ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIA

ESTUDIO DEL EFECTO DE LA SUSTITUCIÓN PARCIAL DE LA HARINA DE TRIGO POR HARINA DE ARROCILLO EN LA PRODUCCIÓN DE PAN

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA QUÍMICA

GRACE ELIZABETH MANOBANDA JIMÉNEZ
greycy85@hotmail.com

DIRECTORA: ING. JENNY CUMANDÁ RUALES NÁJERA, Ph.D.
jenny.ruales@epn.edu.ec

Quito, Enero 2017

© Escuela Politécnica Nacional (2017)
Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Yo, Grace Elizabeth Manobanda Jiménez declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Grace Elizabeth Manobanda Jiménez

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Grace Elizabeth Manobanda Jiménez, bajo mi supervisión.

Ing. Jenny Ruales, Ph.D.

DIRECTORA DE PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

Ante todo agradezco a Dios, por cada día de vida concedido y por darme la suficiente fortaleza y perseverancia para superar las adversidades que he tenido que enfrentar, durante el recorrido de mi camino politécnico.

A mi madre Juana Jiménez Cepeda, a quién le debo la vida y todo lo que hoy soy, quien veló por mi bienestar y me inculcó principios y valores. Gracias por tus consejos, por siempre haber confiado en mi, por enseñarme que no hay nada mejor en la vida que la honradez y la humildad, pero ante todo gracias por tu amor infinito e incondicional. A pesar que ya no estás aquí físicamente, tu recuerdo es mi fiel compañero y me da la suficiente fuerza para seguir adelante. Sólo me queda por decirte, que sí, fuiste la mejor madre que Dios me pudo mandar!

A mi padre Jorge Manobanda, por inculcarme desde muy pequeña el gusto por la ciencia, por su apoyo permanente y por sus vivencias transmitidas después de largas horas de conversación de las "cosas importantes de la vida". Tu constancia y sed por superarse cada día, son mi mejor ejemplo para no darme por vencida y continuar con mi formación personal y académica.

A mi mamá Rosita y mi papá Reinaldo, pues de ellos lo único que recibí fue cariño mientras estuvieron junto a mi.

A mi tía Teresa, por su cariño y ayuda incondicional, no sólo conmigo sino con todos. Gracias por cuidar siempre de cada uno de los miembros de la familia Jiménez como una segunda madre, sólo Dios sabrá recompensar tan grande sacrificio.

A mi tío René, porque me enseñó que los límites son mentales más no físicos. Por su gran sueño de ver convertidos a su familia en profesionales, espero suplir en parte ese tan ansiado anhelo. Gracias por tu preocupación constante y por tus sabias palabras, "no dejaré que nada llene de ira mi corazón".

A mi tío Germán, porque con su ejemplo me enseñó a no rendirme ante las adversidades, y que por más lejos que se esté de la familia, uno debe ser leal con sus principios. Gracias por compartir tu tiempo cuando yo aún era una niña y por tu apoyo durante todo este tiempo.

A mi tía María y mis tíos Miltón, Pepé y Reinaldo, que de una u otra forma, han estado junto a mi, dándome una palabra de aliento para seguir.

A la Dra. Jenny Ruales por haber confiado en mi para el desarrollo de este proyecto, por todos sus conocimientos impartidos y por la ayuda brindada para la ejecución del mismo.

A todo el personal del Departamento de Alimentos y Biotecnología (DECAB) por la apertura y guía para el desarrollo de los ensayos, especialmente a la Dra. Rosario Barrera por su paciencia y preocupación.

A mis amigas politécnicas Geovanna y Marthita, por haberme escuchado y ser un apoyo en los momentos más difíciles.

A mis amigos politécnicos Mauricio, Julio y Rommel, con quienes compartimos largas jornadas de estudio, donde la risa y las bromas, eran el mejor atenuante del estrés. Lo logramos amigos!

A mis amigas y amigos del Decab: Mayrita, Normita, Lucy, Magy, Paito, Loly, Naty, Lili, Danilo, Martín y Wlady, gracias por su colaboración y por hacer de mis jornadas de trabajo en el laboratorio más llevaderas, en este tortuoso camino de la tesis.

A Vinicio, por las largas charlas compartidas, aprendí mucho, no sólo en la parte intelectual sino en la parte humana. Gracias por transmitirme a través de tus experiencias, el valor de las pequeñas cosas. Fuiste el fiel testigo de este largo y duro camino politécnico, lleno de alegrías y tristezas, de triunfos y derrotas, y donde aprendimos a ser un buen equipo. Sin embargo, te agradezco ante todo por tu amistad y apoyo incondicional, pues han sido fundamentales en la consecución de este logro. Gracias por todo!

Finalmente, agradezco a todas aquellas personas que de una u otra forma han formado parte de mi vida y han creído en mi, y también a las que no lo hicieron, pues eso me dio más fuerza para seguir.

Grace

DEDICATORIA

A mis tres ángeles del cielo:

mi madre Juana

y mis abuelitos Rosita y Reinaldo.

… Y a mis ángeles terrenales:

mi padre Jorge, mi tía Teresa

y mis tíos René y Germán.

Por ellos y para ellos…!!!

Con infinito amor

Grace

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PÁGINA

RESUMEN xix
INTRODUCCIÓN xxi

1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA 1

1.1 Producción de pan en el ecuador 1
1.1.1 Cereales en panificación - trigo y arroz 1
1.1.1.1 Trigo (*Tritucum durum*) 1
1.1.1.2 Arroz (*Oryza sativa L.*) 4
1.1.2 Materias primas de panificación 7
1.1.2.1 Harina 7
1.1.2.2 Agua 7
1.1.2.3 Levadura 8
1.1.2.4 Sal 9
1.1.2.5 Azúcar 9
1.1.2.6 Grasa 10
1.1.3 Masa de panificación 11
1.1.4 Procesos de panificación 12
1.1.4.1 Fermentación 13
1.1.5 Situación de la industria de panificación en el Ecuador 15
1.1.5.1 Industria panificadora 16
1.1.5.2 Situación del trigo en el Ecuador 20
1.1.5.3 Situación del arroz en el Ecuador 23

1.2 Reología en masas de panificación 26
1.2.1 Generalidades 26
1.2.1.1 Reología 26
1.2.1.2 Reometría 26
1.2.1.3 Métodos reológicos 28
1.2.2 Mediciones empíricas 29
1.2.2.1 Farinogramas 30
1.2.2.2 Extensogramas 31
1.2.2.3 Amilogramas 32
1.2.3 Mediciones fundamentales 34
1.2.3.1 Viscoelasticidad 35
1.2.3.2 Ensayos dinámicos u oscilatorios 36
1.2.4 Comportamiento reológico de masas de panificación 38

1.3 Hidrocoloides y la retrogradación 39
1.3.1 Hidrocoloides 39
1.3.1.1 Celulosas modificadas 39
1.3.1.2 Carboximetilcelulosa (CMC) 40
1.3.2 Almidón 41
1.3.2.1 Amilosa 42
1.3.2.2 Amilopectina 43

1.3.3 Gelatinización del almidón 44
1.3.3.1 Temperatura de gelatinización 45
1.3.3.2 Calorimetría diferencial de barrido (DSC) 45
1.3.4 Retrogradación del almidón 46
1.3.4.1 Envejecimiento del pan 47
1.3.4.2 Factores que intervienen en la retrogradación 49

2 PARTE EXPERIMENTAL 52

2.1 Caracterización físico-química y farinológica de las harinas de trigo, arrocillo y mezclas 52
2.1.1 Obtención de la harina de arrocillo 52
2.1.2 Eaboración de mezclas 52
2.1.3 Caracterización física 53
2.1.3.1 Método físico 53
2.1.3.2 Método granulométrico de dispersión de luz láser (DLS) 53
2.1.4 Caracterización química 54
2.1.4.1 Análisis proximal 54
2.1.4.2 Contenido de amilosa 54
2.1.5 Caracterización farinológica 55
2.1.5.1 Farinogramas 55
2.1.5.2 Extensogramas 55
2.1.5.3 Fermentogramas 55
2.1.5.4 Amilogramas 55

2.2 Evaluación del efecto del uso del aditivo hidrocoloide CMC (carboximetil-celulosa) en las características reológicas de masas para panificación 56
2.2.1 Análisis funcional 56
2.2.2 Análisis dinámico 56
2.2.2.1 Preparación de las masas 57
2.2.2.2 Barrido dinámico oscilatorio 57
2.2.3 Diseño experimental 58

2.3 Estudio de las variables en el proceso de panificación 60
2.3.1 Formulación del pan de harina de trigo y harina de arrocillo 60
2.3.2 Determinación de la cantidad de agua y el tiempo de amasado 60
2.3.3 Determinación de la cinética y tiempo de fermentación 61
2.3.3.1 Preparación de las masas 61
2.3.3.2 Proceso de fermentación 62
2.3.4 Proceso de panificación 63

2.4 Evaluación del efecto de la CMC en la retrogradación del pan 64
2.4.1 Diseño experimental 64
2.4.1.1 Diseño experimental para el análisis térmico 64
2.4.1.2 Diseño experimental para la humedad de la miga 64
2.4.2 Análisis térmico 65
2.4.3 Humedad de la miga 65

2.5 Evaluación de los atributos del pan obtenido 67
2.5.1 Caracterización física de las muestras de pan 67
2.5.1.1 Peso 67
2.5.1.2 Volumen 68
2.5.1.3 Color de la miga y corteza 68
2.5.1.4 Miga 68
2.5.2 Evaluación sensorial de las muestras de pan 69
2.5.2.1 Test de evaluación sensorial (Evaluación de atributos) 69
2.5.2.2 Test de evaluación de aptitud panadera 70

2.6 Diseño de la planta de panificación a nivel industrial 70
2.6.1 Estimación del área de producción 71

2.7 Evaluación económica de la pre-factibilidad de instalación de la planta diseñada 72

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN 73

3.1 Caracterización físico-química y farinológica de las harinas de trigo, arrocillo y mezclas 73
3.1.1 Caracterización física 73
3.1.1.1 Método físico 73
3.1.1.2 Método granulométrico de dispersión de luz láser (DLS) 75
3.1.2 Caracterización química 76
3.1.2.1 Análisis proximal 76
3.1.2.2 Contenido de amilosa 78
3.1.3 Caracterización farinológica 81
3.1.3.1 Farinogramas 81
3.1.3.2 Extensogramas 86
3.1.3.3 Fermentogramas 90
3.1.3.4 Amilogramas 91

3.2 Efecto del uso del aditivo hidrocoloide CMC (carboximetilcelulosa) en las características reológicas de masas para panificación 94
3.2.1 Análisis funcional 94
3.2.2 Análisis dinámico 101
3.2.2.1 Región lineal 101
3.2.2.2 Módulo de almacenamiento, módulo de pérdida y ángulo de desfase 103

3.3 Estudio de las variables en el proceso de panificación 107
3.3.1 Determinación de la cantidad de agua 107
3.3.2 Determinación del tiempo de amasado 108
3.3.3 Determinación de la cinética y tiempo de fermentación 109

3.4 Evaluación del efecto de la cmc en la retrogradación del pan 116
3.4.1 Retrogradación en las mezclas de harina 116
3.4.2 Retrogradación en las muestras de pan 119
3.4.3 Humedad de la miga 120

3.5 Evaluación de los atributos del pan obtenido 123
3.5.1 Caracterización física de las muestras de pan 123
3.5.1.1 Peso, volumen y altura del pan 123
3.5.1.2 Color del pan 127
3.5.1.3 Miga del pan 131
3.5.2 Evaluación sensorial de las muestras de pan 135
3.5.2.1 Evaluación de aptitud panadera 135
3.5.2.2 Evaluación sensorial de atributos 137

3.6 Diseño de la planta de panificación 146
3.6.1 Ingeniería conceptual 146
3.6.1.1 Definición del producto 146
3.6.1.2 Capacidad y localización de la planta 147
3.6.2 Ingeniería básica 149
3.6.2.1 Descripción del alcance del proyecto 149
3.6.2.2 Descripción del proceso de producción 150
3.6.2.3 Balance de masa en cada proceso 156
3.6.2.4 Balance de energía 157
3.6.2.5 Diagrama de bloques del proceso (BFD) 160
3.6.2.6 Diagrama de flujo del proceso (PFD) 161
3.6.2.7 Listado de equipos 162
3.6.3 Diseño básico de la planta 163
3.6.3.1 Estimación de áreas de producción 163
3.6.3.2 Distribución en planta (Layout) 163
3.6.3.3 Diagrama de gantt del proceso de producción 163
3.6.3.4 Distribución del personal 165

3.7 Evaluación económica de la pre-factibilidad de instalación de la planta diseñada 165
3.7.1 Parámetros económicos del proyecto 165
3.7.2 Inversión del proyecto 165
3.7.3 Costos de producción 169
3.7.4 Proyección de ventas y flujo de caja 171
3.7.5 Punto de equilibrio 172
3.7.6 Análisis de factibilidad 173

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 175

4.1 Conclusiones 175

4.2 Recomendaciones 178

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 180

ANEXOS 193

ÍNDICE DE TABLAS

PÁGINA

Tabla 1.1.	Composición química del grano y harina de trigo (por cada 100 g de producto)	3
Tabla 1.2.	Composición química del grano y la harina de arroz (por cada 100 g de producto)	6
Tabla 1.3.	Tipos de procesos de fermentación	14
Tabla 1.4.	Tipos de pan en el Ecuador y preferencia en los consumidores	17
Tabla 1.5.	Principales métodos reológicos para cereales	29
Tabla 1.6.	Formas de los extensogramas para cada tipo de masa	33
Tabla 1.7.	Composición de almidones comunes	42
Tabla 2.1.	Composición porcentual de las mezclas de harina de trigo y harina de arrocillo	53
Tabla 2.2.	Análisis proximal de las harinas	54
Tabla 2.3.	Parámetros fijados en el reómetro para la prueba de deformación	58
Tabla 2.4.	Tratamientos para el diseño factorial de 4 x 3	59
Tabla 2.5.	Variables de respuesta de las características reológicas en masas	59
Tabla 2.6.	Formulación general para los ensayos de panificación	60
Tabla 2.7.	Tratamientos para el diseño factorial de 4 x 3 x 4 para la humedad de la miga	66
Tabla 2.8.	Distribución de las muestras de pan para el análisis sensorial	69
Tabla 2.9.	Parámetros para análisis de aptitud panadera según NTE INEN 530:2013	70
Tabla 3.1.	Parámetros de la prueba DLS de la harina de trigo y harina de arrocillo	75
Tabla 3.2.	Análisis proximal de harina de trigo y harina de arrocillo	77
Tabla 3.3.	Resultados del análisis proximal de la harina de arroz en diferentes investigaciones	77

Tabla 3.4.	Contenido de amilosa en la harina de trigo, harina de arrocillo y mezclas	79
Tabla 3.5.	Resultados farinológicos de la harina de trigo en diferentes investigaciones	84
Tabla 3.6.	Resultados de amilogramas de otras investigaciones	93
Tabla 3.7.	Análisis de varianza para la absorción de agua	96
Tabla 3.8.	Análisis de varianza para el tiempo de llegada	98
Tabla 3.9.	Análisis de varianza para el tiempo de amasado	99
Tabla 3.10.	Análisis de varianza para el tiempo de estabilidad	100
Tabla 3.11.	Parámetros obtenidos de las curvas de fermentación	114
Tabla 3.12.	Parámetros de gelatinización y retrogradación de las mezclas de harinas	117
Tabla 3.13.	Peso, volumen y altura máxima del pan para los tratamientos con harina de trigo y harina de arrocillo	124
Tabla 3.14.	Parámetros del color y del análisis de la miga del pan para los tratamientos con harina de trigo y harina de arrocillo	129
Tabla 3.15.	Resultados de la evaluación de aptitud panadera	136
Tabla 3.16.	Características finales del producto	146
Tabla 3.17.	Matriz de preferencia para la elección de la microlocalización	148
Tabla 3.18.	Cronograma semanal de operación regular la planta de panificación	149
Tabla 3.19.	Cantidades de insumos utilizados semanalmente	151
Tabla 3.20.	Requerimientos de producción para el diseño de planta	157
Tabla 3.21.	Balance de masa en el proceso de dosificación	157
Tabla 3.22.	Consumo energético semanal por maquinaria en los diferentes procesos	159
Tabla 3.23.	Equipos utilizados en la planta de producción	162
Tabla 3.24.	Estimación del área de producción con la metodología de Guerchet	164
Tabla 3.25.	Parámetros económicos del proyecto	166

Tabla 3.26.	Costos de adquisición del terreno y construcciones	166
Tabla 3.27.	Costos de adquisición del equipo y mobiliario de oficina	167
Tabla 3.28.	Costos de adquisición del equipo y mobiliario de oficina	167
Tabla 3.29.	Inversión total del proyecto para la planta de panificación	169
Tabla 3.30.	Costos de materia prima para la operación de la planta de panificación	170
Tabla 3.31.	Costos de insumos para la operación de la planta de panificación	170
Tabla 3.32.	Costos totales anuales para la operación de la planta de panificación	171
Tabla 3.33.	Ingresos por ventas anuales de pan molde	172
Tabla 3.34.	Costos e ingresos para diferentes niveles de producción de pan molde	172
Tabla 3.35.	Principales parámetros e indicadores financieros del proyecto	174
Tabla AVI.1.	Parámetros fijados en el amilógrafo para los ensayos	205
Tabla AIX.1.	Datos experimentales y resultados parciales obtenidos de la distribución granulométrica de la harina de arrocillo	211
Tabla AIX.2.	Datos experimentales y resultados parciales obtenidos de la distribución granulométrica de la harina de trigo	212
Tabla AIX.3.	Tamaño de partícula de la harina de trigo y harina de arrocillo	212
Tabla AX.1.	Resultados obtenidos de los farinogramas	214
Tabla AX.2.	Resultados obtenidos de los extensogramas 135 min	214
Tabla AX.3.	Resultados obtenidos de los amilogramas	215
Tabla AX.4.	Resultados obtenidos de los fermentogramas	215
Tabla AXI.1.	Datos experimentales de volúmenes para el tratamiento T0 (muestra control)	219
Tabla AXI.2.	Parámetros de las curvas de fermentación para T0	220
Tabla AXI.3.	Datos experimentales de volúmenes para los tratamientos T1, T2 y T3	221

Tabla AXI.4. Parámetros de las curvas de fermentación para T1 222

Tabla AXI.5. Parámetros de las curvas de fermentación para T2 223

Tabla AXI.6. Parámetros de las curvas de fermentación para T3 224

Tabla AXI.7. Datos experimentales de volúmenes para los tratamientos T4, T5 y T6 225

Tabla AXI.8. Parámetros de las curvas de fermentación para T4 226

Tabla AXI.9. Parámetros de las curvas de fermentación para T5 227

Tabla AXI.10. Parámetros de las curvas de fermentación para T6 228

Tabla AXI.11. Datos experimentales de volúmenes para los tratamientos T7, T8 y T9 229

Tabla AXI.12. Parámetros de las curvas de fermentación para T7 230

Tabla AXI.13. Parámetros de las curvas de fermentación para T8 231

Tabla AXI.14. Parámetros de las curvas de fermentación para T9 232

Tabla AXI.15. Datos experimentales de volúmenes para los tratamientos T10, T11 y T12 233

Tabla AXI.16. Parámetros de las curvas de fermentación para T10 234

Tabla AXI.17. Parámetros de las curvas de fermentación para T11 235

Tabla AXI.18. Parámetros de las curvas de fermentación para T12 236

Tabla AXII.1. ANOVA - Módulo de almacenamiento 237

Tabla AXII.2. ANOVA - Módulo de pérdida 237

Tabla AXII.3. ANOVA - Tangente del ángulo de desfase 237

Tabla AXII.4. ANOVA – Humedad de la miga 238

Tabla AXII.5. ANOVA - Simetría y apariencia externa del pan 238

Tabla AXII.6. ANOVA - Estructura de la miga del pan 238

Tabla AXII.7. ANOVA - Color de la corteza 239

Tabla AXII.8. ANOVA - Color de la miga 239

Tabla AXII.9. ANOVA - Aroma a pan 239

Tabla AXII.10. ANOVA - Presencia de olores extraños 240

Tabla AXII.11. ANOVA - Textura de la miga 240

Tabla AXII.12. ANOVA - Textura de la corteza 240

Tabla AXII.13. ANOVA - Sabor a pan 241

Tabla AXII.14. ANOVA - Presencia de sabores extraños 241

Tabla AXIII.1. Datos para el cálculo del tamaño de planta 242

Tabla AXIV.1. Requerimientos para el balance de masa 243

Tabla AXIV.2. Formulación para el pan de harina de trigo y harina de arrocillo 244

Tabla AXIV.3. Contenido de sólidos y agua del producto final 245

Tabla AXVI.1. Datos de la masa cruda y agua condensada en el proceso de fermentado 256

Tabla AXVI.2. Datos del pan y agua en el proceso de horneado 258

Tabla AXVI.3. Datos del pan y agua en el proceso de horneado 259

ÍNDICE DE FIGURAS

PÁGINA

Figura 1.1	Estructura del grano de trigo	2
Figura 1.2	Estructura del grano de arroz	5
Figura 1.3	Procesos de panificación planteados por Norma INEN	12
Figura 1.4	Producción y comercialización de productos de panificación en Ecuador	16
Figura 1.5	Variedades de pan	18
Figura 1.6	Valores de consumo intermedio de las industrias la elaboración de productos de la molinería, panadería y otros productos farináceos en el Ecuador.	19
Figura 1.7	Importaciones anuales de trigo realizadas por el Ecuador	21
Figura 1.8	Consumo anual percápita de trigo en el Ecuador	21
Figura 1.9	Precio del trigo en grano, harina de trigo y harina transformada en pan	22
Figura 1.10	Balance oferta - demanda de arroz en el Ecuador	23
Figura 1.11	Grano de arroz y arrocillo	24
Figura 1.12	Producción de arroz y arrocillo en el Ecuador	25
Figura 1.13	Comportamiento de los precios del arroz en diferentes niveles	25
Figura 1.14	Geometrías típicas de reómetros: (A) platos paralelos, (B) cono–plato, (C) cilíndros concéntrico, (D) sólido o torsión rectangular	27
Figura 1.15	Esquema de un farinograma	30
Figura 1.16	Esquema de un extensograma	32
Figura 1.17	Esquema de un amilograma	34
Figura 1.18	Prueba de barrido de amplitud de esfuerzo	36
Figura 1.19	Estructura de la celulosa y de la carboximetilcelulosa	40
Figura 1.20	Estructura de la amilosa	43
Figura 1.21	Estructura de la amilopectina	43

Figura 1.22	Combinaciones de porcentajes de temperatura y agua para la gelatinización del almidón	44
Figura 1.23	Endurecimiento del pan	48
Figura 2.1	Metodología de elaboración de masas para pruebas reológicas dinámicas	57
Figura 2.2	Metodología de elaboración de masas para pruebas de fermentación	61
Figura 2.3	Esquema de la cámara de fermentación	62
Figura 3.1	Distribución granulométrica de la harina de arrocillo	74
Figura 3.2	Distribución granulométrica de la harina de trigo	74
Figura 3.3	Porcentaje de absorción de agua para mezclas de harinas de trigo y arrocillo según pruebas farinológicas	82
Figura 3.4	Tiempos de llegada, amasado y estabilidad para mezclas de harinas de trigo y arrocillo según pruebas farinológicas	83
Figura 3.5	Índice de tolerancia y valor valorimétrico para mezclas de harinas de trigo y arrocillo según pruebas farinológicas	85
Figura 3.6	Extensibilidad para mezclas de harinas de trigo y arrocillo según pruebas farinológicas	87
Figura 3.7	Resistencia a la extensibilidad y energía para mezclas de harinas de trigo y arrocillo según pruebas farinológicas	88
Figura 3.8	Tiempo para producción de 1 000 cm^3 de CO_2 para mezclas de harinas de trigo y arrocillo según pruebas farinológicas	90
Figura 3.9	Proceso de gelatinización para mezclas de harinas de trigo y arrocillo según pruebas amilográficas	92
Figura 3.10	Temperatura de gelatinización para mezclas de harinas de trigo y arrocillo según pruebas amilográficas	93
Figura 3.11	Análisis multivariable para la absorción de agua para mezclas de harina-hidrocoloide con respecto al porcentaje de harina de arrocillo	95
Figura 3.12	Análisis multivariable para el tiempo de llegada para mezclas de harina-hidrocoloide con respecto al porcentaje de harina de arrocillo	97

Figura 3.13	Análisis multivariable para el tiempo de amasado para mezclas de harina-hidrocoloide con respecto al porcentaje de harina de arrocillo	98
Figura 3.14	Análisis multivariable para el tiempo de estabilidad para mezclas de harina-hidrocoloide con respecto al porcentaje de harina de arrocillo	100
Figura 3.15	Espectro mecánico para las mezclas de harina de trigo y harina de arrocillo con el 1 % CMC	102
Figura 3.16	Análisis multivariable para el módulo de almacenamiento (G') para las mezclas de harina de trigo, harina de arrocillo y CMC	103
Figura 3.17	Análisis multivariable para el módulo de pérdida (G'') para las mezclas de harina de trigo, harina de arrocillo y CMC	104
Figura 3.18	Análisis multivariable para la tangente del ángulo de desfase (tan δ) para las mezclas de harina de trigo, harina de arrocillo y CMC	106
Figura 3.19	Absorción de agua para mezclas de harinas de trigo y arrocillo en diferentes porcentajes de CMC según pruebas farinológicas	108
Figura 3.20	Tiempo de amasado para mezclas de harinas de trigo y arrocillo en diferentes porcentajes de CMC según pruebas farinológicas	109
Figura 3.21	Curvas teóricas de fermentación de las masas de panificación con mezclas de harina de trigo y harina de arrocillo	111
Figura 3.22	Curvas teóricas de fermentación de las masas de panificación con mezclas de harina de trigo, harina de arrocillo y 0,5 % CMC	111
Figura 3.23	Curvas teóricas de fermentación de las masas de panificación con mezclas de harina de trigo, harina de arrocillo y 1,0 % CMC	112
Figura 3.24	Curvas de entalpía de retrogradación para los tratamientos T0, T1, T3, T4 y T5 en los días 1, 5 y 10 días, almacenados a una temperatura de 4 ^{o}C	118
Figura 3.25	Análisis multivariable para el porcentaje de humedad para las mezclas de harina de trigo, harina de arrocillo y CMC, respecto al porcentaje de sustitución de harina de arrocillo y los días de almacenamiento	120
Figura 3.26	Análisis multivariable para el porcentaje de humedad para las mezclas de harina de trigo, harina de arrocillo y CMC, respecto al porcentaje de adición de CMC y los días de almacenamiento	122

