	Me gusta moderadamente													
5	Me gusta mucho													
<p>A continuación, se presenta la tabla de calificación para cada tratamiento:</p>														
Calificación para cada atributo														
Código	Color	Olor	Sabor	Textura	Aceptación global									
120														
225														
330														
435														
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Observaciones: 														
<p>Nota: Estos resultados evaluados serán utilizados únicamente para fines académicos</p>														

Figura 84. Hoja de la Evaluación sensorial