Figura 3.27	Análisis multivariable para el peso del pan con las mezclas de harina de trigo, harina de arrocillo y CMC	125
Figura 3.28	Análisis multivariable para el volumen del pan con las mezclas de harina de trigo, harina de arrocillo y CMC	125
Figura 3.29	Análisis multivariable para la altura máxima del pan con las mezclas de harina de trigo, harina de arrocillo y CMC	126
Figura 3.30	Vista frontal de las muestras de panificación para mezclas de harina de trigo y harina de arrocillo	128
Figura 3.31	Imágenes de las rebanadas de pan tipo molde para los diferentes tratamientos de mezclas de harina de trigo y harina de arrocillo	130
Figura 3.32	Análisis multivariable para el número de alvéolos del pan con las mezclas de harina de trigo, harina de arrocillo y CMC	132
Figura 3.33	Imágenes del análisis de miga en el software ImageJ para muestras de panificación para mezclas de harina de trigo, harina de arrocillo y CMC	133
Figura 3.34	Análisis multivariable para el área alveolar del pan con las mezclas de harina de trigo, harina de arrocillo y CMC	134
Figura 3.35	Superficie de respuesta para la simetría y apariencia externa de la evaluación sensorial	138
Figura 3.36	Superficie de respuesta para la estructura de la miga de la evaluación sensorial	139
Figura 3.37	Superficie de respuesta para el color de la corteza de la evaluación sensorial	140
Figura 3.38	Superficie de respuesta para el color de la miga de la evaluación sensorial	140
Figura 3.39	Superficie de respuesta para el aroma a pan de la evaluación sensorial	141
Figura 3.40	Superficie de respuesta para la presencia de olores extraños de la evaluación sensorial	142
Figura 3.41	Superficie de respuesta para la textura de la miga de la evaluación sensorial	143
Figura 3.42	Superficie de respuesta para la textura de la corteza de la evaluación sensorial	144

Figura 3.43	Superficie de respuesta para el sabor a pan de la evaluación sensorial	145
Figura 3.44	Superficie de respuesta para la presencia de sabores extraños de la evaluación sensorial	145
Figura 3.45	Diagrama de entradas y salidas de flujo de energía en la cámara de fermentación por lote	158
Figura 3.46	Diagrama de entradas y salidas de flujo de energía en el horno por lote	158
Figura 3.47	Diagrama de la energía perdida en el banco de enfriamiento por lote	158
Figura 3.48	Diagrama de bloques propuesto para la elaboración de pan con 90 % de harina de trigo y 10 % de harina de arrocillo	160
Figura 3.49	Simbología de los equipos principales utilizados en el PFD	161
Figura 3.50	Punto de equilibrio de la planta de panifición	173
Figura AIX.1	LSD de la harina de arrocillo	213
Figura AIX.2	LSD de la harina de trigo	213
Figura AXI.1	Curvas experimentales de fermentación para T0	220
Figura AXI.2	Curvas experimental promedio y teórica de fermentación para T0	220
Figura AXI.3	Curvas experimentales de fermentación para T1	222
Figura AXI.4	Curvas experimental promedio y teórica de fermentación para T1	222
Figura AXI.5	Curvas experimentales de fermentación para T2	223
Figura AXI.6	Curvas experimental promedio y teórica de fermentación para T2	223
Figura AXI.7	Curvas experimentales de fermentación para T3	224
Figura AXI.8	Curvas experimental promedio y teórica de fermentación para T3	224
Figura AXI.9	Curvas experimentales de fermentación para T4	226
Figura AXI.10	Curvas experimental promedio y teórica de fermentación para T4	226
Figura AXI.11	Curvas experimentales de fermentación para T5	227
Figura AXI.12	Curvas experimental promedio y teórica de fermentación para T5	227

Figura AXI.13 Curvas experimentales de fermentación para T6 228

Figura AXI.14 Curvas experimental promedio y teórica de fermentación para T6 228

Figura AXI.15 Curvas experimentales de fermentación para T7 230

Figura AXI.16 Curvas experimental promedio y teórica de fermentación para T7 230

Figura AXI.17 Curvas experimentales de fermentación para T8 231

Figura AXI.18 Curvas experimental promedio y teórica de fermentación para T8 231

Figura AXI.19 Curvas experimentales de fermentación para T9 232

Figura AXI.20 Curvas experimental promedio y teórica de fermentación para T9 232

Figura AXI.21 Curvas experimentales de fermentación para T10 234

Figura AXI.22 Curvas experimental promedio y teórica de fermentación para T10 234

Figura AXI.23 Curvas experimentales de fermentación para T11 235

Figura AXI.24 Curvas experimental promedio y teórica de fermentación para T11 235

Figura AXI.25 Curvas experimentales de fermentación para T12 236

Figura AXI.26 Curvas experimental promedio y teórica de fermentación para T12 236

Figura AXIV.1 Diagrama – Proceso de dosificación 244

Figura AXIV.2 Diagrama – Proceso de amasado 245

Figura AXIV.3 Diagrama – Proceso de división 246

Figura AXIV.4 Diagrama – Proceso de boleado 247

Figura AXIV.5 Diagrama – Proceso de reposado 248

Figura AXIV.6 Diagrama – Proceso de laminado y moldeado 248

Figura AXIV.7 Diagrama – Proceso de fermentado 249

Figura AXIV.8 Diagrama – Proceso de horneado 250

Figura AXIV.9 Diagrama – Proceso de desmoldeo 251

Figura AXIV.10 Diagrama – Proceso de enfriamiento 251

Figura AXIV.11 Diagrama – Proceso de rebanado 252

Figura AXIV.12 Diagrama – Proceso de enfundado y etiquetado 253

Figura AXIV.13 Diagrama – Proceso de molienda 254

Figura AXVI.1 Diagrama – Cámara de fermentación 256

Figura AXVI.2 Diagrama – Horno 257

Figura AXVI.3 Diagrama – Enfriamiento del pan molde 259

Figura AXVI.4 Diagrama del consumo de energía en el horno WP THERMADOR 262

ÍNDICE DE ANEXOS

PÁGINA

ANEXO I
Determinación del tamaño de partículas de harinas. 194

ANEXO II
Determinación del contenido de amilosa. 196

ANEXO III
Método para la obtención de farinogramas. 198

ANEXO IV
Método para la obtención de extensogramas. 199

ANEXO V
Método para la obtención de fermentogramas. 202

ANEXO VI
Método para la obtención de amilogramas. 204

ANEXO VII
Formato de encuesta para la evaluación sensorial. 206

ANEXO VIII
Formato de encuesta para la evaluación de aptitud panadera. 210

ANEXO IX
Resultados del tamaño de partícula de la harina de arrocillo y harina de trigo. 211

ANEXO X
Resultados de las pruebas farinológicas. 214

ANEXO XI
Parámetros del modelo matemático de la cinética de fermentación y resultados experimentales obtenidos para las masas de panificación. 216

ANEXO XII
Análisis de varianza (ANOVA). 237

ANEXO XIII
Determinación del tamaño de la planta. 242

ANEXO XIV
Cálculos del balance de masa. 243

ANEXO XV
Resultados del balance de masa para la planta de producción. 255

ANEXO XVI
Cálculos para el balance de energía. 256

ANEXO XVII
Dimensionamiento de equipos. 264

ANEXO XVIII
Localización de la planta de producción. 271

ANEXO XIX
Diagrama de flujo del proceso (PFD) para la planta de producción. 272

ANEXO XX
Distribución en planta (LAYOUT). 273

ANEXO XXI
Diagrama de Gantt para la producción de pan. 274

ANEXO XXII
Diagrama de Gantt diario del personal. 275

ANEXO XXIII
Nómina de personal administrativo y operativo. 276

ANEXO XXIV
Estado de flujo de caja e indicadores financieros del proyecto. 277

ANEXO XXV
Hojas de especificaciones técnicas de los equipos. 278

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo el estudio el efecto de la sustitución parcial de harina de trigo por harina de arrocillo en la producción de pan. Además de la evaluación de la adición de CMC (dosis del 0,5 y 1 %) en las características de las masas de panificación y el producto final.

Para esto se realizó una molienda en seco de arrocillo, para obtener harina con un tamaño de partícula inferior a 180 µm. Posteriormente se realizaron mezclas de harina de trigo comercial con la harina obtenida, en porcentajes de: 90-10, 80-20, 70-30 y 60-40, respectivamente. A las que se caracterizaron física, química y farinológicamente.

De los análisis con calorimetría diferencial de barrido, se determinó el contenido de amilosa, que fue 26,25 % para la harina de trigo y 18,55 % para la harina de arrocillo. Mientras que la entalpía de retrogradación aumentó con los días de almacenamiento y el contenido de harina de arrocillo, disminuyó con la presencia de CMC.

Del estudio reológico mediante un análisis dinámico, se determinó que el módulo de almacenamiento es mayor al módulo de pérdida, lo que indica que las masas con harina de arrocillo, tienen el comportamiento de un sólido elástico.

Se determinaron las variables de panificación para los tratamientos con y sin CMC. La absorción de agua disminuye con la presencia de harina de arrocillo y se incrementa con el aditivo. El tiempo de amasado aumenta con la harina de arrocillo y el CMC. Y el tiempo de fermentación aumenta con la harina de arrocillo y disminuye con el CMC.

A partir de la evaluación de aptitud panadera realizada por panelistas expertos y la evaluación sensorial realizada por panelistas semi-entrenados, se seleccionó al tratamiento con 90 % harina de trigo y 10 % de harina de arrocillo para el diseño de la planta de producción. Sus características fueron: 68,0 % absorción de agua,

5 min de tiempo de amasado, 70,67 min de tiempo de fermentación y 39,2 % de humedad final del producto.

Para un mercado meta, se diseñó una planta industrial con capacidad de 15 t/día, estableciendo el proceso productivo y la maquinaria necesaria, a partir de los balances de masa y energía.

Del análisis económico se calcularon los siguientes indicadores financieros: TIR de 14,34 % y VAN de 10 911 967,88 USD para la vida útil del proyecto, mientras que el punto de equilibrio resultó en 2 186 195 USD para la operación anual, siendo un proyecto factible.

INTRODUCCIÓN

Desde inicios del siglo XXI, el pan que se consume a nivel mundial, en su gran mayoría, está elaborado de harina trigo. Sin embargo, en varias investigaciones se han utilizado harinas procedentes de otros cereales como el arroz, centeno, cebada y maíz, buscando el desarrollo de nuevos alimentos, que cubran la creciente demanda de este producto (Gómez, León y Rosell, 2007, p. 30; Lezcano, 2011, p. 1; Lutz y Edel, 2009, p. 14).

El Ecuador se ha caracterizado por ser un país productor de los principales cereales como son el trigo y el arroz, a tal punto que hasta los años setenta la producción de trigo fue autosuficiente. Sin embargo, este escenario cambio por el programa de ayuda alimentaria para países subdesarrollados implementado por Estados Unidos (Molina y Guzmán, 2012, p. 6).

Esta realidad, se evidencia en las cifras oficiales presentadas por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) que para el año 2014 indica que apenas 8 395 ha se dedicaron para el cultivo de trigo, lo que equivale al 0,7 % del área total cultivada. Logrando obtener una producción de apenas 5 755 toneladas, destinadas para el autoconsumo (FAOSTAT, 2014; INEC, 2014).

El alto consumo interno de trigo y su baja producción representan una problemática económica para el Ecuador. Lo que ha llevado al país a realizar importaciones de esta materia prima para suplir la demanda interna para la elaboración de productos farináceos. Pues el trigo adquirido se distribuye en un 5 % para galletas, 20 % para fideos y el 75 % para panificación. De ahí que para el año 2015, la demanda interna del Ecuador ascendió a 908 201 toneladas. (MAGAP, 2014; SCRLA, 2014, p. 6).

Por otra parte el Ecuador es productor de arroz, lo que se ratifica con los datos proporcionados por el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP) para el año 2012, que revela que se han dedicado 411 459 ha para el cultivo de este cereal, lo que equivale al 3,46% del área total cultivada. Con lo que

se obtuvo una producción de 1 565 535 toneladas, siendo suficiente para satisfacer la demanda interna (FAOSTAT, 2014, p. 1; MAGAP, 2014, p. 1).

Es importante recalcar que durante el proceso de pilado del arroz, se generan pérdidas que representan el 35 % de la producción cosechada. De éstas, el principal subproducto generado es el arrocillo con el 9 %, mientras que el 26 % restante corresponde a la cáscara, al polvillo e impurezas (KOVICLEY, 2011, p. 16).

Con esta realidad nacional y con la tendencia a la elaboración de nuevos productos de panificación a partir de harinas compuestas, parte la iniciativa para la producción de pan con sustitución parcial de harina de arrocillo. Sin embargo, la implementación de una harina diferente a la de trigo, requiere del análisis y la modificación de los parámetros que intervienen en las diferentes etapas del proceso. Además que el producto final demanda una alta calidad y mayores tiempos de vida útil (Gómez, Tadini y Pérez, 2009, pp. 145-146; Rosell et al., 2007, p. 146).

La aceptación del consumidor hace que productos de panificación sean desechados, debido a los cambios en las características organolépticas (sabor, aroma, textura y crujibilidad), atribuidos al envejecimiento del pan, también conocido como retrogradación (Demirkesen, Campanella, Sumnu, Sahin y Hamaker, 2013, pp. 806-807).

Tras varios estudios se han evidenciado que la retrogradación para productos elaborados con harina de arroz se da a mayor velocidad, respecto de aquellos que han sido elaborados con harina de trigo. De ahí la importancia de la adición de un aditivo que contrarreste dicho efecto (Ribotta, Pessoa y Tadini, 2009, p. 16).

La presente investigación contiene el estudio del efecto de la sustitución parcial de la harina de trigo por harina de arrocillo en la producción de pan. Se realiza la caracterización física, química y farinológica de las harinas de trigo y arrocillo y de las mezclas en proporciones 90:10, 80:20, 70:30 y 60:40, respectivamente.

Se determinan las variables de panificación para los tratamientos con sin aditivo, como son: la absorción de agua, el tiempo de amasado y el tiempo de fermentado.

Se evalúa el efecto del aditivo hidrocoloide CMC (carboximetilcelulosa) en las características reológicas de masas panarias y en el envejecimiento del pan. Éste último medido en la retrogradación de la amilopectina y en la pérdida de humedad de la miga.

Finalmente, se establecen los mejores tratamientos mediante una evaluación de aptitud panadera y una evaluación sensorial de atributos. A partir de las cuales se define la mejor muestra, para extrapolar los resultados obtenidos experimentalmente (laboratorio) a escala industrial, realizando el diseño de una planta de panificación y un análisis económico para la factibilidad del proyecto.

Con base en las razones expuestas, este estudio busca dar una alternativa para la reducción de la alta dependencia de importaciones de trigo, de tal forma que se pueda contribuir al ahorro y fomentar la industria local, utilizando materia prima nacional.

1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 PRODUCCIÓN DE PAN EN EL ECUADOR

El pan en el Ecuador, es un alimento de consumo diario que se ha caracterizado porque su producción utiliza como materia prima fundamental la harina de trigo. La industria ecuatoriana busca nuevas alternativas de panificación para ofertar en el mercado, que no solo exige un buen producto sino un buen precio, lo cual ha conllevado a la investigación y desarrollo de materias primas, nuevas formulaciones y procesos para optimizar dichos requerimientos.

1.1.1 CEREALES EN PANIFICACIÓN - TRIGO Y ARROZ

En la industria de panificación, el trigo es el cereal más utilizado para la elaboración de sus productos, no obstante se han realizado varios estudios con nuevas alternativas como el arroz, centeno, cebada y maíz. El motivo primordial es satisfacer las necesidades de los consumidores ofertando productos nuevos (Gómez, León y Rosell, 2007, p. 30; Lezcano, 2011, p. 1; Lutz y Edel, 2009, p. 14).

1.1.1.1 Trigo (*Tritucum durum*)

El trigo es una planta gramínea y es considerado entre los tres granos más importantes del mundo, junto con el maíz y el arroz. Se lo reconoce hasta la actualidad como el cereal de mayor consumo en la civilización occidental (Gómez, León y Rosell, 2007, p. 19). A nivel mundial, tiene una producción anual que fluctúa entre los 540 – 580 millones de toneladas (Lai y Lin, 2006, p. 4).

El grano de trigo tiene forma ovoide con puntas redondeadas, en un extremo sobresale la pelusa que es un conjunto de finos pelos y en el otro el germen. Está

constituido por tres componentes principales: el endospermo, el salvado o afrecho y el germen como se observa en la Figura 1.1 (Juárez, Bárcenas-Pozos y Hernández, 2014, p. 81)

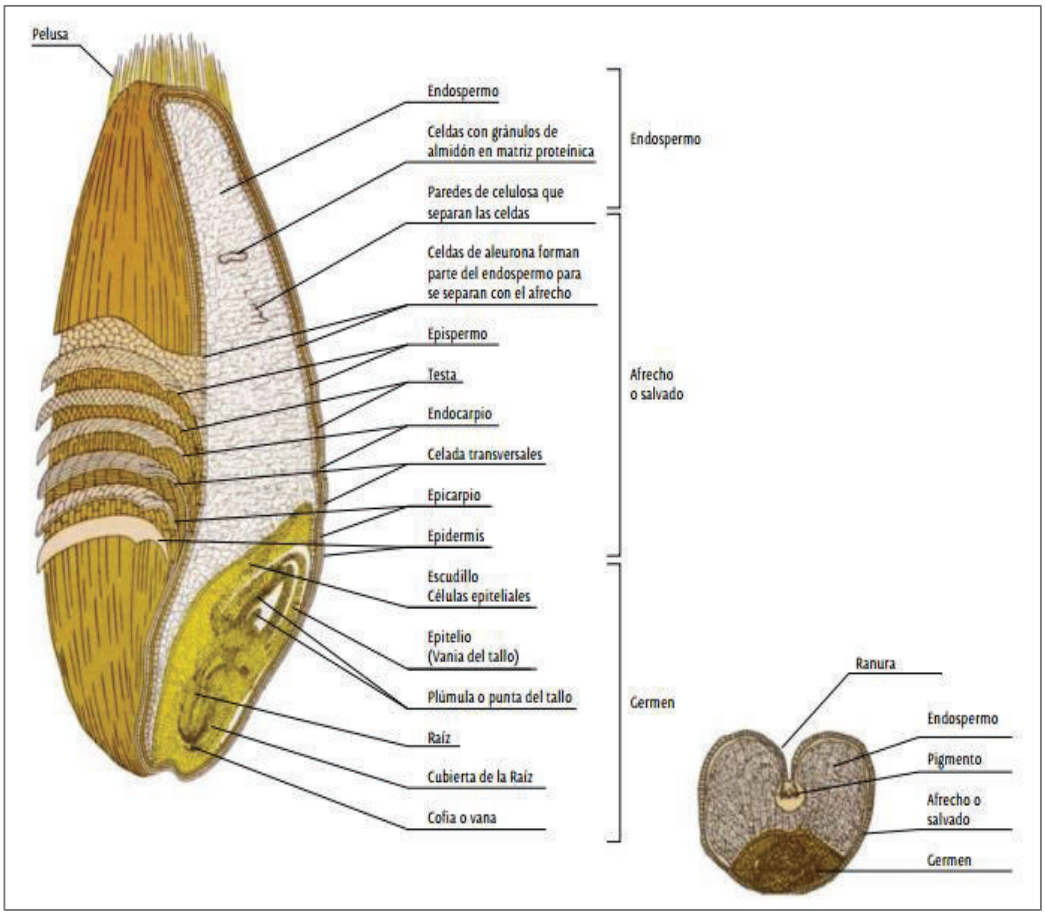


Figura 1.1 Estructura del grano de trigo
(AAPROTRIGO - Asociación Argentina Pro-Trigo, 2003, p. 2)

El endospermo constituye el 82,5 % del peso total del grano y es de donde se extrae la harina. Está constituido principalmente por almidón y proteínas, y en cantidades menores por vitaminas y minerales (Juárez, Bárcenas-Pozos y Hernández, 2014, p. 81)

El salvado constituye el 15 % del grano y su principal componente es el pericarpio (epidermis, epicarpio y endocarpio) que se elimina en el proceso de obtención de la harina. Contiene proteínas, minerales y vitaminas (Juárez, Bárcenas-Pozos y Hernández, 2014, p. 81).

El germen constituye el 2,5 % y es el encargado de dar origen a una nueva planta y es rico en vitaminas pertenecientes al grupo B y E (Gómez, León y Rosell, 2007, pp. 32-34).

La composición química del grano de trigo varía de acuerdo al lugar de cultivo, las condiciones ambientales y a su variedad. De forma general se encuentra constituido por carbohidratos, lípidos, minerales, compuestos nitrogenados, vitaminas y agua, como se indica en la Tabla 1.1 (Juárez, Bárcenas-Pozos y Hernández, 2014, p. 81).

Tabla 1.1. Composición química del grano y harina de trigo
(por cada 100 g de producto)

Componente	Harina blanca	Grano de Trigo	
		Salvado	Germen
Calorías (kcal)	361,00	216,00	360,00
Proteína (g)	11,98	15,55	23,15
Grasa (g)	1,66	4,25	9,72
Hidratos de carbono (g)	72,53	64,51	51,80
Cenizas (g)	0,47	5,79	4,21
Fibra (g)	2,40	42,80	13,20
Humedad (g)	13,36	9,90	11,12

(Gómez, León y Rosell, 2007, p. 37)

Las proteínas presentes en el trigo comprenden: las albuminas, globulinas, gluteninas y las prolaminas (gliadinas). Se divide en dos grupos: las proteínas funcionales conformadas por las albúminas y las globulinas, y las proteínas de reserva conformadas por las gliadinas y gluteninas.

Las proteínas funcionales se encuentran en un rango del 20 - 25 %. Son fracciones ricas en aminoácidos esenciales y se sitúan en las capas de aleurona, salvado y germen (Gómez, León y Rosell, 2007, pp. 33-34).

Las proteínas de reserva y estructurales se encuentran mayoritariamente con el 75 - 80 %. Son fuentes de nitrógeno, situadas en el endospermo y forman el glúten (Gómez, León y Rosell, 2007, pp. 33-34).

Los carbohidratos son la fuente de energía y en los cereales son almacenados en sus granos en forma de almidón. El almidón es el carbohidrato mayoritario en el grano de trigo maduro con un rango que va desde el 65 - 70 % en la harina (Gómez, León y Rosell, 2007, pp. 32-34).

En los lípidos predominan los de tipo acil, especialmente los triglicéridos que contienen ácido α–linolénico, linoleico, estéarico, palmítico y oleico. Los ácidos grasos saturados constituyen el 11 - 26 % mientras que los insaturados el 72 - 85 % del total (Gómez, León y Rosell, 2007, pp. 35-36).

Los componentes mayoritarios de las cenizas son los fosfatos y los sulfatos de calcio, magnesio y potasio; y además hierro, magnesio, zinc y cobre (Gómez, León y Rosell, 2007, p. 36)

1.1.1.2 Arroz (*Oryza sativa L.*)

El arroz es una planta gramínea que se adapta fácilmente a las condiciones extremas como el calor, la humedad, el frío, la aridez e inundaciones. Su desarrollo óptimo se da en climas cálidos y húmedos, generalmente a las orillas de los ríos. Crece sumergido en agua siendo el único cereal que puede desarrollarse en tales condiciones por largos períodos que varían entre 120 y 140 días (Rosell, Brites, Pérez y Gularte, 2007, pp. 126-128).

Es el segundo cereal de producción mundial ascendiendo a 605,6 millones de toneladas (Rosell, Brites, Pérez y Gularte, 2007, p. 131). El 95 % de su producción lo abarcan la China e India que son países desarrollados, mientras que el Ecuador apenas es productor del 0,25 % (Pinciroli, 2010, pp. 1-2).

Su importancia radica en que el arroz es producido únicamente para la alimentación humana y no para piensos. Existe una notable diferencia en el consumo promedio anual entre los países desarrollados (16,1 kg/persona) y en los países en vías de desarrollo (104,7 kg/persona), siendo los primeros los

grandes productores y los segundos los grandes consumidores de este cereal (Rosell, Brites, Pérez y Gularte, 2007, p. 125).

El grano de arroz proveniente de las cosechas, es el arroz con cáscara conocido como “arroz paddy”, cuya estructura se la representa en la Figura 1.2.

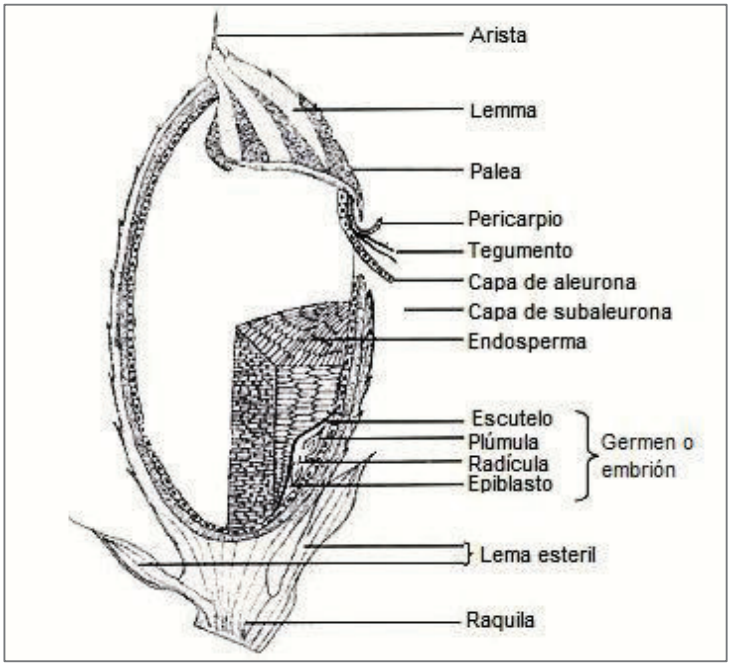


Figura 1.2 Estructura del grano de arroz
(Bhattacharya, 2011, p. 102)

La cáscara posee una estructura fibrosa y está formada por la palea y el lema, que en conjunto reciben el nombre de glumelas y no son comestibles (Pinciroli, 2010, p. 2; Rosell, Brites, Pérez y Gularte, 2007, p. 129)

El fruto cariopse está conformado por el embrión, la aleurona, las capas de pericarpio, el tegmen y el endosperma, este último constituido por gránulos de almidón y proteicos (Pinciroli, 2010, p. 2).

En el grano de arroz sin cáscara, el salvado corresponde al 6 %, el germen al 2 % y el endospermo al 92 %, del peso total del grano. Su composición química varía según las condiciones del cultivo, variedad y molienda (Juárez, Bárcenas-Pozos y

Hernández, 2014, p. 81; Rosell, Brites, Pérez y Gularte, 2007, p. 136). En la Tabla 1.2 se tabulan los valores promedios tanto para el grano y la harina de arroz.

Los hidratos de carbono son el principal componente del arroz, formado en un 80 % de almidón, que es un polímero conformado por amilosa y amilopectina, cuya relación es determinante en las propiedades funcionales (Rosell, Brites, Pérez y Gularte, 2007, p. 136).

Tabla 1.2. Composición química del grano y la harina de arroz (por cada 100 g de producto)

Componente	Harina de arroz	Grano de arroz
Calorías (kcal)	361,00	364,00
Proteína (g)	5,90	7,10
Grasa (g)	0,70	0,70
Hidratos de carbono (g)	80,10	79,90
Minerales (g)	0,60	0,60
Fibra dietética (g)	2,40	1,30
Humedad (g)	13,36	12,00

(Rosell, Moita, Pérez y Gularte, 2007, p. 136)

Las proteínas son el segundo componente del arroz y su mayor parte se encuentra en el endospermo; sin embargo, es el más pobre con respecto al resto de cereales. En el arroz tanto las glutelinas como las prolaminas toman nombres propios, se denominan orizezina y orizina, respectivamente siendo las primeras el componente mayoritario en un rango del 75 - 90 % (Pinciroli, 2010, p. 8; Rosell, Brites, Pérez y Gularte, 2007, p. 137).

Los lípidos se confinan en el germen y la capa de aleurona. Desempeñan un rol importante en las propiedades funcionales y sensoriales (Rosell, Brites, Pérez y Gularte, 2007, p. 138).

Los minerales más representativos presentes en el arroz son el hierro, el magnesio, el potasio y el fósforo (Rosell, Brites, Pérez y Gularte, 2007, p. 139).

1.1.2 MATERIAS PRIMAS DE PANIFICACIÓN

1.1.2.1 Harina

La harina se puede considerar como la materia prima base y es el polvo fino resultante de la molienda y tamizado de diferentes cereales, legumbres o pseudo-cereales, siendo el cereal más común el grano de trigo. Se trata de un producto comercial libre de impurezas y materiales extraños, de forma que no alteren su calidad y aceptación en el consumidor (Brown, 2011, p. 368).

El principal constituyente de la harina es la proteína, cuyo contenido y calidad depende de factores como: la variedad de cultivo, las prácticas agrícolas, los efectos ambientales y la molienda (Cauvain, 2012, p. 16). Así en la Tabla 1.1 y en la Tabla 1.2 se observa que en los granos de los cereales el contenido de proteína es mayor que en las harinas obtenidas a partir de su procesamiento.

La harina es un componente esencial en el proceso de panificación, debido a que interviene en la formación de la red de gluten junto con el agua en el amasado (Cauvain, 2012, p. 16). Su función principal es proveer estructura, textura y sabor en los productos horneados (Lai y Lin, 2006, p. 41).

1.1.2.2 Agua

El agua es un ingrediente primordial para la formación y obtención de un buen producto de panificación, de ahí la importancia para determinar la cantidad exacta que se requiere en su formulación.

Un exceso de agua puede dar como resultado un producto con elevada humedad y bajo volumen, mientras que con cantidades menores de agua se obtiene un producto con volumen bajo y seco, produciendo un envejecimiento más rápido (Brown, 2011, p. 380).

Entre las principales funciones del agua se tiene que: hidrata la proteína para la formación de gluten (Brown, 2011, p. 379), añade movilidad a la masa y actúa como solvente, agente dispersante y medio para que se produzcan las reacciones químicas y bioquímicas (Lai y Lin, 2006, p. 41).

Es importante conocer qué tipo de minerales y sustancias orgánicas se encuentran disueltas en el agua. Pues dependiendo del tipo y la cantidad, pueden afectar el sabor, color y atributos físicos de los productos de panificación terminados. Por ejemplo, el uso de aguas suaves dan como resultado masas pegajosas; sin embargo, este fenómeno puede superarse con un incremento de la cantidad de sal, en la formulación del pan (Gulum y Sakiyan, 2014, p. 179).

Para el uso en panificación es recomendable utilizar agua dura, es decir que contenga minerales y cloro, pues una cantidad adecuada de estos componentes ayuda en el proceso fermentativo de la levadura (Yang, 2014, p. 268).

1.1.2.3 Levadura

La levadura utilizada en panificación es la *Saccharomyces cerevisiae*, que es un organismo vivo sensible a las temperaturas. El rango de fermentación óptima se encuentra entre los 27 – 38 ^{o}C, siendo los 35 ^{o}C la temperatura a la cual se han encontrado los mejores resultados (Lai y Lin, 2006, p. 14).

La levadura es el principal componente de la fermentación y es sensible a la sal y azúcar debido al mecanismo de deshidratación osmótica. Por ello, una inadecuada mezcla o un exceso en la cantidad de estos productos podrían influenciar negativamente en la fermentación (Yang, 2014, p. 269).

Entre sus principales funciones se tiene lo siguiente:

- Convierte a la masa en un cuerpo fermentativo donde se desarrollan reacciones bioquímicas.

- Es la responsable del incremento del volumen debido a su capacidad de producir dióxido de carbono.
- Desarrollo del aroma del pan producido durante la fermentación, producido por la presencia de alcoholes, carbonilos, esteres y ácidos orgánicos.

1.1.2.4 Sal

La sal es un ingrediente que añadido en pequeñas cantidades contribuye a producir una masa firme, mejorar el volumen y la textura (Brown, 2011, p. 380). Entre sus principales funciones (Brown, 2011, p. 380; Lai y Lin, 2006, p. 41), se tiene lo siguiente:

- Actúa como potenciador de sabor.
- Ayuda en el control de la fermentación, pues inhibe el crecimiento de las levaduras; de lo contrario el proceso de fermentación sería demasiado rápido y se obtendría una masa sumamente pegajosa.
- Prolonga el desarrollo de masa, un retraso en su adición se vería reflejado en el aumento del tiempo de amasado.

1.1.2.5 Azúcar

El azúcar no sólo es un ingrediente que brinda dulzor a los productos de panificación, también ejerce un importante rol en su volumen, humedad, color y contenido calórico (Brown, 2011, p. 379).

Entre sus principales funciones (Brown, 2011, p. 379; Lai y Lin, 2006, p. 41), se tiene lo siguiente:

- Actúa como fuente de energía para la levadura, contribuyendo en el incremento del volumen del producto de panificación; sin embargo, su contenido no debe exceder el 12 %, pues el volumen tiende a disminuir.
- Aumenta la temperatura de gelatinización permitiendo que el gluten pueda expandirse y por tanto se incremente el volumen del pan.

- Ayuda en la coloración de la corteza de los productos horneados debido a la caramelización y al pardeamiento no enzimático.
- Incrementa la humedad debido a su naturaleza higroscópica, lo que ayuda a retrasar el endurecimiento del pan.

1.1.2.6 Grasa

La incorporación de la grasa brinda lubricación a la masa interfiriendo en el desarrollo del gluten a través de la formación de redes de almidón y proteína (Brown, 2011, p. 380).

Dependiendo del tipo y concentración de grasa utilizada en el proceso de panificación influye en las características sensoriales del producto como: color, sabor, textura y volumen, mejorando su tiempo de vida de anaquel. Desempeña un papel importante en la transferencia de calor (Lai y Lin, 2006, p. 24)

Entre sus principales funciones (Brown, 2011, p. 381; Lai y Lin, 2006, p. 41), se tiene lo siguiente:

- Mejora el volumen del producto, pues al unirse con el azúcar forman celdas de gas que atrapan aire, facilitando su expansión y evitando su ruptura durante el horneado.
- Provee extensibilidad a la estructura del producto volviendo más resistente a la manipulación.
- Actúa sobre las caracterísicas de la miga dependiendo de la concentración, a bajas concentraciones se tiene productos con migas finas, aterciopeladas y con un alveolado uniforme, características que se pierden si las concentraciones son elevadas.
- Retrasa el endurecimiento del pan debido a sus propiedades emulsificantes, pues ayuda a la estabilización de la masa. El efecto que va a ejercer es la disminución de la tensión superficial y el incremento o disminución de las interacciones moleculares en la masa, según sea el caso, dependiento de la cantidad y tipo de grasa utilizada.

1.1.3 MASA DE PANIFICACIÓN

La masa es un sistema multicomponente y multifásico, que se obtiene de la mezcla de los ingredientes secos con el agua. Está compuesto principalmente de proteínas, lípidos, carbohidratos, agua y aire (Romano, Toraldo, Cavella y Masi, 2007, p. 142).

Durante el mezclado, los ingredientes se transforman en un material viscoelástico como consecuencia de la formación de una red tridimensional proteíca, en la cual están dispersas uniformemente los gránulos de almidón (Romano, Toraldo, Cavella y Masi, 2007, p. 142).

Para la formación de esta red tridimensional, las gluteninas y gliadinas juegan un rol fundamental, pues al combinarse con agua forman la red proteica de gluten. Siendo ésta fundamental para la retención de aire y de dióxido de carbono en la masa durante el proceso de panificación (Cauvain y Young, 2008, p. 34).

Las gliadinas son proteínas monoméricas con enlaces disulfuros intramoleculares (Correa, 2012, p. 25). Son cohesivas y de baja elasticidad, por tanto, actúan como plastificante. Son responsables de las propiedades viscosas y la extensibilidad de la masa (Goesaert, Gebruers, Courtin, Brijs y Delcour, 2006, p. 340).

Las gluteninas son una mezcla de proteínas de alto peso molecular (HMW-GS) y de bajo peso molecular (LMW-GS). Se encuentran en relación molar LMW-GS/HMW-GS de 2:1. Son cohesivas y elásticas, y por tanto con controlan la fuerza y la elasticidad de la masa (Correa, 2012, p. 24).

La masa sufre grandes cambios estructurales a lo largo de los procesos productivos. Y tanto los ingredientes como las condiciones de procesamiento, son determinantes en la estructura macroscópica de los productos horneados, que a su vez son responsables de su apariencia, textura, sabor y estabilidad (Romano, Toraldo, Cavella y Masi, 2007, p. 142).

1.1.4 PROCESOS DE PANIFICACIÓN

De acuerdo a la norma NTE INEN 530:2013, se han planteado dos procesos de panificación: con una sola fermentación y con dos fermentaciones, cuyos procesos se muestran en la Figura 1.3.

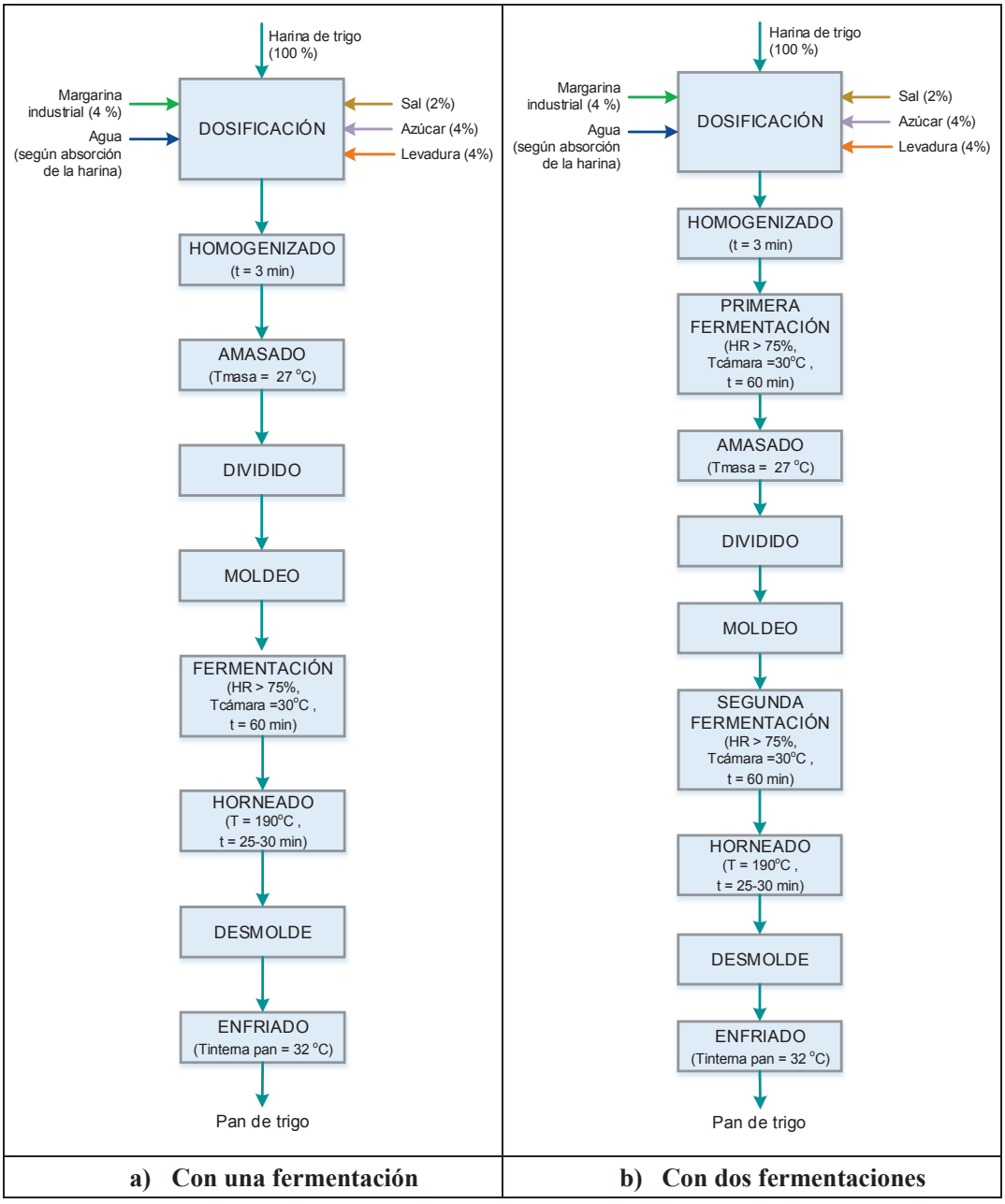


Figura 1.3 Procesos de panificación planteados por Norma INEN
(INEN – Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013, p. 3)

1.1.4.1 Fermentación

La fermentación en panificación es un proceso en el cual los ingredientes una vez mezclados se convierten en una masa suave y expandible, con cambios en sus propiedades estructurales y reológicas. Este proceso se lleva a cabo bajo condiciones controladas de temperatura y humedad durante un tiempo apropiado (Yang, 2014, p. 261).

El proceso de fermentación se da a partir de la reacción química de la levadura con los azúcares produciendo dióxido de carbono y etanol (Brown, 2011, p. 380).

Las reacciones químicas que se producen, se dan en presencia de oxígeno (aerobias) o en ausencia de oxígeno (anaerobias):

a. En presencia de oxígeno:

$$\text{Levadura} + \underset{\text{Oxígeno}}{6\ O_2} + \underset{\text{Glucosa}}{C_6H_{12}O_6} \rightarrow \underset{\text{Dióxido de carbono}}{6\ CO_2\ (gas)} + \underset{\text{Agua}}{6\ H_2O} \qquad [1.1]$$

b. En ausencia de oxígeno:

$$\text{Levadura} + \underset{\text{Glucosa}}{C_6H_{12}O_6} \rightarrow \underset{\text{Etanol}}{2\ C_2H_5OH} + \underset{\text{Dióxido de carbono}}{6\ CO_2\ (gas)} \qquad [1.2]$$

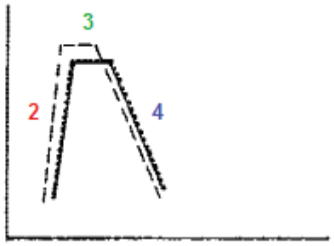
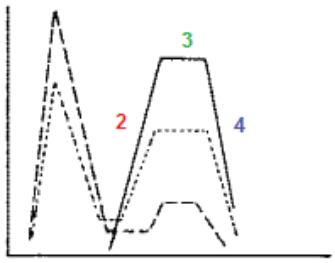
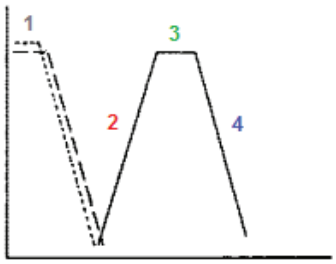
Durante la fermentación, el metabolismo de la levadura, transforma los carbohidratos en dióxido de carbono y alcohol, siendo estos los principales productos. Se forma una cantidad significativa de alcohol, que es miscible con agua, esto influencia en la naturaleza coloidal de las proteínas de trigo y altera la tensión superficial dentro de la masa (Romano, Toraldo, Cavella y Masi, 2007, p. 142).

El dióxido de carbono, en parte se disuelve en la fase acuosa de la masa, migrando hacia el centro del núcleo de las burbujas de aire formado durante el amasado, siendo el responsable del crecimiento de la masa (Romano, Toraldo, Cavella y Masi, 2007, p. 142).

- **Tipos de procesos de fermentación**

Gaden (2000) ha propuesto un enfoque donde los procesos de fermentación se agrupan por su cinética, es decir por las reacciones específicas y los cambios de energía libre involucrados (p. 630). De ahí, que se dividen en tres grupos, designados como tipo I, II y III, y se muestran en la Tabla 1.3.

Tabla 1.3. Tipos de procesos de fermentación

Tipo I	Tipo II	Tipo III
Simple ($\Delta H = -$)	Compleja ($\Delta H = -$)	Biosíntesis de moléculas complejas ($\Delta H = +$)
Patrones de velocidad de fermentación		
		
Reacciones producidas		
$A \rightarrow$ productos $A \rightarrow B \rightarrow C$ productos	$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow$ $\downarrow \quad \downarrow$ $D \quad E$ productos	- Polimerización de carbohidratos y proteínas - Antibióticos y vitaminas - Grasas

(Gaden, 2000, p. 632)

Tipo I. Procesos en los cuales los productos son el resultado de la energía primaria metabólica. La propagación de la levadura aerobia y la fermentación alcohólica, son ejemplos de este de proceso fermentativo (Gaden, 2000, p. 630).

Tipo II. Procesos en los que los principales productos se originan directamente desde reacciones metabólicas. En estos sistemas el producto no es un residuo directo de la oxidación de los carbohidratos, como es el caso de la formación de ciertos ácidos cítricos y aminoácidos (Gaden, 2000, p. 630).

Tipo III. Son procesos en los cuales el principal producto no proviene del metabolismo, pero es elaborado y acumulado en las células, así por ejemplo la síntesis de antibióticos (Gaden, 2000, p. 630).

Debido a la naturaleza multifásica de la fermentación, en general se identifican las siguientes etapas en el metabolismo de la levadura (Gaden, 2000, p. 633):

a. Fase de latencia: donde no hay actividad metabólica
b. Fases de crecimiento: existe un elevado nivel metabólico (respiración y síntesis de ácido nucleico).
c. Fase estacionaria: el crecimiento se detiene, la actividad metabólica disminuye pero la síntesis antibiótica continúa.
d. Fase de muerte: donde la población microbiana disminuye aceleradamente.

1.1.5 SITUACIÓN DE LA INDUSTRIA DE PANIFICACIÓN EN EL ECUADOR

El consumo de pan en el Ecuador forma parte de la dieta diaria de sus habitantes desde tiempos remotos hasta la actualidad. Se han conservado tradiciones alimenticias en fechas específicas, como las “guaguas de pan” por el día de los difuntos. La elaboración artesanal de productos de panificación como los bizcochos de Cayambe o el pan de Ambato son costumbres propias del lugar de procedencia (Marchán, 2003, p. 47).

Según el Instituto Ecuatoriano de Estadística y Censos (INEC), la población ecuatoriana para finales del año 2015 fue de 16 144 000 habitantes y sobre la base de estos datos se proyecta un aumento poblacional lineal que superará los 20 000 000 de habitantes para el año 2032. Este incremento poblacional repercutiría notablemente en la industria de panificación, lo que significaría un incremento proporcional en la demanda de pan y en general los productos que provienen del trigo (INEC, 2014, p. 2).

1.1.5.1 Industria Panificadora

El término de panificación se lo asocia comúnmente a la producción de pan; sin embargo, abarca un campo mucho más amplio que contempla todos los productos alimenticios que tengan como materia prima básica la harina y a los cuales se les aplica calor directamente en un horno.

La industria panificadora del Ecuador se caracteriza por tratarse de una fusión entre la habilidad con la baja producción a nivel artesanal y de medianas empresas (mayoría), una elevada tecnificación con producción a nivel industrial (minoría). Las materias primas utilizadas, los productos principales obtenidos en cada grupo y la forma en cómo llega hacia el consumidor, se lo puede resumir en la Figura 1.4.

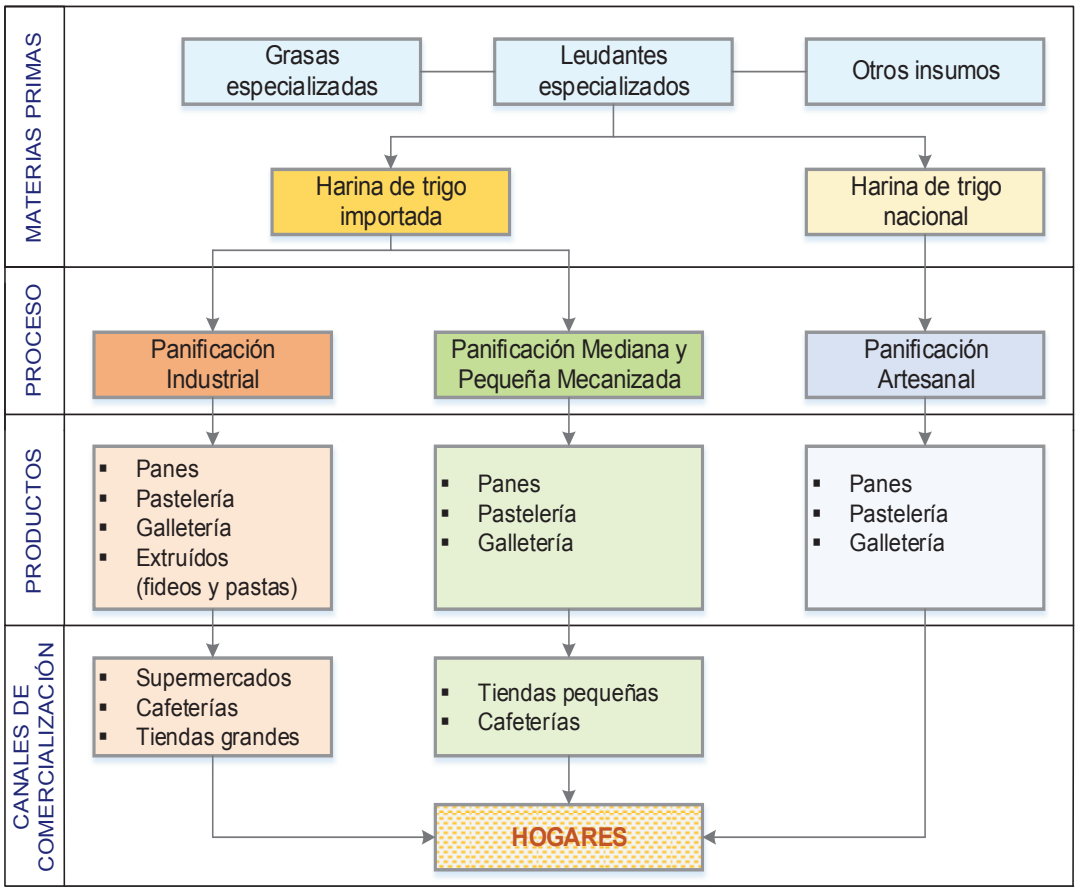


Figura 1.4 Producción y comercialización de productos de panificación en Ecuador
(Marchán, 2003, p. 57)

En el Ecuador se consume una gran variedad de pan producido sobre la base del trigo y otros cereales, a tal punto que el INEC lo identifica como un producto que consta en la despensa básica del hogar.

En la Figura 1.5 y la Tabla 1.4 se detallan las variedades de panes más comunes en el Ecuador. El pan corriente de trigo es el que encabeza la preferencia por parte de los consumidores, con una aceptación del 76 %.

Tabla 1.4. Tipos de pan en el Ecuador y preferencia en los consumidores

Tipo de pan	Preferencia (%)	Tipo de pan	Preferencia (%)
Pan corriente trigo (bollo, redondo y cacho)	75,9613	Pan baguette integral (palanqueta)	0,3336
Pan cortado de trigo	7,2306	Pan de hamburguesa	0,1641
Pan corriente de agua	3,3865	Pan de hot-dog	0,1479
Pan corriente integral (bollo, redondo y cacho)	2,5462	Pan integral molde centeno	0,0923
Pan integral molde integral	1,9167	Pan integral molde integral avena	0,0799
Pan cortado integral	1,7351	Pan de maíz	0,0758
Pan de dulce	1,2999	Pan de yuca	0,0613
Pan corriente centeno (bollo, redondo y cacho)	1,0852	Pan corriente de avena y otros	0,0508
Pan de frutas	0,9666	Pan integral de otros cereales	0,0436
Pan baguette (palanqueta)	0,9578	Pan relleno	0,0141
Pan integral molde trigo	0,8596	Pan de leche	0,0132
Pan molido	0,6218	Panecillo de levadura	0,0018
Pan negro centeno	0,3542		

(INEC – Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2016)

De acuerdo a datos obtenidos del Banco Central del Ecuador en cuanto al consumo intermedio de las industrias para la elaboración de productos de la molinería, panadería, fideos y de otros productos farináceos, se puede apreciar un notorio incremento que se evidencia en la Figura 1.6.

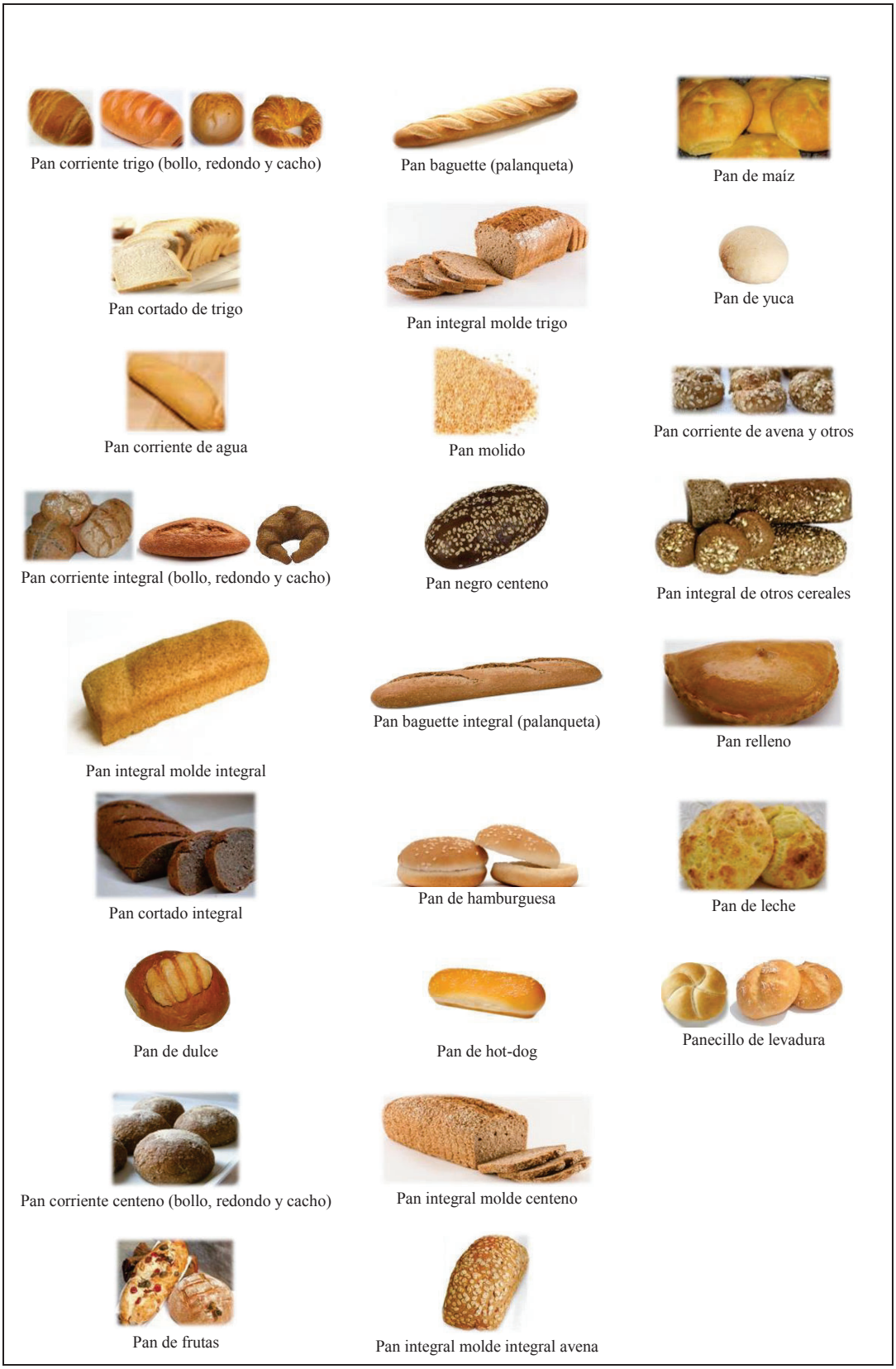


Figura 1.5 Variedades de pan

La tasa de crecimiento poblacional para la última década esta alrededor del 1,6 % y el consumo en la elaboración de productos para la molinería, panadería y otros productos farináceos ha aumentado en promedio en un 7,8 %, analizando la serie de millones de dólares corrientes.

La diferencia se debe tanto al aumento poblacional, hábitos de consumo y la inflación. La serie de millones de dólares 2007 constantes (que son los valores trasladados al valor presente del año 2007), no varían de forma significativa, esto indica que los hábitos de consumo en cuanto a productos farináceos se mantienen a lo largo del tiempo. En consecuencia resulta adecuado basarse en datos históricos para realizar análisis presentes y proyectarlos.

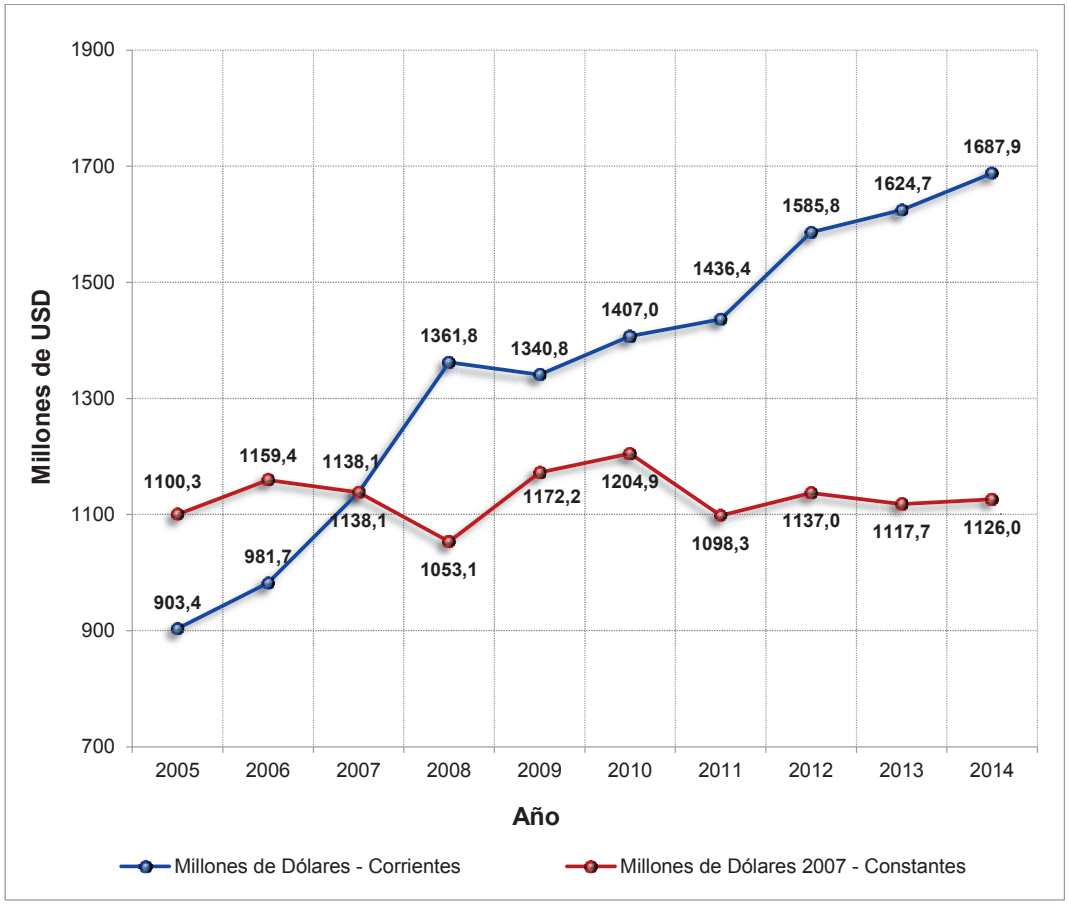


Figura 1.6 Valores de consumo intermedio de las industrias la elaboración de productos de la molinería, panadería y otros productos farináceos en el Ecuador.
(BCE - Banco Central del Ecuador, 2016)

1.1.5.2 Situación del trigo en el Ecuador

La producción de trigo en el Ecuador fue autosuficiente hasta la década de los setenta. Sin embargo, esta realidad cambió, de tal forma que se volvió dependiente por la ayuda alimentaria que recibió por parte de los Estados Unidos que implementó un programa de ayuda alimentaria a países subdesarrollados (FAOSTAT, 2014).

De acuerdo a cifras oficiales presentadas por el INEC para el año 2013 existieron 11 976 668 ha de tierras cultivadas, que corresponde al 46,72 % de la superficie territorial del Ecuador (FAOSTAT, 2014; INEC, 2016).

Para el cultivo de trigo, se ha dedicado únicamente 8 395 ha equivalentes al 0,7 % del área cultivada, alcanzando una producción de 5 755 toneladas, que pertenecen a pequeños agricultores y son destinadas para el autoconsumo (FAOSTAT, 2014; INEC, 2014; Molina y Guzmán, 2012, p. 6).

El gran consumo interno de productos farináceos y la mínima producción de un trigo con baja calidad en gluten, han llevado al país a realizar fuertes importaciones de este cereal. En el período 2005-2015 las cantidades adquiridas fluctúan entre 441 518 y 908 201 toneladas por año. Los precios por tonelada en términos de costo, seguro y flete (CIF) también han variado. En el 2005 se pagó 201,42 USD, alcanzando un máximo de 490,17 USD en el 2008 y bajó el valor hasta 277,89 USD por tonelada en el 2015.

El comportamiento de las importaciones anuales de trigo se observan en la Figura 1.7. El consumo anual percápita de trigo ha aumentado en la última década en el Ecuador como se muestra en la Figura 1.8, es así que para el año 2015 alcanzó su máximo valor de 56,3 kg/habitante/año.

En la Figura 1.9 se observa la variación de los precios del trigo en grano, la harina de trigo y la harina transformada en pan, a partir del segundo semestre del año 2011 teniendo como mercado base la ciudad de Quito.

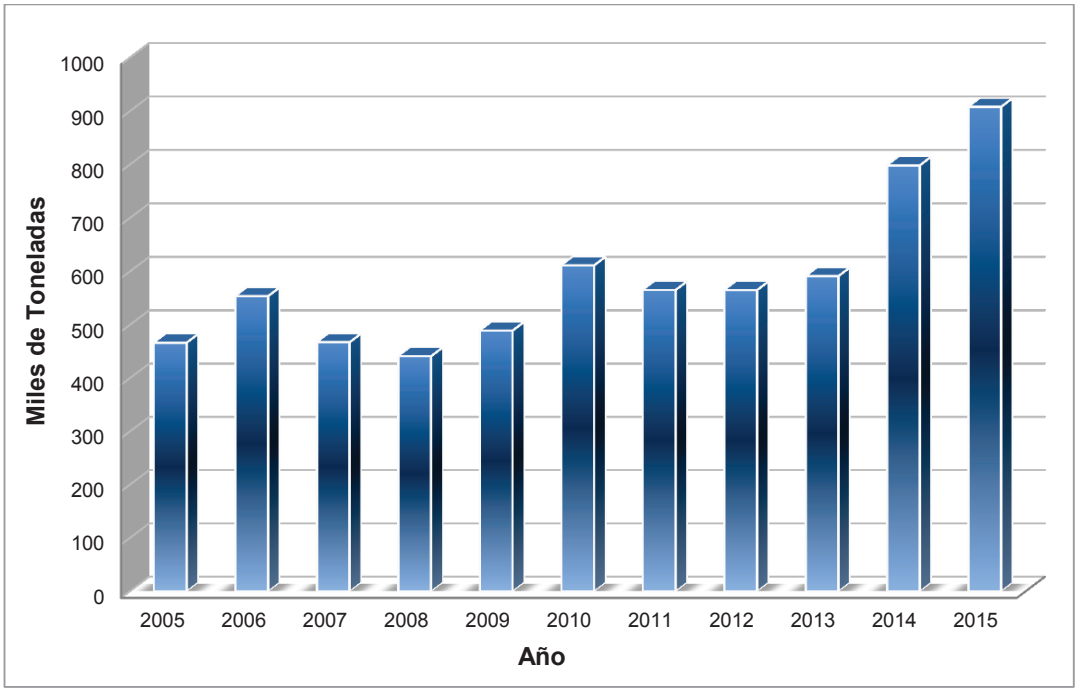


Figura 1.7 Importaciones anuales de trigo realizadas por el Ecuador
(BCE - Banco Central del Ecuador, 2016)

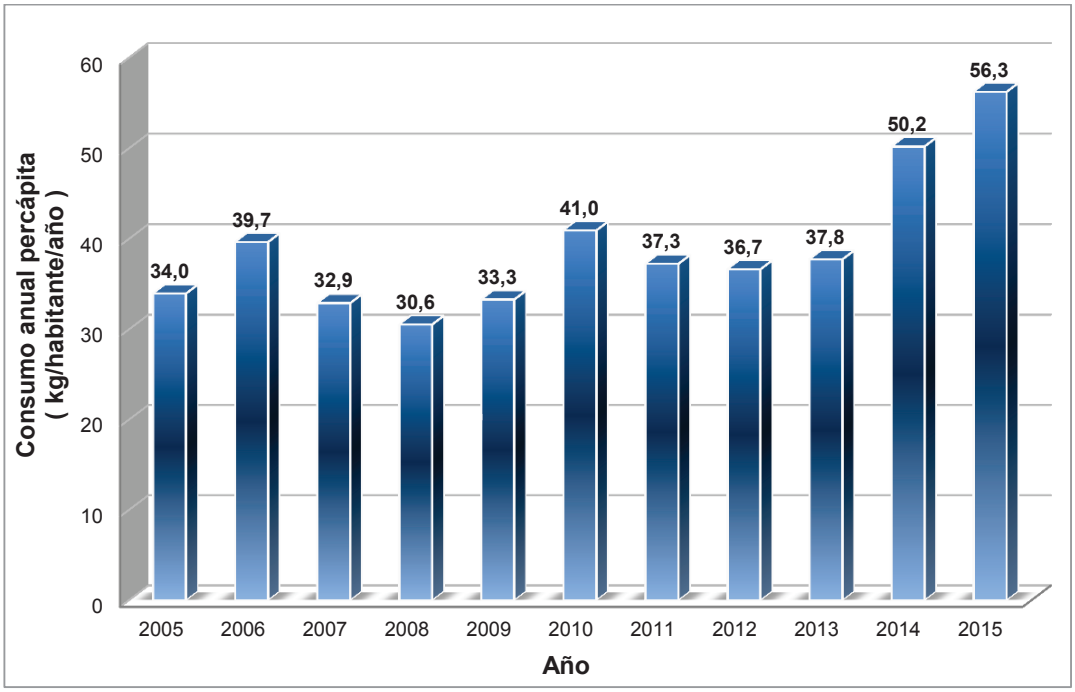


Figura 1.8 Consumo anual percápita de trigo en el Ecuador
(BCE - Banco Central del Ecuador, 2016)

Analizando el precio del trigo en grano, se ha mantenido una tendencia relativamente estable hasta el año 2014; sin embargo, en los tres últimos semestres el precio del trigo ha disminuido en un 9,6 %.

Mientras tanto que la harina de trigo y el pan no tienen el mismo comportamiento, pues presenta una tendencia de crecimiento. El mayor valor agregado en el proceso de trasformación es cuando el trigo pasa de harina a pan, debido a la energía involucrada.

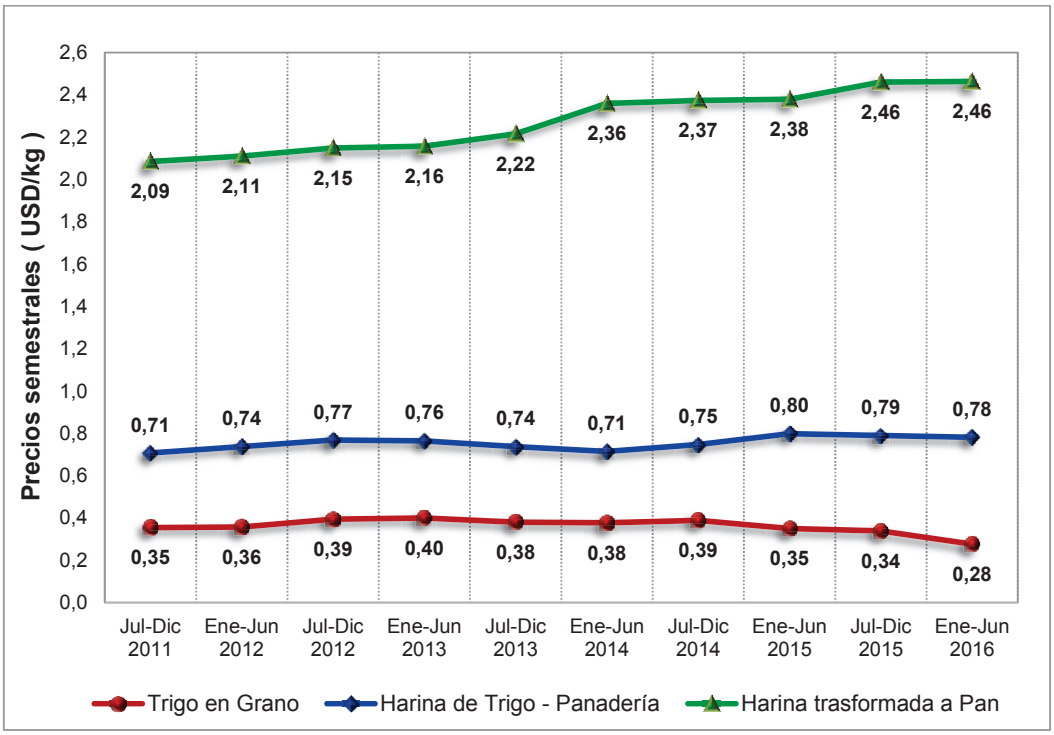


Figura 1.9 Precio del trigo en grano, harina de trigo y harina transformada en pan
(INEC – Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2016)

La producción de trigo en el Ecuador es prácticamente nula debido a los costos de producción, tiempo de cultivo y tecnología.

La alta demanda interna, especialmente para la producción de pan, incentiva la realización de proyectos de cultivo de trigo financiados. Sin embargo, no logran ser sostenibles en el tiempo, agudizándose aún más esta situación con la tendencia a la baja del precio del trigo importado.

1.1.5.3 Situación del arroz en el Ecuador

En el Ecuador según datos proporcionados por el MAGAP, en el año 2013 se dedicó el 3,64 % del área cultivada para la producción de arroz, con lo que cubrió la demanda del consumo interno. Esta tendencia se mantiene hasta la actualidad con una balanza comercial positiva y por tanto no se requiere de importaciones (FAOSTAT, 2014, p. 1; MAGAP, 2014, p. 1).

Para el desarrollo normal del cultivo de arroz, se requiere una temperatura entre los 22 a 30°C y el rango medio de precipitación mensual de 204 mm. La mayor área sembrada con cultivos de arroz en el país se concentra en la región Costa, y en menor cantidad en las estribaciones andinas y en la Amazonía. Las provincias productoras más representativas en el cultivo de arroz, en relación a su superficie son: Guayas, Los Ríos y Manabí (MAGAP, 2014, pp. 5-6).

La Figura 1.10 resume la oferta y demanda total de arroz y los excedentes existentes en el Ecuador en el periodo 2010 al 2015.

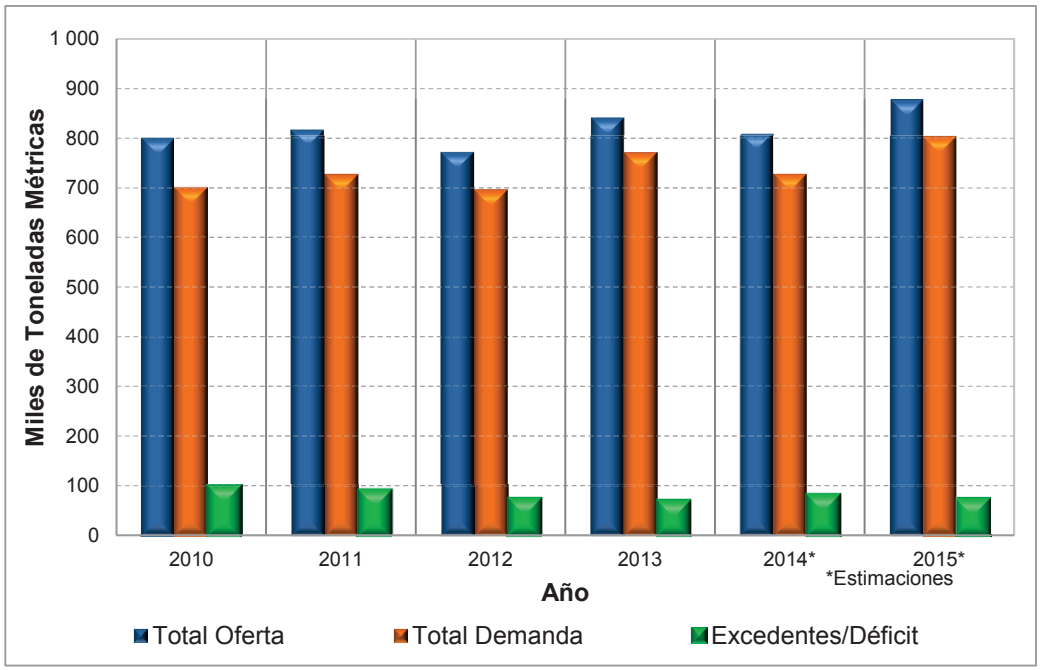


Figura 1.10 Balance oferta - demanda de arroz en el Ecuador
(MAGAP - Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, 2016)

La producción de arroz en el Ecuador se ha mantenido relativamente constante en los últimos cinco años, con variaciones máximas de 5,93 %. Sin embargo, el rendimiento presentó variaciones de hasta el 17,51 % entre el 2013 y 2014, debido a problemas de vaneamiento y plagas (MAGAP, 2014, p. 1).

Cabe destacar que existe alrededor del 35 % de pérdidas de la producción cosechada de arroz, ocasionadas durante el procesamiento del grano. El 20 % corresponde a la cáscara, el 9 % al arrocillo, el 5 % polvillo y el 1 % a las impurezas (KOVICLEY, 2011, p. 16), así en la Figura 1.11, se tiene los diferentes subproductos.

Figura 1.11 Grano de arroz y arrocillo

El arrocillo es un subproducto obtenido a partir del proceso del pilado del grano de arroz. Tiene un tamaño de partícula que varía entre ¼ y ¾ de la longitud normal del grano, por tanto, se lo considera adecuado para la elaboración de harina (KOVICLEY, 2011, p. 16).

La Figura 1.12 muestra los niveles de producción de arroz, desde la cosecha hasta su estado de comercialización final. También se observa la cantidad de arrocillo y el rendimiento a nivel de cosecha en términos de tonelada por hectárea.

El comportamiento del precio a diferentes niveles de la comercialización se muestra en la Figura 1.13. Los precios para el productor nacional corresponden a sacos de 90,72 kg, mientras que para los demás niveles se reportan valores para sacos de 45,36 kg. Los precios al consumidor son el promedio de los mercados terminales de Quito, Guayaquil y Cuenca.

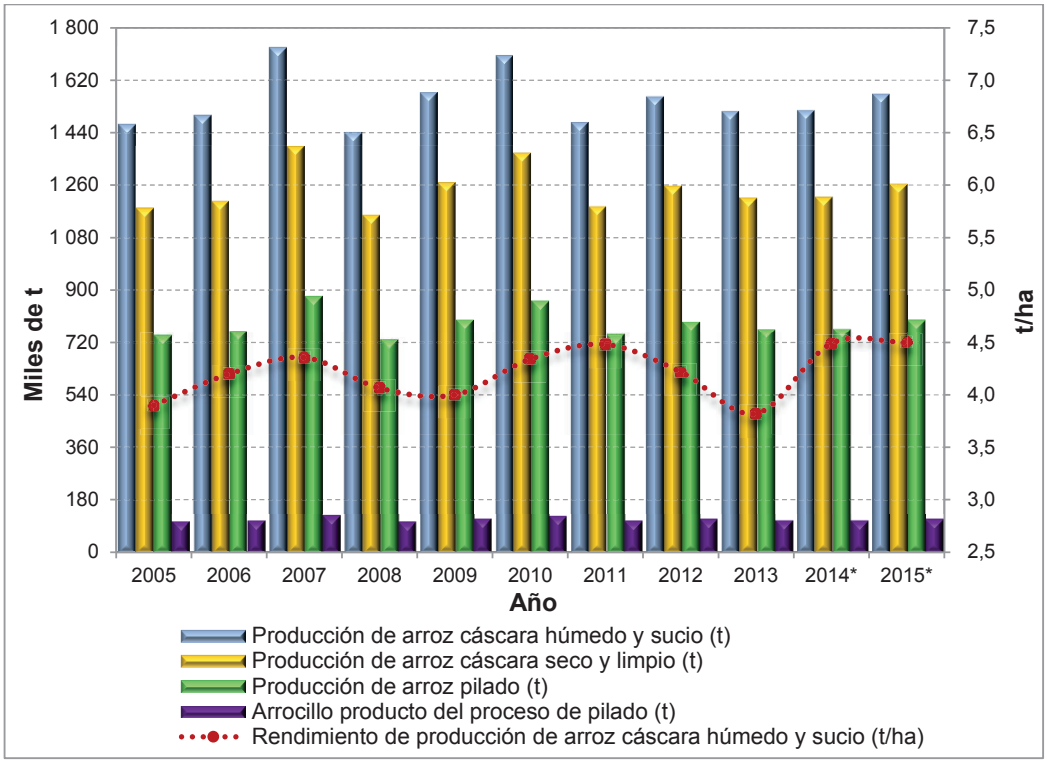


Figura 1.12 Producción de arroz y arrocillo en el Ecuador
(MAGAP - Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, 2016)

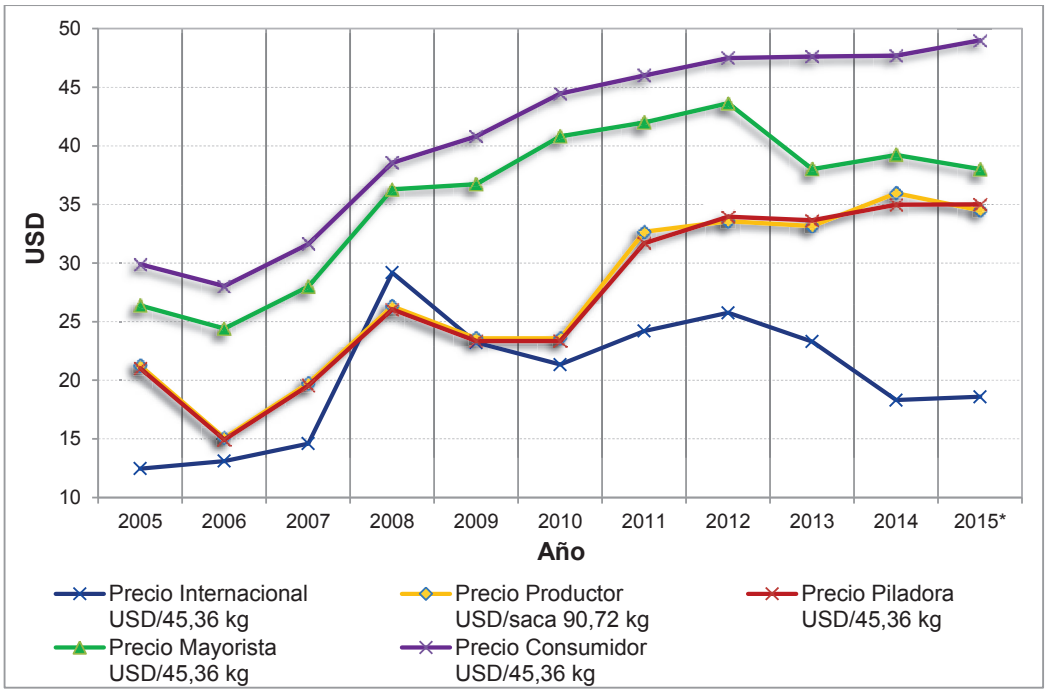


Figura 1.13 Comportamiento de los precios del arroz en diferentes niveles
(MAGAP - Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, 2016)

1.2 REOLOGÍA EN MASAS DE PANIFICACIÓN

1.2.1 GENERALIDADES

1.2.1.1 Reología

Según Dobraszczyk y Morgenstern (2003), la reología es el estudio del flujo y la deformación de materiales. Sus mediciones tienen como objetivos describir cuantitativamente las propiedades mecánicas y obtener información de la estructura molecular y composición del material (p. 229).

A escala de laboratorio se la utiliza como una herramienta de simulación y predicción de la respuesta de un material que ha sido sometido a determinadas condiciones de deformación. Por ello, sus principios son aplicables en el diseño y control de procesos, sin la necesidad de suspender los procesos industriales o causar daños en la estructura del material durante su procesamiento (Dobraszczyk y Morgenstern, 2003, pp. 229-230).

1.2.1.2 Reometría

La reometría es la determinación cuantitativa de las propiedades reológicas. Su enfoque es amplio y no sólo comprende las mediciones sino también la predicción del comportamiento del material en el proceso y su caracterización. Provee información sobre la dependencia de la estructura, composición y la interacción entre sus componentes (Miri, 2011, pp. 8-9).

La reometría de corte continuo, proporciona la respuesta de los materiales variando la razón de flujo mediante la medición de la viscosidad. Permite la simulación de procesos a razón continua (Miri, 2011, p. 10).

La reometría de corte dinámico u oscilatorio, provee la información estructural y la dependencia o estabilidad en función del tiempo o la temperatura. Facilita la

distinción de los materiales elásticos y viscosos a través de la medida de la fuerza en función de la frecuencia. Los resultados se reflejan en los módulos de almacenamiento y de pérdida (Miri, 2011, p. 10).

- **Reómetro**

El reómetro dinámico oscilatorio mide la elasticidad y viscosidad de los componentes de un material de viscosidad compleja, mediante la aplicación de esfuerzos sinusoidales o deformaciones sumamente pequeñas (Ćurić , Novotni y Smerdel, 2014, pp. 158-159; Gutiérrez, Blasco y Moltó, 2012, pp. 19-20). Se trata de un equipo muy versátil que utiliza geometrías definidas dependiendo del tipo de muestra de estudio, como se indica en la Figura 1.14.

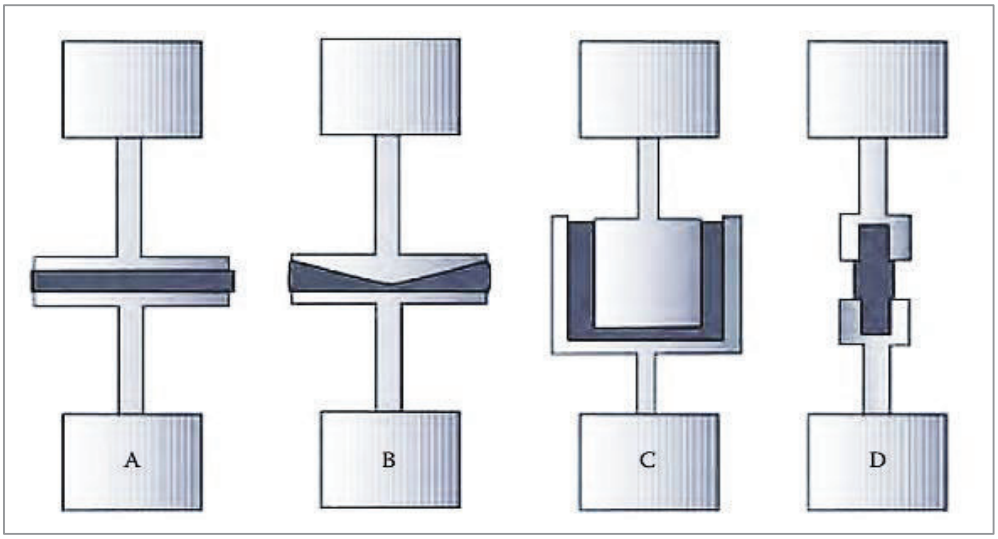


Figura 1.14 Geometrías típicas de reómetros: (A) platos paralelos, (B) cono–plato, (C) cilíndros concéntrico, (D) sólido o torsión rectangular
(Gutierrez, Blasco y Moltó, 2012, p. 20)

Los sistemas más utilizados son:

a. **Sistema de platos paralelos:** en el cual varía la velocidad de deformación desde el centro de placa donde es nula, hacia la parte periférica donde va a ser máxima. Tiene un flujo bien definido y es posible una interpretación precisa (Méndez, Núñez y Solorza, 2001, p. 80).

Con este tipo de geometría se requiere un pequeño volumen de muestra y es de fácil limpieza. La principal desventaja que presenta es que el operador al fijar el espaciamiento entre el plato y la muestra, puede fijar un valor mayor al de las partículas del material que se va ensayar (Miri, 2011, p. 24).

b. **Sistema cono-plato:** se caracteriza por la formación de un ángulo entre el plato y el cono. Para ángulos menores a 3° la inercia es despreciable y las velocidades de deformación prácticamente se consideran constantes (Méndez, Núñez y Solorza, 2001, p. 81).

   La principal desventaja es que la velocidad de cizalla aplicada es uniforme en toda la muestra. Sin embargo, el tamaño de las partículas de la muestra podría limitar su ejecución, por lo que es importante que el tamaño se encuentre entre 5 y 20 μm. Esta geometría es muy susceptible a la sedimentación. Al igual que la geometría de platos paralelos, requiere un volumen de muestra pequeño y es de fácil limpieza (Miri, 2011, pp. 23-24).

c. **Sistema de cilíndros concéntricos:** se utiliza para muestras con viscosidad baja y media, generalmente líquidos. Permite determinar curvas de flujo y esfuerzo constante (Méndez, Núñez y Solorza, 2001, p. 81).

   Tiene un flujo bien definido con pequeños espacios anulares. Se debe evitar espaciamientos inapropiados entre la geometría y la muestra, pues pueden ocasionar que las partículas sólidas disueltas se compacten y atasquen al instrumento. Esta geometría es más sensible con materiales de baja viscosidad que la de platos paralelos y cono-plato (Miri, 2011, p. 25).

1.2.1.3 Métodos reológicos

Los métodos reológicos se dividen en dos grupos, los empíricos y los fundamentales, y los de mayor importancia se detallan en la Tabla 1.5.

Tabla 1.5. Principales métodos reológicos para cereales

MÉTODO	PRODUCTO	PROPIEDAD MEDIDA
Métodos Empíricos		
Farinógrafo, mixógrafo	Masa	Tiempo de mezclado Viscosidad aparente
Extensógrafo	Masa	Extensibilidad
Amilógrafo, RVA	Pasta, suspensiones	Temperatura de gelatinización Viscosidad aparente
Fermentógrafo	Masa	Volumen
Alveógrafo	Masa, gluten	Extensibilidad biaxial
Texturómetro, TPA	Alimentos sólidos	Textura Firmeza
Métodos Fundamentales		
Oscilación dinámica: cilíndros concéntricos, platos paralelos	Fluidos, pastas, masas	Módulo de corte dinámico Viscosidad dinámica
Viscosímetros de tubo: capilares, presión, extrusión	Masa	Viscosidad Viscosidad en línea
Flujo transitorio: cilíndros concéntricos, platos paralelos	Materiales semi-sólidos (viscoelásticos)	Módulo y tiempo de fluencia y relajación
Extensión: uniaxial, biaxial, sistema de inflación de masa, compresión	Alimentos sólidos, masas	Viscosidad extensional Endurecimiento por deformación

(Dobraszczyk y Morgenstern, 2003, p. 231)

1.2.2 MEDICIONES EMPÍRICAS

Las mediciones empíricas no son complejas y a menudo se las encuentra en los laboratorios de las industrias para el control de calidad de la producción.

Las técnicas que pertenecen a estas mediciones se describen en la Tabla 1.5, entre estas las que más sobresalen son el farinógrafo, el extensógrafo, el alveógrafo y el mixógrafo.

Los equipos utilizados para estas pruebas a pesar de ser robustos, no requieren grandes habilidades ni técnica por parte del operador (Dobraszczyk y Morgenstern, 2003, pp. 230-231).

1.2.2.1 Farinogramas

El farinógrafo de Brabender está formado por una caja mezcladora que posee dos paletas que rotan mutuamente y su temperatura está controlada mediante un baño termostático. Los resultados de la resistencia durante el mezclado se registran en una gráfica denominada farinograma. La escala en el eje "X" corresponde al tiempo y en el eje "Y" a las unidades Brabender (UB), como se indica en la Figura 1.15.

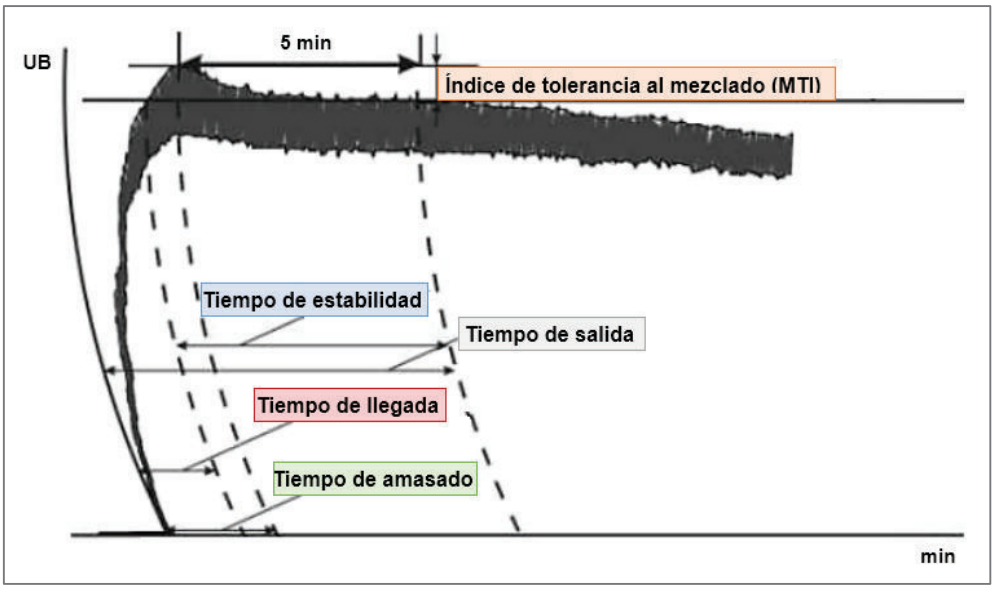


Figura 1.15 Esquema de un farinograma
(Dapčević, Pojić, Hadnađev y Torbica, 2011, p. 337)

Los parámetros que se determinan son:

a. **Absorción del agua:** es la cantidad de agua indispensable para que la masa alcance una consistencia de 500 UB, se la expresa como porcentaje (AACC-American Association of Cereal Chemists, 1999a, p. 4).

b. **Tiempo de llegada:** es un intervalo de tiempo desde que se adiciona el agua hasta que la masa alcanza una consistencia de 500 UB (AACC-American Association of Cereal Chemists, 1999a, p. 4).

c. **Tiempo de amasado:** es un intervalo de tiempo desde que se adiciona el agua hasta que alcanza su máxima consistencia (AACC-American Association of Cereal Chemists, 1999a, p. 4).

d. **Tiempo de estabilidad:** es la diferencia de tiempo cuando la curva ha alcanzado por primera vez las 500 UB (tiempo de llegada) y cuando abandona esta línea (tiempo de salida) (AACC-American Association of Cereal Chemists, 1999a, p. 5).

e. **Índice de tolerancia al mezclado:** es la diferencia de unidades Brabender cuando la curva ha alcanzado su máxima consistencia y el valor que toma después de transcurridos cinco minutos de alcanzar el pico (AACC-American Association of Cereal Chemists, 1999a, p. 5).

1.2.2.2 Extensogramas

El extensógrafo de Brabender mide el estiramiento de la masa hasta su ruptura (AACC-American Association of Cereal Chemists, 1999b, p. 1). Los resultados se registran en una gráfica denominada extensograma, y dependiendo su forma se puede definir el tipo de harina, como se muestra en la Tabla 1.6. La escala en el eje “X” corresponde al tiempo y en el eje “Y” a la fuerza en unidades Brabender (UB), como se indica en la Figura 1.16.

Los parámetros que se determinan son:

a. **Extensibilidad:** es la longitud total que alcanza la curva en el eje “X”, su medición es en mm (AACC-American Association of Cereal Chemists, 1999b, p. 2).

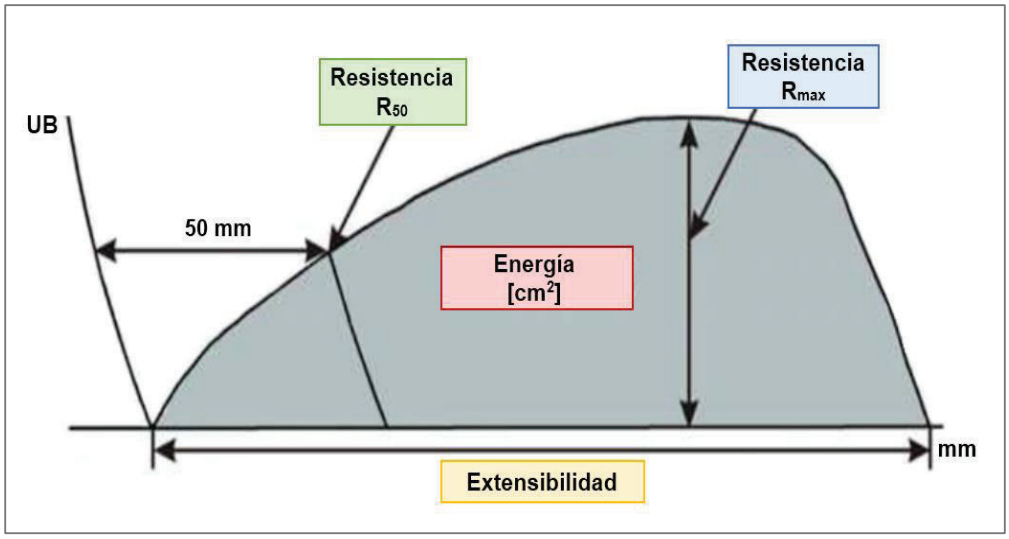


Figura 1.16 Esquema de un extensograma
(Dapčević, Pojić, Hadnađev y Torbica, 2011, p. 343)

b. **Resistencia:** corresponde a una altura determinada en la curva, cuando en el eje "X" alcanza los 50 mm (R50) y cuando alcanza la altura máxima (Rmax) (AACC-American Association of Cereal Chemists, 1999b, p. 2).

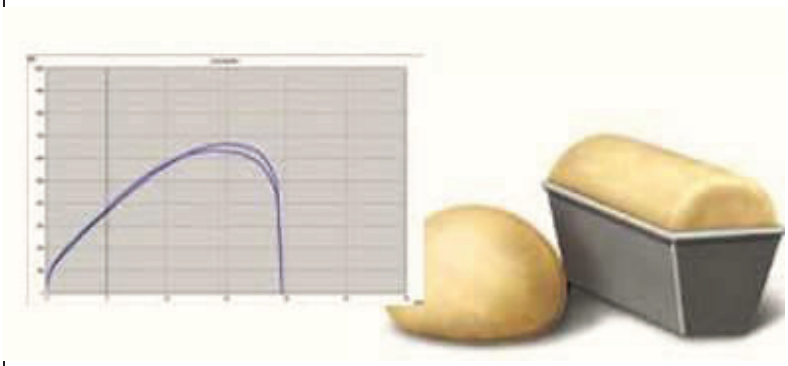
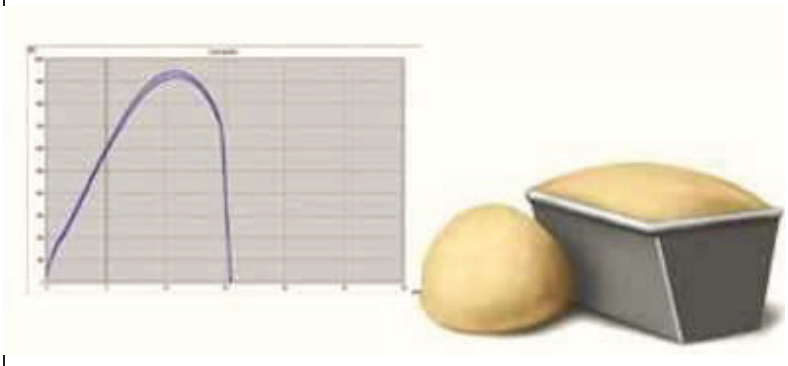
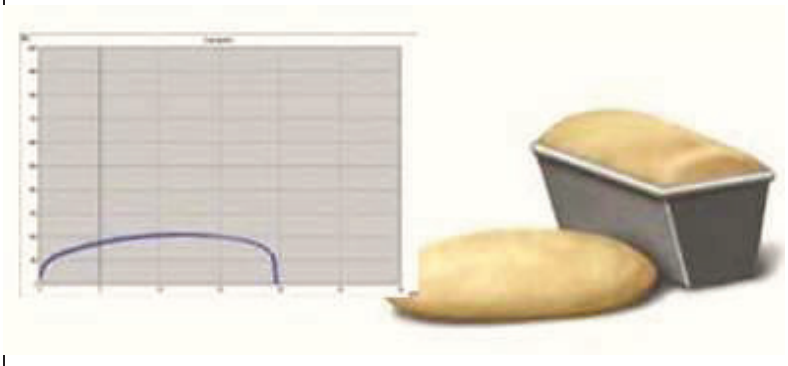
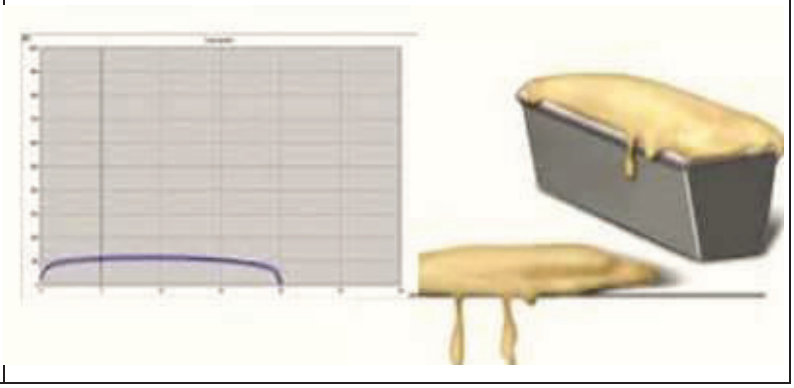
c. **Energía:** se la mide con un planímetro y es el área comprendida bajo la curva (AACC-American Association of Cereal Chemists, 1999b, p. 2)

1.2.2.3 Amilogramas

El amilógrafo de Brabender mide y registra los cambios de viscosidad que ocurren durante las etapas de calentamiento, mantenimiento y enfriamiento (AACC-American Association of Cereal Chemists, 1999c, p. 1). Los resultados se registran en una gráfica denominada amilograma. La escala en el eje "X" corresponde al tiempo y en el eje "Y" en unidades Brabender (UB), como se indica en la Figura 1.17.

Los amilogramas son de gran utilidad pues permiten analizar el comportamiento de la pasta formada por harina y agua, en un ciclo de calentamiento, mantenimiento y enfriamiento (Gómez, León y Rosell, 2007, p. 46).

Tabla 1.6. Formas de los extensogramas para cada tipo de masa

Tipo de masa	Gráfico / Resultado
Masa extensible, elástica	
Masa dura, rígida	
Masa plástica, húmeda	
Harina no apta para productos de panificación	

El procedimiento consiste inicialmente en hidratar a los gránulos de almidón presentes en la harina. Se calienta a la pasta, hasta que llegue a una temperatura determinada, donde empieza el proceso de gelatinización, y se incrementa la viscosidad. Sin embargo, al alcanzar la máxima viscosidad, los gránulos de almidón comienzan a romperse, por lo cual la viscosidad disminuye. Cuando se enfría la pasta, el almidón se reorganiza. A este fenómeno se le conoce como retrogradación, y a consecuencia de este comportamiento la viscosidad nuevamente se incrementa (Gómez, León y Rosell, 2007, pp. 46-47).

Los parámetros que se determinan son: a) las temperaturas de gelatinización y en el pico máximo, y b) las viscosidades en el punto inicial de gelatinización, en el pico máximo de calentamiento y al finalizar el enfriamiento a los 50 ^{o}C.

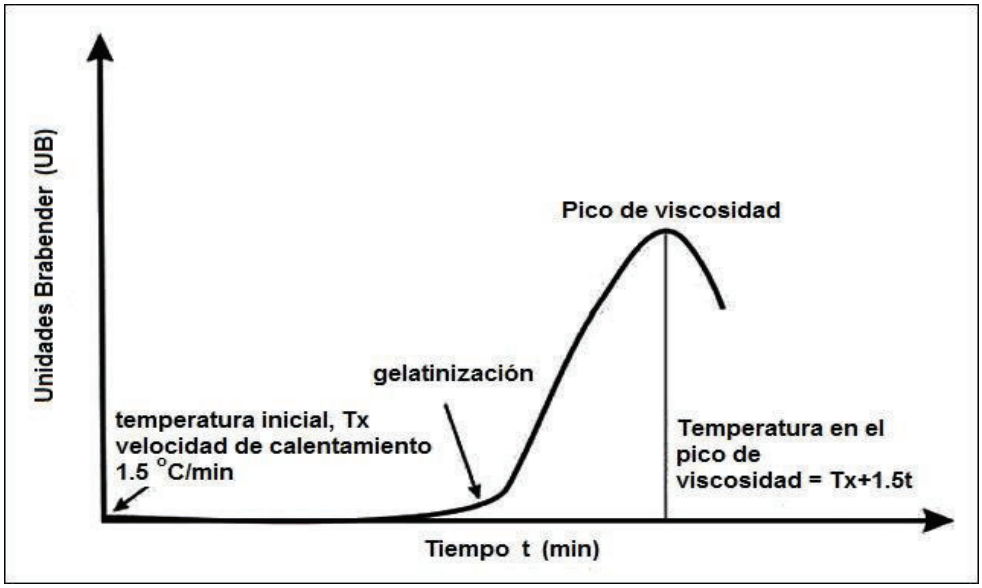


Figura 1.17 Esquema de un amilograma
(Dapčević, Pojić, Hadnađev y Torbica, 2011, p. 348)

1.2.3 MEDICIONES FUNDAMENTALES

Consisten en aplicar un esfuerzo o una deformación sobre un material que se mantenga constante o varíe en función del tiempo. Se tiene como respuesta, una fuerza que indica parámetros como rigidez, viscosidad, módulos y resistencia del

material (Ćurić , Novotni y Smerdel, 2014, p. 158; Dobraszczyk y Morgenstern, 2003, pp. 229-232).

Las variables que definen este tipo de mediciones son: esfuerzo *"stress"*, deformación *"strain"* y el tiempo. Los métodos utilizados son:

a. Pruebas de fluencia aplicando un esfuerzo constante.
b. Viscometría con el incremento la velocidad de deformación con el tiempo.
c. Pruebas de relajación de esfuerzo aplicando una deformación constante.
d. Pruebas dinámicas u oscilatorias donde existen cambios en el esfuerzo y/o deformación con el tiempo.

Este tipo de pruebas miden propiedades físicas que son independientes de la forma, tamaño y cómo son medidas (Ćurić , Novotni y Smerdel, 2014, p. 158).

1.2.3.1 Viscoelasticidad

La viscoelasticidad es un fenómeno en el cual el material presenta tanto características elásticas como viscosas. Se da un comportamiento elástico a mayor resistencia a la ruptura de su estructura, caso contrario su comportamiento tiende a ser viscoso (Méndez, Núñez y Solorza, 2001, p. 79). Se clasifican en:

a. Viscoelásticos lineales: sus propiedades son dependientes únicamente de la variable tiempo.
b. Viscoelásticos no lineales: sus propiedades son dependientes de la magnitud del esfuerzo aplicado y del tiempo.

- **Región lineal**

La región lineal es donde la respuesta del material es independiente de la aplicación de la deformación.

Para determinar la región lineal, se pueden aplicar pruebas de barrido de deformación o de amplitud del esfuerzo como se muestra en la Figura 1.18. A partir de la gráfica obtenida, se puede fijar los límites de esta región (Méndez et al., 2001, p. 92).

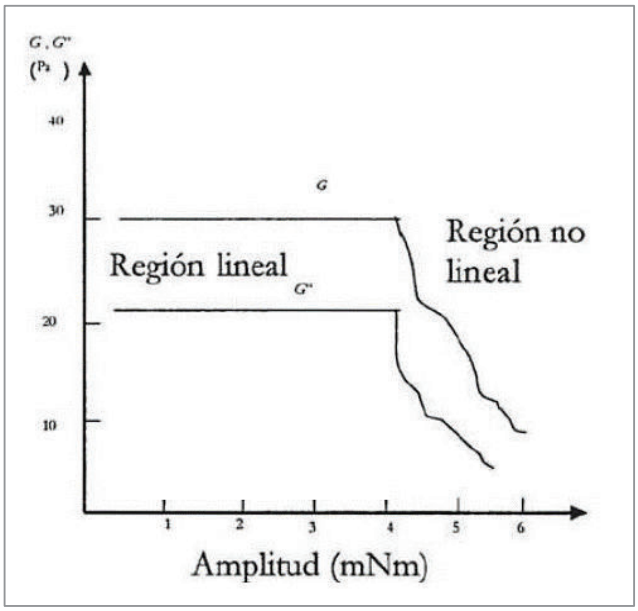


Figura 1.18 Prueba de barrido de amplitud de esfuerzo
(Méndez, Núñez y Solorza, 2001, p. 92)

1.2.3.2 Ensayos dinámicos u oscilatorios

En términos reológicos, las pruebas dinámicas u oscilatorias se refieren al proceso en el cual el material está sujeto a una fuerza y frecuencia que varían armónicamente con el tiempo (Miri, 2011, p. 18).

El procedimiento usual es aplicar una deformación a la muestra, provocando una fuerza que se transmite a lo largo del material.

La magnitud y la forma de transmisión dependerán de las propiedades viscoelásticas del material, así en materiales viscosos, la mayor parte de la fuerza es disipada por la fricción (Miri, 2011, p. 18).

La técnica de oscilación dinámica se ha convertido en la preferida para el estudio del comportamiento viscoelástico de diferentes materiales, tal es el caso de las masas provenientes de harina de cereales (Singh, Singh y Shevkani, 2011, p. 97).

Para esta técnica se aplica las siguientes consideraciones: el material es de tipo viscoelástico lineal, la inercia es despreciable y en todos los puntos del material existe una misma deformación (Méndez et al., 2001, p. 88).

Tras el desarrollo matemático se obtienen tres parámetros importantes, para este tipo de ensayos y son:

a. **Módulo de almacenamiento o elástico (G'):** es la relación entre el esfuerzo en fase y la deformación. Mide la energía que un material es capaz de almacenar y recuperar en un ciclo (Méndez et al., 2001, p. 90).

$$\boldsymbol{G'} = \frac{\tau_0}{\gamma_o} \cdot \cos\ (\delta) \qquad [1.3]$$

Donde:

$\tau_0 =$ amplitud del esfuerzo de corte

$\gamma_o =$ amplitud de la deformación

$\delta =$ ángulo de desfase o de pérdida mecánica

b. **Módulo de pérdida o viscoso (G"):** es la relación entre el esfuerzo en desfase y la deformación. Mide la energía que un material es capaz de perder como calor en un ciclo (Méndez et al., 2001, p. 90).

$$\boldsymbol{G''} = \frac{\tau_0}{\gamma_o} \cdot \mathrm{sen}\ (\delta) \qquad [1.4]$$

c. **Tangente del ángulo de desfase (δ):** es la relación entre el módulo de almacenamiento (energía almacenada) y el módulo de pérdida (energía disipada) (Méndez et al., 2001, p. 90).

$$\boldsymbol{tan(\delta)} = \frac{G'}{G''} \qquad [1.5]$$

El módulo de almacenamiento es un indicador del grado de elasticidad del material, mientras que el módulo de pérdida es el indicador del grado del comportamiento viscoso.

El ángulo de fase puede variar en un rango de 0 a 90°, los valores próximos a cero tienen un comportamiento elástico, mientras que si los valores se aproximan a 90º tienen un comportamiento viscoso (Miri, 2011, p. 19).

1.2.4 COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DE MASAS DE PANIFICACIÓN

La caracterización reológica de las masas proporciona información sobre las interacciones/reacciones químicas, y sobre los efectos físicos como la distribución del agua y el efecto de los aditivos.

Son de gran valor en la explicación del comportamiento de la masa, al aplicar métodos empíricos y fundamentales, pues cuando la masa está sujeta a perturbaciones mecánicas, se puede determinar en qué rangos presenta un comportamiento viscoelástico.

También indica cuando la resistencia es máxima durante el mezclado, pues implica que la masa almacena energía mecánica que se transforma en energía potencial (Belton, 2012, p. 338).

Las propiedades reológicas de la masa son esenciales para la calidad del pan. Pues permiten predecir que masas demasiado fuertes, no permiten un apropiado desarrollo de las burbujas, y dan como resultado panes sumamente densos y de pequeño volumen. Mientras que masas débiles no pueden retener el gas y presentan agujeros muy grandes o el colapso del pan (Belton, 2012, p. 338).

1.3 HIDROCOLOIDES Y LA RETROGRADACIÓN

1.3.1 HIDROCOLOIDES

Los hidrocoloides, con excepción de la gelatina, son polisacáridos solubles o parcialmente solubles en agua (BeMiller, 2006, p. 209). Provienen de plantas, algas, animales y microbios (Williams y Philips, 2009, pp. 1-2).

Los hidrocoloides también llamados gomas, son ingredientes multifuncionales que proporcionan flexibilidad a la masa, debido a que aumenta la capacidad de retención de agua (Ghodke y Laxmi, 2006, p. 110, Dodić, Pein , Dodić y Popov, 2007, p. 235).

Se los utiliza para mejorar la calidad panadera y prolongar el tiempo de vida de útil del producto final (Ghodke y Laxmi, 2006, p. 111).

1.3.1.1 Celulosas modificadas

La celulosa es probablemente la sustancia orgánica más abundante en la naturaleza en las hojas, troncos y cortezas de los árboles, donde se encuentra como componente estructural. No obstante también está presente en la dieta humana y animal como fibra dietética en las frutas y vegetales (Santa Cruz, 2011, p. 92).

Es la materia prima base para la obtención de nuevos aditivos derivados de modificaciones químicas, conocidos como celulosas modificadas, que han sido aprobadas y utilizadas como aditivos alimentarios (Murray, 2009, p. 710).

Para la obtención de celulosas modificadas se introducen diferentes grupos funcionales en los grupos hidroxilos libres de unidades de glucosa. Por ejemplo al sustituir el grupo metil-éter se obtiene la metilcelulosa y al sustituir el grupo carboximetil se obtiene la carboximetilcelulosa (Santa Cruz, 2011, p. 93).

1.3.1.2 Carboximetilcelulosa (CMC)

Conocida también como goma de celulosa, su nombre completo es carboximetilcelulosa de sodio y sus siglas son CMC (Murray, 2009, p. 711).

La estructura de la CMC como se indica en la Figura 1.19, se basa en que el polímero β-(1⟶4)-D-glucopiranosa presente en la celulosa. Se sustituye por un grupo carboximetil en las posiciones C-2, C-3 o C-6 de cada unidad de glucosa (Santa Cruz, 2011, p. 94).

La CMC es aniónica debido a su terminal carboxilo, que se produce con la presencia de sales de sodio que ionizan a los radicales COO^{-}, cuando el CMC es disuelto en agua (Santa Cruz, 2011, p. 94).

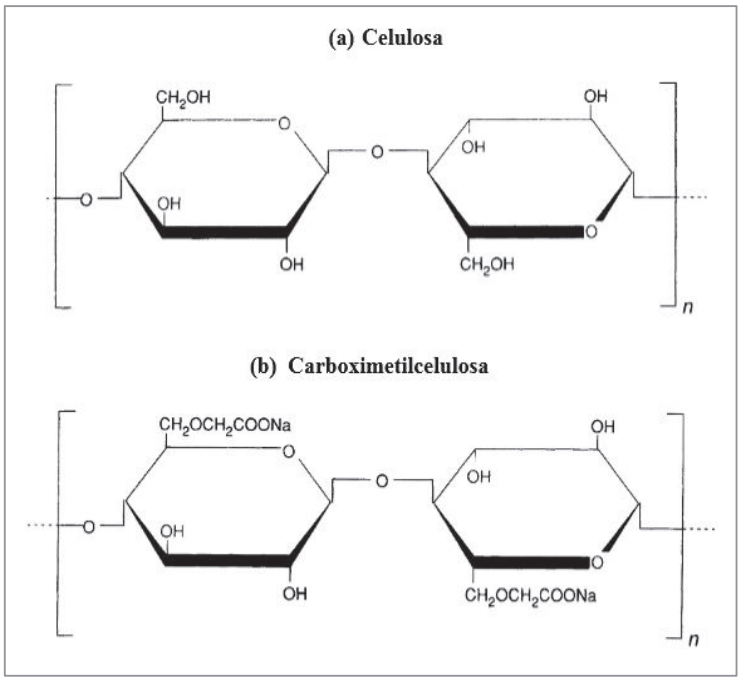


Figura 1.19 Estructura de la celulosa y de la carboximetilcelulosa
(Murray, 2009, p. 712)

La CMC es soluble en agua caliente o fría, forma soluciones incoloras con sabores neutrales y la viscosidad de su solución depende del grado de polimerización (Murray, 2009, p. 713).

El máximo grado de sustitución en productos alimenticios permitido es 1,5 % de acuerdo a la reciente legislación americana (Murray, 2009, p. 714).

Este aditivo se utiliza en diferentes aplicaciones alimenticias como en productos instantáneos, congelados, en pulpas de frutas, en salsas, donde actúa variando la estructura del producto o como estabilizante (Murray, 2009, pp. 718-721).

Su incorporación en productos de panificación, ayuda a mejorar el volumen de las masas como resultado de la disminución de la viscosidad durante el horneado. Su capacidad de absorción de agua mejora el rendimiento y retarda el envejecimiento del pan prolongando su vida útil (Murray, 2009, pp. 718-721).

1.3.2 ALMIDÓN

El almidón es la segunda mayor reserva de carbohidratos en la naturaleza después de las celulosa, se encuentra en semillas, tallos y raíces en estado puro (Hizukuri, Abe y Hanashiro, 2006, p. 306).

Está constituido únicamente por monómeros de glucosa y en su interior existen regiones amorfas y cristalinas, por lo que es conocido como un polímero parcialmente cristalino o semicristalino (Eliasson y Gudmundsson, 2006, p. 394).

Casi en su totalidad está formado por la mezcla de dos polisacáridos la amilosa y la amilopectina. En un almidón normal se puede encontrar en promedio el 25 % de amilosa y el 75 % de amilopectina.

En ciertos casos, existe un mayor contenido de amilosa, como es el caso del maíz. En la Tabla 1.7 se tabulan los valores de los principales almidones (Eliasson y Gudmundsson, 2006, p. 396).

En general, en la harina de trigo se encuentra hasta un 15 % de almidón dañado, que como resultado del proceso de molienda. Estos gránulos pueden hasta

cuadruplicar la absorción de agua, por las grietas y fisuras que presentan, en comparación a los gránulos que no han sufrido ningún daño (Correa, 2012, p. 16).

El almidón dañado también es más susceptible a la acción de la enzima α-amilasa. Esto se debe a la hidrólisis que se produce, formando glucosa, que sirve como sustrato para la levadura, por lo que influye en las características de fermentación de la masa (Correa, 2012, p. 16).

Tabla 1.7. Composición de almidones comunes

Almidón	Amilosa (%)	Proteína (g/100g)	Lípidos (g/100g)
Cassava	17,0	0,10	0,10
Papa	21,0	0,06	0,05
Arroz	12,2 – 28,6	-	0,63 – 1,11
Trigo	28,0	0,30	0,80
	29,2	-	0,85
Maíz	28,7	0,30	0,80
	25,8 – 32,5,2	-	0,61 – 0,82

(Eliasson y Gudmundsson, 2006, p. 397)

1.3.2.1 Amilosa

La amilosa es una molécula resultante de la condensación de las hexosas (D-glucopiranosa). Se caracteriza por su estructura lineal como se observa en la Figura 1.20.

Posee enlaces glucosídicos α-D-(1⟶4) en las largas cadenas y pueden tener entre 200 a 2 500 unidades. Su peso molecular alcanza un millón de daltons (Karim, Norziah y Seow, 2000, p. 9).

En el arroz, la amilosa es quien tiene la mayor influencia sobre la calidad de su cocción, por lo cual, su contenido es un indicador de la textura del grano, de ahí que a mayor cantidad de amilosa, existe una mayor consistencia del grano (Rosell, Brites, Pérez y Gularte, 2007, p. 131).

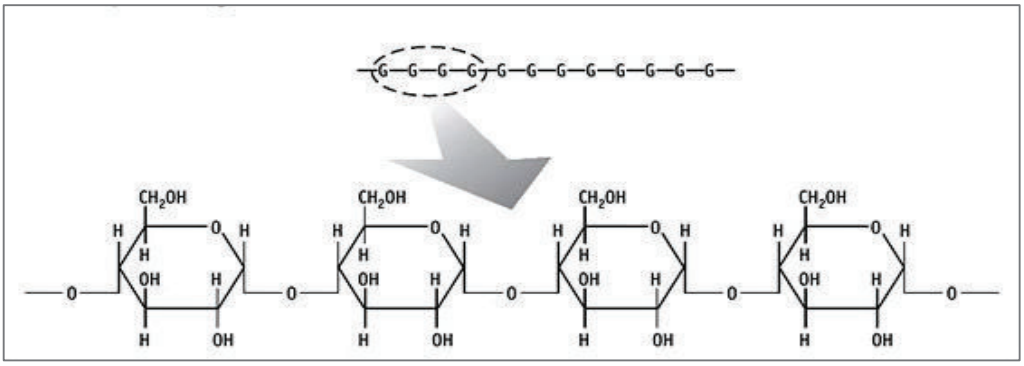


Figura 1.20 Estructura de la amilosa
(Brown, 2011, p. 42)

1.3.2.2 Amilopectina

La amilopectina está formada por cadenas α-D-glucopiranosilo al igual que la amilosa; sin embargo, se diferencia porque su estructura molecular es ramificada (similar a la de un árbol), y los ramales se unen mediante enlaces α-D-(1⟶6) a la cadena principal, como se muestra en la Figura 1.21.

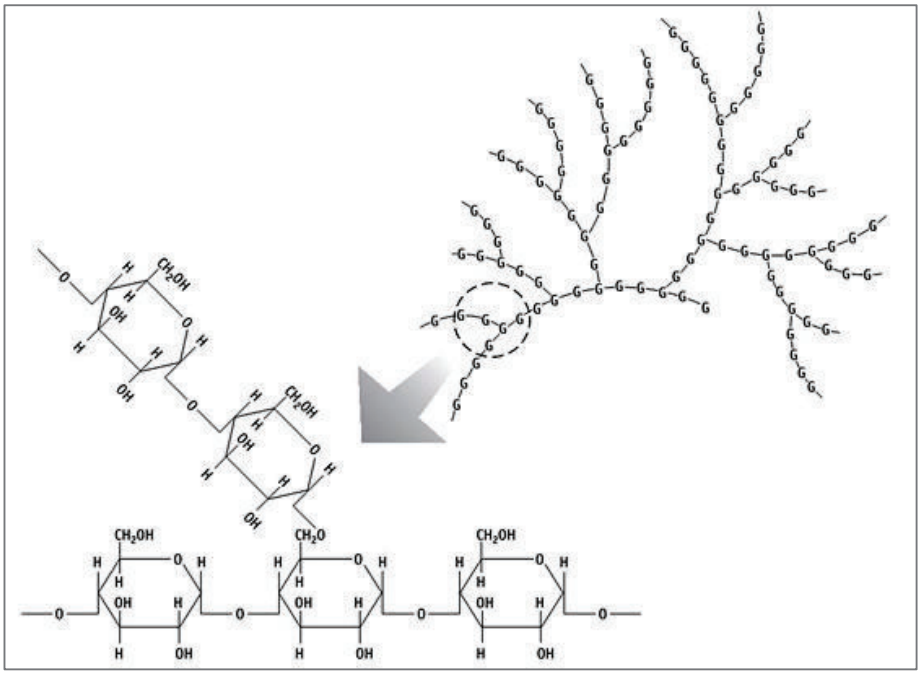


Figura 1.21 Estructura de la amilopectina
(Brown, 2011, p. 42)

Posee pesos moleculares sumamente altos que oscilan entre 1 millón y 200 millones de daltons (Buleon y Coloma, 2007, pp. 26-30).

1.3.3 GELATINIZACIÓN DEL ALMIDÓN

Eliasson y Gudmundsson (2006) definieron al término gelatinización como el rango de eventos irreversible cuando el almidón es calentado en agua (p. 402).

Según Brown (2011) la gelatinización ocurre cuando las moléculas de almidón calientes absorben agua y se expande, fenómeno que se lo puede observar en la vida cotidiana cuando los granos expanden su volumen durante su cocción (p. 356).

En la Figura 1.22 se puede observar que para que se dé el fenómeno de gelatinización, no es suficiente con mezclar el almidón con agua a cualquier temperatura. El proceso debe darse en exceso de agua (> 30 %) a una determinada temperatura (> 50 ^{o}C), la misma que va a depender del tipo de almidón (Eliasson y Gudmundsson, 2006, p. 402).

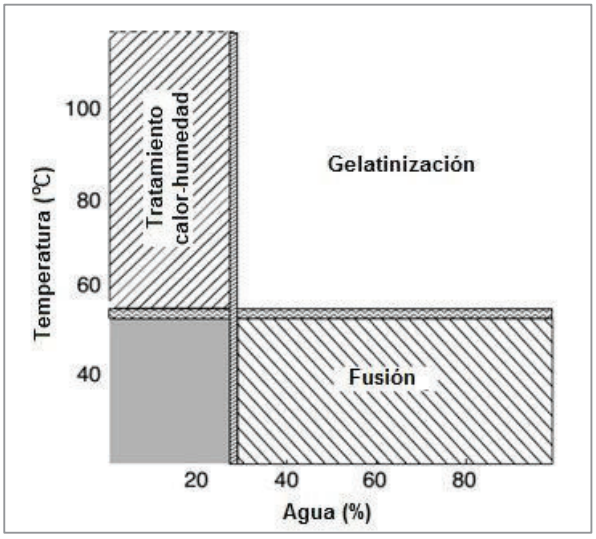


Figura 1.22 Combinaciones de porcentajes de temperatura y agua para la gelatinización del almidón
(Eliasson y Gudmundsson, 2006, p. 403)

En las aplicaciones industriales, el crecimiento de las masas de panificación se ven afectadas por este fenómeno durante la fase de horneado (Gómez, León y Rosell, 2007, p. 47).

1.3.3.1 Temperatura de gelatinización

La temperatura de gelatinización corresponde a un rango de temperaturas, que puede variar en 1 – 2 ^{o}C para un único almidón en exceso de agua o en el caso de una población puede variar entre 10 – 15 ^{o}C (Eliasson y Gudmundsson, 2006, p. 402).

Se distinguen tres temperaturas importantes en el proceso de gelatinización: *To* que representa la temperatura inicial, *Tp* que corresponde a la temperatura en la mitad del proceso y *Tf* que es la temperatura final cuando se ha completado la gelatinización (Eliasson y Gudmundsson, 2006, p. 403).

El parámetro de mayor influencia sobre la temperatura de gelatinización es el agua, que actúa como un plastificante para la parte cristalina del almidón (Eliasson y Gudmundsson, 2006, p. 403).

1.3.3.2 Calorimetría diferencial de barrido (DSC)

Conocida también como DSC (*Differential Scanning Calorimetry*), es una herramienta mediante la cual se puede estudiar la gelatinización del almidón que se trata de un proceso endotérmico (Eliasson y Gudmundsson, 2006, p. 406). De ahí radica su importancia, pues permiten aproximar la gelatinización del almidón durante el proceso de horneado.

Esta técnica se la aplica con un calorímetro diferencial de barrido y da como variables de respuesta valores de entalpía y rangos de temperatura.

En los termogramas del DSC se puede diferenciar dos sucesos térmicos importantes: la fusión de los cristales representada por los picos de la gráfica y la transición cristalina (Eliasson y Gudmundsson, 2006, pp. 407- 408).

Se presume que la transición cristalina corresponde al desplazamiento de la línea base durante el calentamiento de la suspensión de almidón acuoso. No se descarta que este comportamiento, también se deba a la diferencia en la capacidad calórica que presenta el gránulo de almidón en estado sólido y el gránulo de almidón gelatinizado en estado líquido (Eliasson y Gudmundsson, 2006, pp. 407- 408).

Las muestras almidón-agua preparadas en exceso de agua en proporción 1:3, han presentado mejores resultados tras varios estudios, así se consigue un proceso de fusión de cristales notorio y rápido. Para cantidades bajas de agua el proceso se torna lento propiciando la formación de dos picos en los termogramas del DSC (Eliasson y Gudmundsson, 2006, p. 407; Mestres, Matencio, Pons, Yadij y Flliedel, 1996, p. 3).

Como consecuencia de la absorción de agua se hincha el gránulo del almidón (incremento del volumen del gel). En los termogramas del DSC la temperatura inicial (To) corresponde al inicio de este proceso prologándose hasta la temperatura final (Tf), o incluso sobrepasando la misma. Se ha encontrado que una vez que alcanza una temperatura de 96 ^{o}C, ya no existe un incremento considerable del volumen (Eliasson y Gudmundsson, 2006, pp. 408-409).

1.3.4 RETROGRADACIÓN DEL ALMIDÓN

La retrogradación es un proceso donde las moléculas de almidón gelatinizado se reasocian para formar cristales. En la amilopectina es un proceso completamente irreversible, que puede ser medido por un DSC, mientras que la amilosa es un proceso parcialmente irreversible, que puede ser medido por un viscoamilógrafo (RVA) (Wu, Chen, Li y Wan, 2010, p. 492).

La cinética de la retrogradación del almidón varía considerablemente entre sus componentes, así las soluciones en gel de amilosa requieren sólo unas cuantas horas, mientras que las soluciones de amilopectina requieren de días para su retrogradación (Hung-Iten, Escher y Conde-Petit, 2003, p. 654).

Según Eliasson y Gudmundsson (2006) la retrogradación son los cambios que ocurren en el almidón gelatinizado, desde su forma amorfa hasta su estado cristalino; debido que éste no se encuentra en un equilibrio termodinámico (p. 416).

Gray y Bemiller (2003) corroboraron que la solubilidad de la amilosa disminuyó marcadamente durante el primer día de almacenamiento, mientras que la solubilidad de la amilopectina disminuyó de forma continua, durante los siguientes cinco días. La cantidad de amilopectina soluble en el pan fresco, fue de 5 a 24 veces la cantidad de amilosa soluble (p. 4).

La retrogradación es un fenómeno que influye en la textura y en la vida útil del almidón. Cada cambio involucra propiedades reológicas (firmeza), capacidad de retención del agua (sinéresis) y la recristalización de la amilopectina.

Este proceso depende principalmente de la concentración del almidón, la razón de la amilosa y amilopectina, estructura de la amilosa y amilopectina, temperatura, presencia de otros ingredientes y la fuente del almidón (Hung-Iten, Escher y Conde-Petit, 2003, p. 654).

1.3.4.1 Envejecimiento del pan

La retrogradación es una de las causas principales del envejecimiento del pan. Siendo este fenómeno el responsable de gran parte de los desperdicios en las panificadoras, pues se ve reflejado en la disminución de la aceptación por parte del consumidor (Gómez, León y Rosell, 2007, p. 47).

Esto ocasiona cambios en el aroma, el sabor, y la crujibilidad de la corteza, constituyendo una pérdida económica significativa en la industria del pan (Demirkesen, Campanella, Sumnu, Sahin y Hamaker, 2014, pp. 806-807; Ribotta, Pessoa y Tadini, 2009, p. 16).

Las propiedades de gelatinización influyen en los parámetros, afectando los procesos de panificación, es sumamente importante conocer la variedad de arroz utilizada para la obtención de la harina.

Las variedades de arroz con grano largo poseen mayor contenido de amilosa y temperatura de gelatinización, y por tanto mayor tendencia a retrogradar con respecto a las variedades de grano corto. En el caso de las especies waxy o cerosas contienen poca amilosa (menor al 0,56 %), y presentan una menor retrogradación (Rosell, Brites, Pérez y Gularte, 2007, p. 143).

En la Figura 1.23 se observa el proceso de endurecimiento del pan. En donde las moléculas de almidón en el pan fresco recién horneado, se encuentran hinchadas y distribuidas de forma aleatoria.

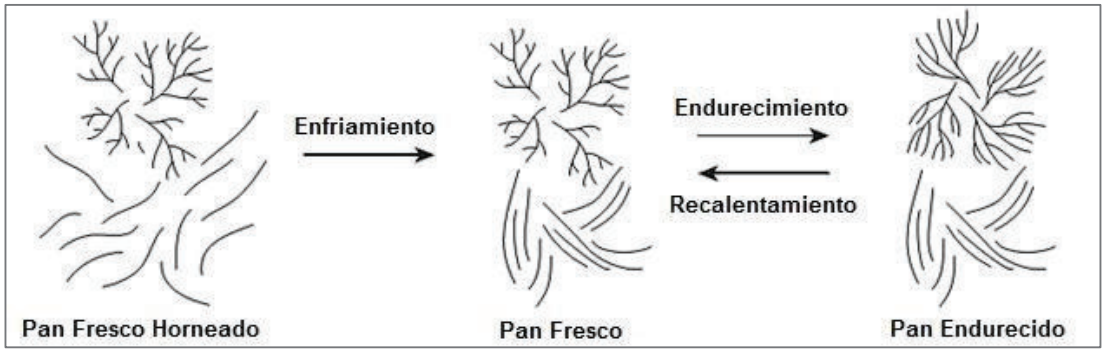


Figura 1.23 Endurecimiento del pan
(Brown, 2011, p. 381)

Cuando el pan se enfría, las moléculas de amilosa empiezan a unirse y cristalizarse, produciéndose cambios en la textura del pan, este fenómeno se presenta en horas. Sin embargo, una vez transcurrido varios días, son las

moléculas de amilopectina se juntan y se cristalizan, dándose cambios más drásticos en la textura del pan.

Gray y Bemiller (2003) explicaron que el proceso de envejecimiento, es el resultado de dos procesos:

- El primero que ocurre durante los tres primeros días de almacenamiento, y son el resultado de los cambios en la organización en la molécula de almidón (p.4).
- El segundo proceso es causado por la pérdida de humedad desde la red de gluten (p.4).

1.3.4.2 Factores que intervienen en la retrogradación

Varios son los factores que intervienen en este proceso; sin embargo, se debe destacar:

a. Proteína de la harina

Cumple un papel fundamental, pues es la responsable de la formación de la red de gluten, siendo el responsable de obtener un buen producto de panificación.

Varias investigaciones sugieren que mientras mayor sea el contenido de proteína, disminuye las interacciones almidón-gluten, retardando la dureza de la miga. Posiblemente se debe a la formación de enlaces de puente de hidrógeno, entre grupos amidas de las gliadinas del trigo, con los grupos hidroxilos y la albumina del almidón (Gray y Bemiller, 2003, p. 4).

También se planteó que el endurecimiento del pan, puede ser causado por los puentes de hidrógeno existentes entre los gránulos de almidón y la red de gluten. Durante el horneado se da la formación de estas interacciones entrecruzadas, y durante el almacenamiento del pan, la miga pierde energía

cinética, lo que repercute en el incremento del número y la fuerza de dichas interacciones (Gray y Bemiller, 2003, p. 5).

b. Humedad

Se refiere a la cantidad de agua presente en el producto. Este componente involucra cambios en los procesos de: enfriado, el equilibrio de humedad en la miga y la corteza, y la redistribución de la humedad.

De estudios anteriores, se ha encontrado que panes con alto contenido de humedad, generalmente envejecen muy lentamente. La velocidad de endurecimiento del pan es inversamente proporcional al contenido de humedad, con lo que se confirma que la retrogradación en geles de almidón es función de la cantidad de agua presente (Gray y Bemiller, 2003, p. 6).

La transferencia de la humedad desde los constituyentes de la miga de pan, es otro factor que contribuye a su envejecimiento. El agua es un plastificante, que hace que los componentes del pan se vuelvan flexibles, y con su remoción se incrementa la firmeza de la miga (Gray y Bemiller, 2003, p.7).

Gray y Bemiller (2003) corroboraron que el pan almacenado con corteza llega a ser mucho más firme, que un pan almacenado sin su corteza, y contiene mayor cantidad de amilopectina recristalinizada (p. 7).

Lo anterior indica que la redistribución de la humedad desde la miga hacia la corteza, tiene un importante rol en la firmeza, pues la pérdida de agua en la miga de pan almacenado con corteza, estaba correlacionada con los cambios termomecánicos.

c. Temperatura de almacenamiento

Una característica del pan es que su velocidad de envejecimiento se acelera a bajas temperaturas. Además este fenómeno, se encuentra correlacionado con la recristalización del almidón a temperaturas de almacenamiento de -1, 10 y

21 ^{o}C. Mientras que la cristalización del almidón en el envejecimiento disminuye a altas temperaturas entre 32 y 43 ^{o}C (Gray y Bemiller, 2003, p. 6).

En la cristalización de un polímero existen tres fases: la nucleación, la propagación y la maduración. La recristalización de la amilopectina corresponde a un proceso de nucleación, y ocurre a temperaturas mayores a la temperatura de transición vítrea (Gray y Bemiller, 2003, p. 6).

La temperatura del refrigerador de 4 ^{o}C, es una temperatura óptima entre la temperatura de transición vítrea y la temperatura de fusión, lo cual le permite que la amilopectina se cristalinize como un polímero (Gray y Bemiller, 2003, p. 6).

2 PARTE EXPERIMENTAL

Para el estudio del efecto de la sustitución parcial de la harina de trigo por harina de arrocillo en la producción de pan, se utilizó como materia prima el arrocillo comercial. No tiene ninguna marca, pues se trata de la mezcla de los diferentes tipos de arroz que se producen en la zona costera del Ecuador.

La harina de trigo que se utilizó fue de tipo comercial fortificada, fabricada por Moderna Alimentos S.A., de la marca “Pani Plus”.

2.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA Y FARINOLÓGICA DE LAS HARINAS DE TRIGO, ARROCILLO Y MEZCLAS

2.1.1 OBTENCIÓN DE LA HARINA DE ARROCILLO

Se realizó una molienda en seco de los granos de arrocillo. Se utilizó un molino ALPINE, modelo 160 UPZ, con capacidad de 90 kg y dispositivo de pines.

Una vez obtenida la harina de arrocillo, se almacenó a temperatura ambiente de 20 ^{o}C, en fundas de polietileno para evitar el ingreso de humedad.

2.1.2 ELABORACIÓN DE MEZCLAS

Se elaboraron cuatro mezclas de harina de trigo y harina de arrocillo en los porcentajes que se indican en la Tabla 2.1.

La elaboración de las mezclas se realizó en dos etapas, primero en una mezcladora CRYPTO-PEERLESS, modelo EC30, donde se colocaron las harinas en las proporciones indicadas durante 20 min. Después las mezclas pasaron a

una cámara de porcelana impulsada por rodillos U.S. STONEWARE, con capacidad de 5 kg, para su homogenización en un intervalo de tiempo de 30 min.

Tabla 2.1. Composición porcentual de las mezclas de harina de trigo y harina de arrocillo

Mezcla	Harina de Trigo (%)	Harina de Arrocillo (%)
Mezcla 1 (**M10**)	90	10
Mezcla 2 (**M20**)	80	20
Mezcla 3 (**M30**)	70	30
Mezcla 4 (**M40**)	60	40

2.1.3 CARACTERIZACIÓN FÍSICA

Se determinó el tamaño de partícula de las harinas de trigo y arrocillo utilizando dos métodos: el método físico y el método granulométrico DLS.

2.1.3.1 Método físico

La técnica utilizada fue el tamizado mediante el procedimiento de la norma NTE INEN 517, que se describe en el apartado A del ANEXO I. Los análisis se realizaron por duplicado.

2.1.3.2 Método granulométrico de dispersión de luz láser (DLS)

Se utilizó el analizador de tamaño de partícula Brookhaven, modelo 90 Plus, bajo el principio de dispersión de luz dinámica.

El procedimiento seguido es el que se indica en el apartado B del ANEXO I, los análisis se realizaron por quintuplicado.

2.1.4 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA

2.1.4.1 Análisis proximal

El análisis proximal se realizó en la harina de trigo y la harina de arrocillo por duplicado. Los analitos determinados se listan en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Análisis proximal de las harinas

Análisis	Método
Humedad	AOAC 925.10, 32.1.03, 2005
Proteína	AOAC 2001.11, 2005
Cenizas	AOAC 923.03, 32.1.05, 2005
Grasa	AOAC 920.85, 32.1.13, 2005
Almidón total	AOAC 920.44 AOAC 923.09, 44.1,15,2005
Fibra cruda	Método I.C.C Standar # 113, 2001
Carbohidratos totales y valor calórico	Método de diferencia de la FAO, 2003

2.1.4.2 Contenido de amilosa

Se determinó el contenido de amilosa en la harina de trigo, harina de arrocillo y las mezclas que se indican en la Tabla 2.1. La metodología utilizada fue la propuesta por Mestres, Matencio, Pons, Yadij y Flliedel (1996), para lo cual se utilizó un calorímetro diferencial de barrido Perkin Elmer, modelo DSC7 y celdas de acero inoxidable (p. 3).

El principio en el cual se basa esta metodología es la medición de la entalpía de fusión del complejo formado por la amilosa y el lípido en las muestras respecto a la entalpía de fusión de una muestra estándar (amilosa de papa) (Mestres et al., 1996, p. 3). El procedimiento se encuentra descrito en el ANEXO II y se realizó por triplicado.

2.1.5 CARACTERIZACIÓN FARINOLÓGICA

2.1.5.1 Farinogramas

Se determinó la absorción de agua en las harinas y sus mezclas, al igual que las características de mezclado, mediante farinogramas obtenidos con el método AACC 54-21.02: *Rheological behavior of flour by farinograph - Constant flour weight procedure* (AACC, 1999ab, pp. 1-8). Se utilizó un farinógrafo de Brabender, modelo D-4100 SEW, con una caja mezcladora de capacidad de 300 g. El proceso seguido se detalla en el ANEXO III.

2.1.5.2 Extensogramas

Se determinaron las propiedades de extensibilidad de la masa mediante extensogramas utilizando el método AACC 54-10.01: *Extensigraph method general* (AACC, 1999b, pp. 1-2). Se utilizó un extensógrafo de Brabender, modelo D-4100 SEW. El proceso seguido se describe en el ANEXO IV.

2.1.5.3 Fermentogramas

Se determinó la producción de CO_2, durante la fermentación de la masa a través de fermentogramas utilizando el método AACC 89-01.01: *Yeast activity*, *gas production* (AACC, 1999d, pp. 1-2). Se utilizó un fermentógrafo de Brabender, modelo D-4100 SEW. El proceso seguido se detalla en el ANEXO V.

2.1.5.4 Amilogramas

Se determinó la temperatura de gelatinización con amilogramas, aplicando el método AACC 61-01.01: *Amylograph method for milled rice* (AACC, 1999c,

pp. 1-3). Se utilizó un amilógrafo de Brabender, modelo D-4100 SEW. El proceso seguido se detalla en el ANEXO VI.

2.2 EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL USO DEL ADITIVO HIDROCOLOIDE CMC (CARBOXIMETILCELULOSA) EN LAS CARACTERÍSTICAS REOLÓGICAS DE MASAS PARA PANIFICACIÓN

Para evaluar el uso de CMC en las masas de panificación a partir de las mezclas de harina de trigo y harina de arrocillo, se estudiaron las características reológicas mediante la aplicación de un diseño experimental factorial que se detalla en el ácapite 2.2.3. Se realizaron dos tipos de análisis: uno funcional y otro dinámico.

2.2.1 ANÁLISIS FUNCIONAL

Se realizaron farinogramas de las mezclas harinas-hidrocoloide, según se definen en la Tabla 2.4.

Los equipos y la metodología seguida se describen en el acápite 2.1.5.1 y el ANEXO III respectivamente. Las variables de respuesta que se analizaron son las señaladas en la Tabla 2.5.

2.2.2 ANÁLISIS DINÁMICO

Para este análisis se utilizó un reómetro marca TA Instruments, modelo AR2000, con geometría de platos paralelos lisos de 40 mm de diámetro y un sistema peltier que permite controlar la temperatura.

2.2.2.1 Preparación de las masas

Se prepararon las masas de panificación en el farinógrafo de Brabender como se indica en la Figura 2.1. Las mezclas harinas-hidrocoloide que se utilizaron se especifican en la Tabla 2.4.

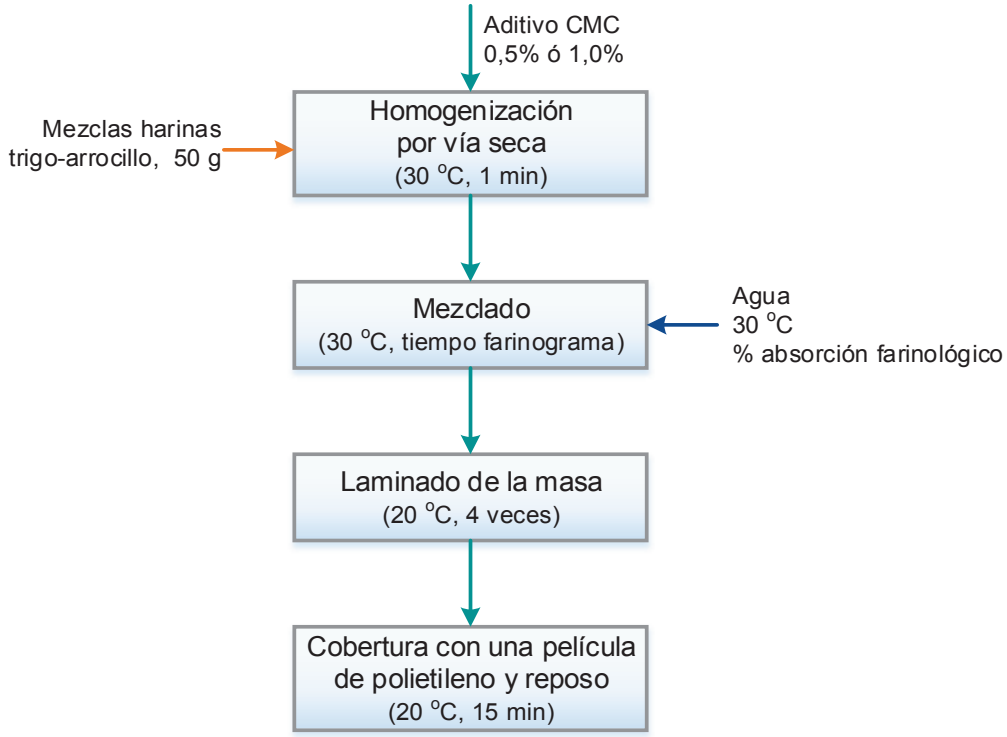


Figura 2.1 Metodología de elaboración de masas para pruebas reológicas dinámicas

Seguido se pesaron 3 g de la masa en reposo, se laminó nuevamente y se colocó la muestra entre el plato paralelo liso y la base, hasta que la altura de separación (gap) sea de 2 000 µm. Se recortaron los bordes sobrantes y se cubrieron con vaselina, para evitar la deshidratación de los mismos en el análisis.

2.2.2.2 Barrido dinámico oscilatorio

Se utilizó un procedimiento de oscilación aplicando una prueba de barrido de deformación o "*Strain Sweep*" con los parámetros de la Tabla 2.3.

Los ensayos se realizaron por triplicado y las variables de respuesta que se analizaron son las que se indican en la Tabla 2.5.

Tabla 2.3. Parámetros fijados en el reómetro para la prueba de deformación

Pasos	Parámetros en el equipo					
1. CONDITIONING STEP	Settings				Control normal force	
	Initial temperature (°C)			20	Normal force (N)	5
	Shear stress (Pa)			6,366	Normal force tolerance (N)	1
	Equilibration: - Duration (min)			15	Gap change limit down (μm)	2 000
					Gap change limit up (μm)	2 050
2. STRAIN SWEEP STEP	Test				Controlled strain	
	Sweep:	% strain			Initial osc. stress (Pa)	6,366
	From:	0,001	to	100	Lower torque limit (μ.N.m)	10
	Frecuency (Hz)			1	Initial tolerance (%)	0,50
3. POST-EXPERIMENT STEP	Settings		Temperature (°C)		20	

2.2.3 DISEÑO EXPERIMENTAL

Para el estudio del efecto del CMC en las masas de panificación, se desarrolló un diseño factorial de 4 x 3.

Se trabajó con dos factores A y B. El factor A corresponde a las mezclas de la harina de trigo y harina de arrocillo en cuatro niveles (A1= 90 % trigo – 10 % arrocillo, A2= 80 % trigo – 20 % arrocillo, A3= 70 % trigo – 30 % arrocillo y A4= 60 % trigo – 40 % arrocillo). El factor B corresponde al aditivo con tres niveles (B1= 0,0 %, B2= 0,5 % CMC y B3= 1,0 % CMC).

Del diseño experimental se obtuvieron 12 tratamientos, los mismos que se detallan la Tabla 2.4 con sus respectivos factores A y B.

La muestra control es la masa de panificación que contiene únicamente harina de trigo y en la Tabla 2.4 se la denomina como T0.

Tabla 2.4. Tratamientos para el diseño factorial de 4 x 3

Tratamiento	FACTOR A		FACTOR B	
	Mezcla de harinas % Trigo - % Arrocillo		% CMC	
T0	**A0**	100 % Trigo	**B1**	0,0
T1	**A1**	90 % Trigo 10 % Arrocillo	**B1**	0,0
T2	**A1**	90 % Trigo 10 % Arrocillo	**B2**	0,5
T3	**A1**	90 % Trigo 10 % Arrocillo	**B3**	1,0
T4	**A2**	80 % Trigo 20 % Arrocillo	**B1**	0,0
T5	**A2**	80 % Trigo 20 % Arrocillo	**B2**	0,5
T6	**A2**	80 % Trigo 20 % Arrocillo	**B3**	1,0
T7	**A3**	70 % Trigo 30 % Arrocillo	**B1**	0,0
T8	**A3**	70 % Trigo 30 % Arrocillo	**B2**	0,5
T9	**A3**	70 % Trigo 30 % Arrocillo	**B3**	1,0
T10	**A4**	60 % Trigo 40 % Arrocillo	**B1**	0,0
T11	**A4**	60 % Trigo 40 % Arrocillo	**B2**	0,5
T12	**A4**	60 % Trigo 40 % Arrocillo	**B3**	1,0

En la Tabla 2.5 se tabulan las variables de respuesta tanto para el análisis funcional como para el análisis dinámico.

Tabla 2.5. Variables de respuesta de las características reológicas en masas

Método	Variable de Respuesta
Análisis funcional	- Absorción de agua - Tiempo de llegada - Tiempo de amasado - Tiempo de estabilidad
Análisis dinámico	- Módulo de almacenamiento (G´) - Módulo de pérdida (G´´) - Ángulo de desfase (δ)

2.3 ESTUDIO DE LAS VARIABLES EN EL PROCESO DE PANIFICACIÓN

2.3.1 FORMULACIÓN DEL PAN DE HARINA DE TRIGO Y HARINA DE ARROCILLO

Se formularon las recetas para la elaboración de pan de harina trigo con sustitución parcial de harina de arrocillo, con los parámetros establecidos en la norma INEN 530: Ensayo de panificación.

La receta se modificó conforme a los requerimientos de esta investigación, para las mezclas de harinas y aditivo, según se indica en Tabla 2.6. No consta la adición del CMC en la formulación emitida por la norma INEN; sin embargo, para los fines de esta investigación se ha incluido al aditivo.

Tabla 2.6. Formulación general para los ensayos de panificación

Ingredientes	Porcentaje Panadero (%)
Harina de trigo	60 - 90
Harina de arrocillo	40 – 10
Aditivo (CMC)*	0,5 ó 1,0
Sal	2
Azúcar	4
Levadura	4
Grasa industrial	4
Agua	Pruebas farinológicas

* Parámetro modificado para esta investigación.

(INEN, 2013, p. 2)

2.3.2 DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA Y EL TIEMPO DE AMASADO

A partir de los ensayos farinográficos realizados en el acápite 2.2.1, se determinó la cantidad de agua necesaria y el tiempo de amasado, para cada uno de los tratamientos, según constan en la Tabla 2.4.

2.3.3 DETERMINACIÓN DE LA CINÉTICA Y TIEMPO DE FERMENTACIÓN

2.3.3.1 Preparación de las masas

Para este análisis se prepararon las masas de panificación en el farinógrafo de Brabender, de acuerdo a la metodología que se indica en Figura 2.2.

Las mezclas que se utilizaron se especifican en la Tabla 2.4. La muestra control fue la masa de harina de trigo. Los ensayos se realizaron por triplicado.

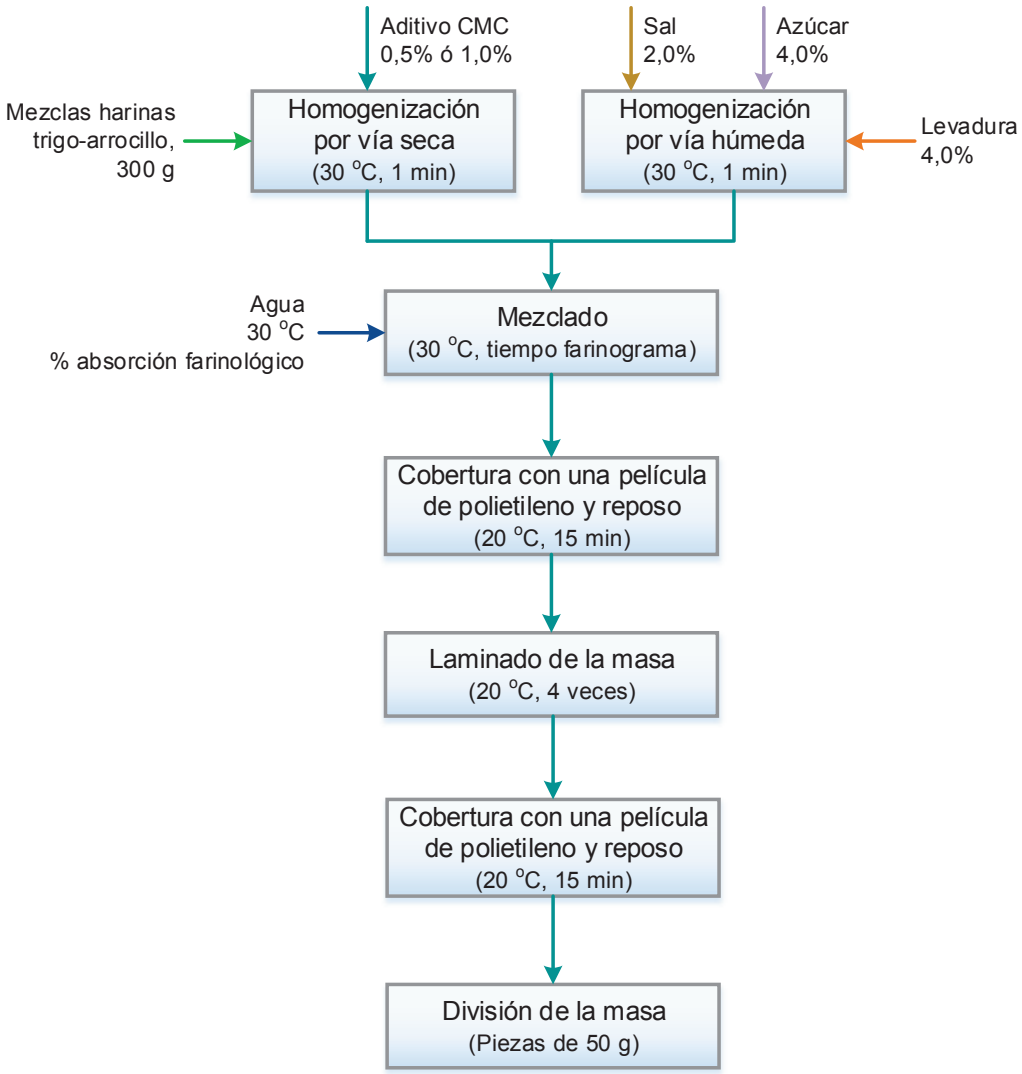


Figura 2.2 Metodología de elaboración de masas para pruebas de fermentación

2.3.3.2 Proceso de fermentación

Se acondicionó una cámara de fermentación de capacidad de 3 pies cúbicos, con una adecuada distribución interna y aislamiento, para asegurar las condiciones de humedad y temperatura en el ensayo, que se ilustra en la Figura 2.3.

También se utilizó como fuente de calor y humedad, recipientes de agua caliente a una temperatura entre 40 y 50 ^{o}C siendo estas reemplazadas cada 20 min para mantener el rango de temperatura.

Se obtuvo una temperatura interna entre 28 - 32 ^{o}C y una humedad superior al 70 %. Los parámetros fueron controlados con el higrotermómetro marca Thermo-Hygro, modelo TA318, colocado internamente en la cámara de fermentación.

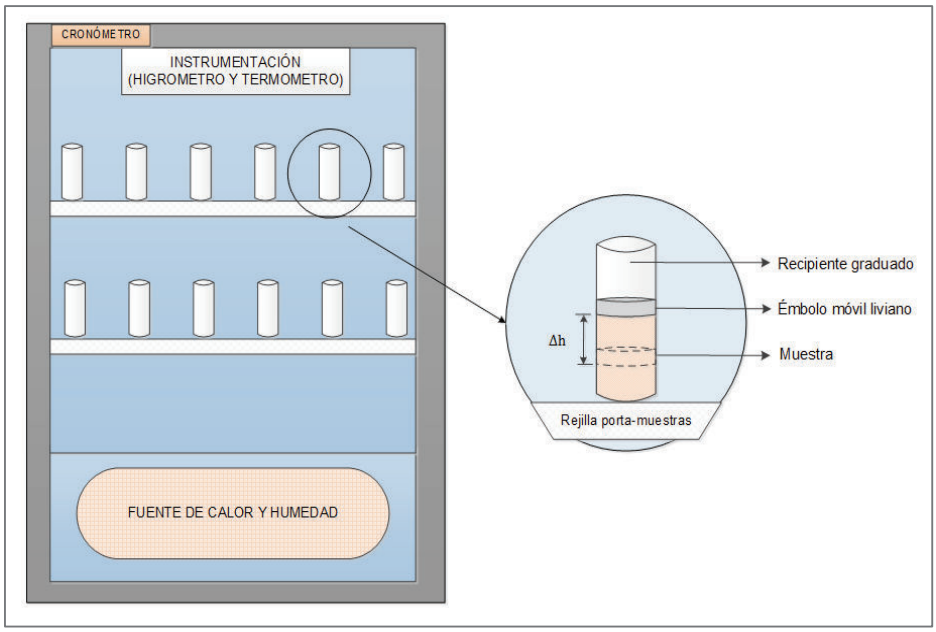


Figura 2.3 Esquema de la cámara de fermentación

Una vez preparadas las masas, se colocó cada muestra en la base de un recipiente de vidrio graduado con un émbolo móvil ligero, que permitió la lectura de la altura de la muestra. Seguido se introdujo la probeta con la muestra en la cámara de fermentación y se realizó las lecturas en intervalos de 10 min. Se monitoreo durante ocho horas de forma consecutiva.

Este ensayo se aplicó para cada una de las formulaciones con las mezclas que se utilizaron y se especifican en la Tabla 2.4. Las muestras control fueron las mezclas sin aditivos. Los ensayos se realizaron por triplicado.

Una vez obtenidos los datos experimentales, se graficó la variación del volumen respecto al tiempo, generando las curvas de fermentación y sus respectivos parámetros. Se desarrolló el modelo matemático que describe al fenómeno, obteniendo el tiempo de fermentación para cada muestra.

2.3.4 PROCESO DE PANIFICACIÓN

Se pesaron los ingredientes de acuerdo a lo establecido en la Tabla 2.6 para cada formulación. Primero se mezclaron los ingredientes secos, la azúcar y la levadura, disolviéndolas en agua a 20 ^{o}C y se agregaron en el primer minuto de amasado. Se obtuvo la cantidad de agua y el tiempo de amasado para cada formulación, de los ensayos presentados en el acápite 2.3.2 (INEN, 1980, p. 5).

Se dejó en reposo la masa a temperatura ambiente (20 ^{o}C), cubriéndola con una película de polietileno, para evitar la pérdida de humedad por 15 min. Se laminó la masa y se dejó nuevamente en reposo por 15 min. Seguido se dividió a la masa en porciones de 90 g y se moldeó (Correa, 2012, p. 94).

Ya obtenidas las piezas, se colocaron en los respectivos moldes, y se ubicaron dentro de la cámara de fermentación, a una humedad relativa superior al 75 % y una temperatura de 30 ± 1 °C, manteniendo las muestras durante el tiempo de fermentación experimental obtenido para cada formulación (Delgado y Sánchez-Lafuente, 2012, pp. 258-260; INEN, 1980, pp. 5-7).

Se procedió al horneado de las muestras, a una temperatura de 170 ± 5 °C, por 25 min. Las muestras se retiraron del horno y se desmoldaron, dejándolas enfriar a temperatura ambiente (20 °C) y condiciones atmosféricas, durante una hora (Correa, 2012, p. 95; INEN, 1980, pp. 5-7).

2.4 EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA CMC EN LA RETROGRADACIÓN DEL PAN

El efecto del CMC en la retrogradación del pan se evaluó con dos métodos: análisis térmico y humedad de la miga, pues con el paso tiempo al perderse humedad en el pan se ve afectada la textura de la miga.

2.4.1 DISEÑO EXPERIMENTAL

2.4.1.1 Diseño experimental para el análisis térmico

Para el análisis térmico se desarrolló un diseño experimental completamente al azar (DCA), con lo cual se investigó el efecto del aditivo en la retrogradación del almidón. Este ensayo se aplicó para las cuatro muestras que obtuvieron las mayores puntuaciones en el test de evaluación de aptitud panadera.

Se obtuvieron 15 tratamientos, incluidos la muestra control de harina de trigo. Las mediciones se realizaron en los días 1, 5 y 10.

2.4.1.2 Diseño experimental para la humedad de la miga

Para evaluar la humedad de la miga como efecto de la adición del CMC, se desarrolló un diseño factorial de 4 x 3 x 4. El factor A corresponde a las mezclas de harina de trigo y harina de arrocillo, el factor B a los niveles de aditivo (CMC) y el factor C a los días de almacenamiento.

El factor A tuvo cuatro niveles (A1= 90 % trigo – 10 % arrocillo, A2= 80 % trigo – 20 % arrocillo, A3= 70 % trigo – 30 % arrocillo y A4= 60 % trigo – 40 % arrocillo). El factor B tuvo tres niveles (B1= 0,0 % CMC, B2= 1,0 % CMC, B3= 1,0 % CMC). El factor C varío en cuatro niveles (C1= día 1, C2= día 3, C3= día 7, C4= día 10).

Se obtuvieron 52 tratamientos, incluidos la muestra control de harina de trigo. Los mismos que se detallan la Tabla 2.7 con sus respectivos factores A, B y C.

2.4.2 ANÁLISIS TÉRMICO

Se realizó en el equipo DSC 7, marca Perkin-Elmer, aplicando la técnica de barrido calorimétrico diferencial, con la que se evaluó la retrogradación del almidón. Se monitorearon los cambios de las propiedades físicas y químicas, de las harinas compuestas y el pan en función de la temperatura, pues los cambios de calor, están ligados al proceso de retrogradación (Hung-Iten, Escher y Code-Petit, 2003, p. 655).

La metodología de trabajo consistió en una etapa de calentamiento, en un intervalo de temperatura desde 20 a 145 ^{o}C con una razón de calentamiento de 10 ^{o}C/min. Las muestras fueron las mezclas de harinas (harina de trigo y harina de arrocillo) y aditivo, de los tratamientos que obtuvieron los mejores resultados.

El procedimiento consistió en pesar 20 mg de mezcla con 60 mg de agua destilada (relación 1:3) en celdas de acero inoxidable con capacidad de 50 µl. Se sellaron herméticamente y se las dejo en reposo durante una hora.

Se gelatinizaron las muestras, colocándolas en una estufa a 105 ^{o}C durante 15 min. Las celdas se almacenaron a 4 ^{o}C en refrigeración durante 10 días.

2.4.3 HUMEDAD DE LA MIGA

Se determinó la humedad de la miga del pan, para las muestras aplicando la metodología AOAC 925.10, las cuales fueron almacenados en los días establecidos, siendo la única variable de respuesta el porcentaje de humedad del pan.

Tabla 2.7. Tratamientos para el diseño factorial de 4 x 3 x 4 para la humedad de la miga

Tratamiento	FACTOR A		FACTOR B		FACTOR C	
	Mezcla de harinas % HT* - % HA*		% CMC		Día de almacenamiento	
T1	A0	100 % Trigo	B1	0,0	C1	Día 1
T2	A0	100 % Trigo	B1	0,0	C2	Día 3
T3	A0	100 % Trigo	B1	0,0	C3	Día 7
T4	A0	100 % Trigo	B1	0,0	C4	Día 10
T5	A1	90 % HT, 10 % HA	B1	0,0	C1	Día 1
T6	A1	90 % HT, 10 % HA	B1	0,0	C2	Día 3
T7	A1	90 % HT, 10 % HA	B1	0,0	C3	Día 7
T8	A1	90 % HT, 10 % HA	B1	0,0	C4	Día 10
T9	A1	90 % HT, 10 % HA	B2	0,5	C1	Día 1
T10	A1	90 % HT, 10 % HA	B2	0,5	C2	Día 3
T11	A1	90 % HT, 10 % HA	B2	0,5	C3	Día 7
T12	A1	90 % HT, 10 % HA	B2	0,5	C4	Día 10
T13	A1	90 % HT, 10 % HA	B3	1,0	C1	Día 1
T14	A1	90 % HT, 10 % HA	B3	1,0	C2	Día 3
T15	A1	90 % HT, 10 % HA	B3	1,0	C3	Día 7
T16	A1	90 % HT, 10 % HA	B3	1,0	C4	Día 10
T17	A2	80 % HT, 20 % HA	B1	0,0	C1	Día 1
T18	A2	80 % HT, 20 % HA	B1	0,0	C2	Día 3
T19	A2	80 % HT, 20 % HA	B1	0,0	C3	Día 7
T20	A2	80 % HT, 20 % HA	B1	0,0	C4	Día 10
T21	A2	80 % HT, 20 % HA	B2	0,5	C1	Día 1
T22	A2	80 % HT, 20 % HA	B2	0,5	C2	Día 3
T23	A2	80 % HT, 20 % HA	B2	0,5	C3	Día 7
T24	A2	80 % HT, 20 % HA	B2	0,5	C4	Día 10
T25	A2	80 % HT, 20 % HA	B3	1,0	C1	Día 1
T26	A2	80 % HT, 20 % HA	B3	1,0	C2	Día 3
T27	A2	80 % HT, 20 % HA	B3	1,0	C3	Día 7
T28	A2	80 % HT, 20 % HA	B3	1,0	C4	Día 10
T29	A3	70 % HT, 30 % HA	B1	0,0	C1	Día 1
T30	A3	70 % HT, 30 % HA	B1	0,0	C2	Día 3
T31	A3	70 % HT, 30 % HA	B1	0,0	C3	Día 7
T32	A3	70 % HT, 30 % HA	B1	0,0	C4	Día 10
T33	A3	70 % HT, 30 % HA	B2	0,5	C1	Día 1
T34	A3	70 % HT, 30 % HA	B2	0,5	C2	Día 3
T35	A3	70 % HT, 30 % HA	B2	0,5	C3	Día 7
T36	A3	70 % HT, 30 % HA	B2	0,5	C4	Día 10

*HT: harina de trigo, HA: harina de arrocillo, CMC: carboximetilcelulosa

Tabla 2.7. Tratamientos para el diseño factorial de 4 x 3 x 4 para la humedad de la miga **(continuación…)**

Tratamiento	FACTOR A		FACTOR B		FACTOR C	
	Mezcla de harinas % HT* - % HA*		% CMC		Día de almacenamiento	
T37	A3	70 % HT, 30 % HA	B3	1,0	C1	Día 1
T38	A3	70 % HT, 30 % HA	B3	1,0	C2	Día 3
T39	A3	70 % HT, 30 % HA	B3	1,0	C3	Día 7
T40	A3	70 % HT, 30 % HA	B3	1,0	C4	Día 10
T41	A4	60 % HT, 40 % HA	B1	0,0	C1	Día 1
T42	A4	60 % HT, 40 % HA	B1	0,0	C2	Día 3
T43	A4	60 % HT, 40 % HA	B1	0,0	C3	Día 7
T44	A4	60 % HT, 40 % HA	B1	0,0	C4	Día 10
T45	A4	60 % HT, 40 % HA	B2	0,5	C1	Día 1
T46	A4	60 % HT, 40 % HA	B2	0,5	C2	Día 3
T47	A4	60 % HT, 40 % HA	B2	0,5	C3	Día 7
T48	A4	60 % HT, 40 % HA	B2	0,5	C4	Día 10
T49	A4	60 % HT, 40 % HA	B3	1,0	C1	Día 1
T50	A4	60 % HT, 40 % HA	B3	1,0	C2	Día 3
T51	A4	60 % HT, 40 % HA	B3	1,0	C3	Día 7
T52	A4	60 % HT, 40 % HA	B3	1,0	C4	Día 10

*HT: harina de trigo, HA: harina de arrocillo, CMC: carboximetilcelulosa

2.5 EVALUACIÓN DE LOS ATRIBUTOS DEL PAN OBTENIDO

2.5.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LAS MUESTRAS DE PAN

Para la caracterización física se consideraron los siguientes atributos: peso, volumen, color de la miga y corteza, y estructura de la miga.

2.5.1.1 Peso

El peso de cada muestra de pan se determinó con una balanza analítica marca Mettler Toledo, modelo AG-204, capacidad de 210 g y precisión 0,01 mg. Las mediciones se realizaron por triplicado.

2.5.1.2 Volumen

El volumen del pan se determinó con el método de desplazamiento de semillas de nabo, cuya lectura se la efectuó en una probeta. Las mediciones se realizaron por triplicado (INEN, 1980, p. 4).

2.5.1.3 Color de la miga y corteza

El color de la miga y corteza del pan se midió utilizando colorímetro triestímulo, marca Minolta, modelo CR-200, las mediciones se realizaron por triplicado.

El funcionamiento se basa en el espacio rectangular de Hunter, que utiliza las siguientes coordenadas cilíndricas:

- **L:** es la luminosidad, y tiene una escala que va desde el 0 hasta 100. El valor 0 representa al color negro, mientras que valor 100 representa al color blanco.
- **a:** no tiene una escala numérica específica; sin embargo, tiene dos extremos uno positivo y otro negativo. Los valores positivos representan el color rojo, mientras que los valores negativos representan el color verde.
- **b:** tampoco tiene una escala numérica específica, pero si un extremo positivo y otro negativo. Los valores positivos representan el color amarillo, mientras que los valores negativos al color azul.

2.5.1.4 Miga

Se hicieron rebanadas de pan de cada formulación y se digitalizaron sus imágenes, mediante un escáner BENQ, modelo 5000, con una resolución de 1 200 x 2 400 dpi. Se evaluaron las características estructurales de la miga mediante el software ImageJ 1.47k.

2.5.2 EVALUACIÓN SENSORIAL DE LAS MUESTRAS DE PAN

La evaluación sensorial de las muestras de pan se realizó en dos etapas: una evaluación de atributos y una evaluación de aptitud panadera.

2.5.2.1 Test de evaluación sensorial (Evaluación de atributos)

Se utilizó una prueba de escala no estructurada, para lo cual se graficó una línea de 10 cm. Tomando en cuenta la intensidad del atributo y que el extremo izquierdo representa el 0 % y el derecho representa el 100 %, como se presenta en el formato del ANEXO VII.

La evaluación se realizó al siguiente día del horneado del pan. Se contó con la colaboración de nueve panelistas semientrenados, a los cuales se les entregó cuatro muestras de pan que se distribuyeron según la disposición que se indica en la Tabla 2.8.

Tabla 2.8. Distribución de las muestras de pan para el análisis sensorial

	Tratamientos			
Bloque	**I**	**II**	**III**	**IV**
A	13	1	3	9
B	1	2	4	10
C	2	3	5	11
D	3	4	6	12
E	4	5	7	13
F	5	6	8	1
G	6	7	9	2
H	7	8	10	3
I	8	9	11	4
J	9	10	12	5
K	10	11	13	6
L	11	12	1	7
M	12	13	2	8

(Cochran y Cox, 2008, p. 570)

2.5.2.2 Test de evaluación de aptitud panadera

Se aplicó una prueba de escala ponderada de acuerdo a los parámetros que determina la norma NTE INEN 530: Ensayo de panificación y se detallan en la Tabla 2.9.

A las 24 horas de elaborado el pan, se realizó el test de aptitud panadera para lo cual se contó con la colaboración de cinco panelistas técnicos (panel de expertos) que evaluaron las muestras de pan distribuidas al azar de acuerdo al formato del ANEXO VIII.

Tabla 2.9. Parámetros para análisis de aptitud panadera según NTE INEN 530:2013

Atributo	Rango de Calificación (puntos)
Volumen	0 - 30
Estructura de la miga	0 - 20
Simetría	0 - 15
Aroma	0 - 15
Corteza	0 - 10
Color de la miga	0 - 5
Textura de la miga	0 - 5

(INEN, 2013, p. 4)

2.6 DISEÑO DE LA PLANTA DE PANIFICACIÓN A NIVEL INDUSTRIAL

Se diseñó el proceso que incluye la elaboración de la harina de arrocillo hasta la obtención de pan molde. Se utilizaron los resultados obtenidos en la parte experimental y los balances de masa y energía respectivamente.

Se dimensionaron los equipos a utilizar en cada uno de los procesos, además que se realizó la distribución en planta con el programa Autodesk, para lo cual se requirió estimar las áreas de producción.

2.6.1 ESTIMACIÓN DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN

Al diseñar la distribución de planta, una vez determinados los equipos necesarios para cada proceso, cabe la posibilidad de dibujar un croquis a escala para alcanzar una distribución satisfactoria, o estimar mediante un cálculo.

En el presente proyecto se aplicó el método de Guerchet, donde la superficie total está dada por la suma de tres superficies parciales.

$$S_T = S_s + S_g + S_e \qquad [2.1]$$

La superficie estática (Ss) corresponde a la superficie productiva, que ocupa la maquinaria físicamente, o demás instalaciones.

$$S_s = \text{largo} \times \text{ancho} \qquad [2.2]$$

La superficie de gravitación (Sg) es la que utilizan tanto los operarios como la materia que se está procesando. Para almacenes o maquinaria automática, el número de lados operativos es menor que en el caso de máquinas o equipos productivos con trabajadores operando en ellos.

$$S_g = S_s \times n \qquad [2.3]$$

Donde el factor (n) representa el número de lados operativos de la máquina.

La superficie de evolución (Se) es aquella que permite el espacio necesario para el movimiento del personal y materiales entre puestos de trabajo se obtiene de la siguiente manera:

$$S_e = (S_s + S_g) \times k \qquad [2.4]$$

El coeficiente k varía dependiendo de la producción, personal, volumen de material, equipo de mantenimiento, tamaño de las máquinas e instalaciones existentes lo que se traduce en pasillos alrededor del equipo o puesto de trabajo.

Este coeficiente k puede estimarse como la relación entre las dimensiones de los objetos desplazados y el doble de las cotas medias de los objetos o maquinarias donde estos se trasladan.

2.7 EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA PRE-FACTIBILIDAD DE INSTALACIÓN DE LA PLANTA DISEÑADA

Se determinaron los costos de producción: mano de obra directa, materia prima y costos indirectos de fabricación.

También se consideraron los gastos de energía, basados en las potencias requeridas de los equipos.

La evaluación de pre-factibilidad del proyecto, se realizó posterior al análisis del flujo de caja a lo largo de su vida útil, determinando los siguientes indicadores financieros:

- Punto de equilibrio
- Valor actual neto (VAN)
- Tasa interna de retorno (TIR)
- Período de recuperación de la inversión
- Índice de rentabilidad o costo/beneficio (IR).

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA Y FARINOLÓGICA DE LAS HARINAS DE TRIGO, ARROCILLO Y MEZCLAS

3.1.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICA

3.1.1.1 Método físico

En la Figura 3.1 y la Figura 3.2, se observan las distribuciones granulométricas para las harinas, para lo cual se graficó el porcentaje de pasado acumulado en función del tamaño de partícula. Los resultados obtenidos de la prueba de tamizado en seco se encuentran tabulados el apartado 1 del ANEXO IX.

El análisis granulométrico reveló que el 83,3 % de la harina de arrocillo y el 99,3 % de la harina de trigo pasaron por el tamiz No. 80, por tanto, tienen un tamaño de partícula menor a 180 µm.

El tamaño de partícula d_{50} que corresponde a la abertura del tamiz a través del cual pasó el 50 %, para la harina de arrocillo es de 124,97 µm, mientras que para la harina de trigo es de 115,48 µm. Se puede apreciar que existe una diferencia de tamaño de partícula del 8,2 %.

El tamaño de partícula d_{80} corresponde a la abertura del tamiz por donde pasa el 80 % de la muestra. Para la harina de arrocillo fue de 172,92 µm, mientras que para la harina de trigo fue de 138,17 micras, con una diferencia del 25,2 %.

Conforme a la norma NTE INEN 616: Harina de Trigo, se cumple con el tamaño de partícula requerido, que las harinas al menos pasen a través de un tamiz de 212 µm. Límite que se supera ampliamente, pues en ambos casos el tamaño de partícula es inferior a 180 micras (INEN, 2015, p. 4).

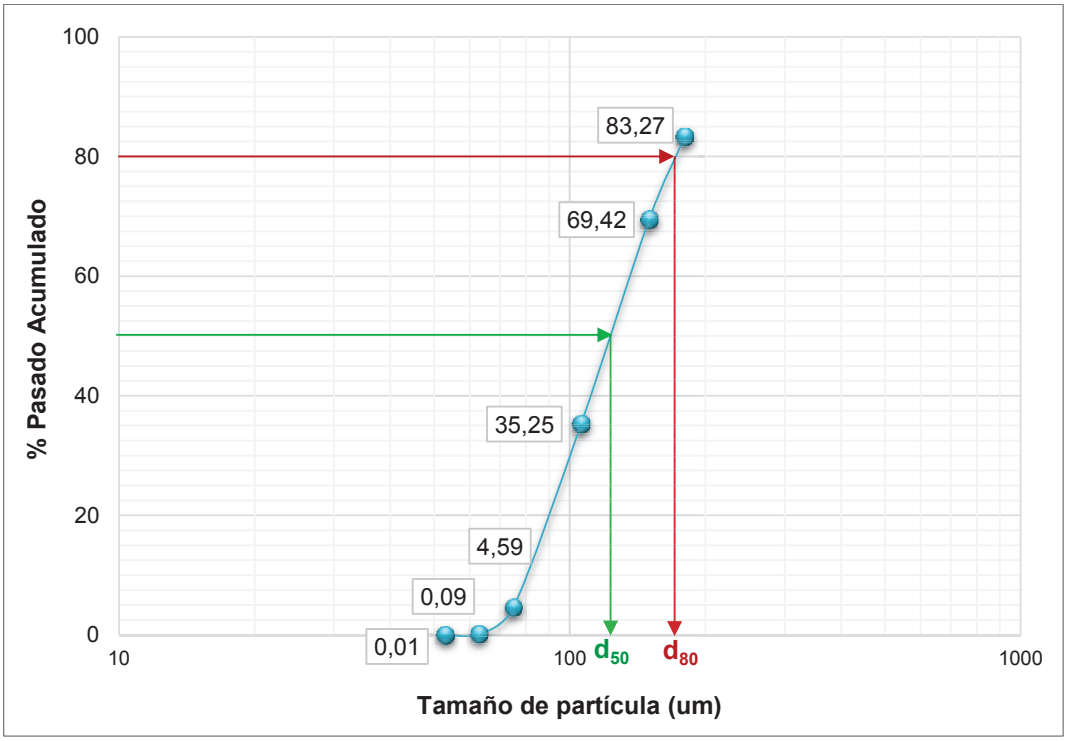


Figura 3.1 Distribución granulométrica de la harina de arrocillo

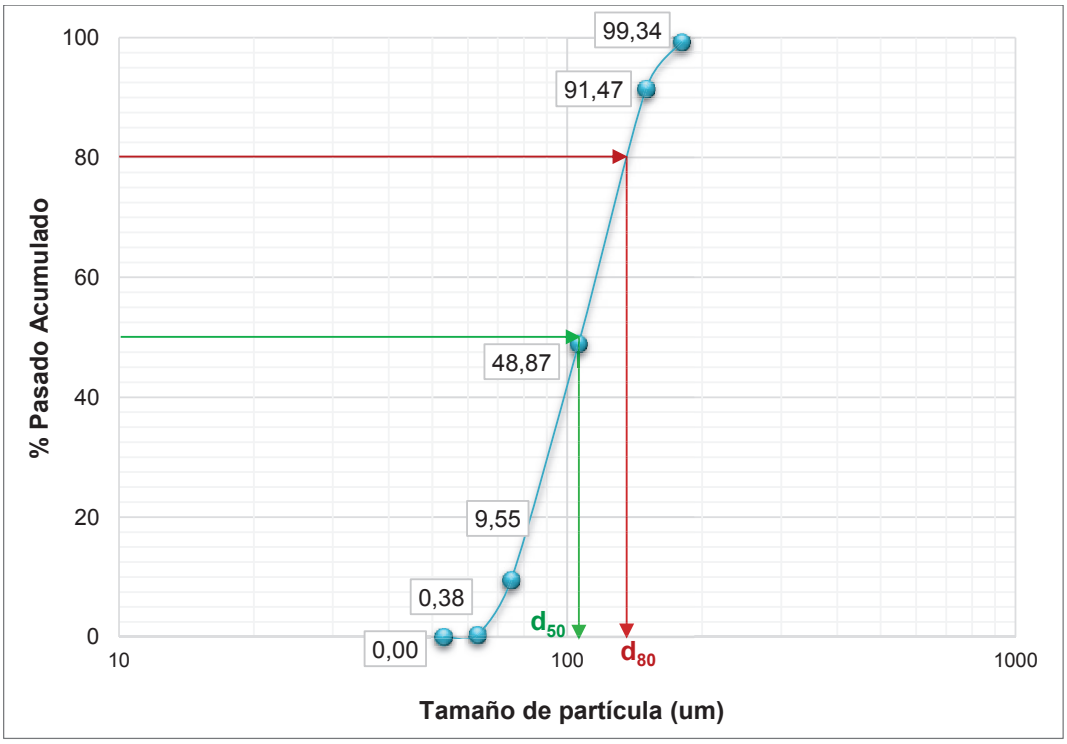


Figura 3.2 Distribución granulométrica de la harina de trigo

Gujral, Guardiola, Carbonell y Rosell (2003) en su investigación realizada en reología de masas y calidad del pan utilizaron harina de arroz de origen comercial, con un tamaño de partícula comprendido entre 177 a 35 µm (p. 3 815). Al comparar la harina de arrocillo obtenida en el laboratorio (que varía entre 180 a 53 µm) con la harina de arroz de origen comercial, se puede observar que la obtenida en el laboratorio se encuentra dentro del rango que se trabaja a nivel industrial.

3.1.1.2 Método granulométrico de dispersión de luz láser (DLS)

Las muestras (harina de arrocillo y harina de trigo), son un conjunto de partículas que no poseen un tamaño uniforme, sino más bien presentan una distribución de tamaños. Este comportamiento se puede observar en las gráficas obtenidas del análisis DLS, en el apartado 2 del ANEXO IX.

Sin embargo, a través de este análisis también se puede obtener el diámetro efectivo que es un tamaño promedio de todas las partículas de la muestra, y el índice de polidispersidad que indica cuan dispersas se encuentran las partículas en la muestra. Estos resultados se tabulan en la Tabla 3.1 para la harina de trigo y la harina de arrocillo.

Tabla 3.1. Parámetros de la prueba DLS de la harina de trigo y harina de arrocillo

Parámetro	Unidad	Harina de trigo	Harina de arrocillo
Diámetro efectivo	nm	20 860,3	904,1
Polidispersidad		0,706	0,328

El índice de polidispersidad es un parámetro adimensional, y su interpretación varía de acuerdo al rango al cual pertenezca. Si se encuentra entre 0 a 0,02 se trata de muestras monodispersas, de 0,02 a 0,08 tiene distribuciones estrechas por ello, se trata de muestras casi dispersas y valores mayores a 0,08 presentan distribuciones más amplias por lo que se trata de muestras heterogéneas (Brookhaven Instruments Corporation, 1994, p. 35).

Al comparar los resultados obtenidos, el valor para la harina de arrocillo es prácticamente la mitad del que le corresponde a la harina de trigo, lo cual puede atribuirse a la forma de obtención de cada una de las harinas. La harina de trigo se la obtuvo comercialmente, mientras que la harina de arrocillo se obtuvo de la molienda en seco, utilizando un molino de pines ALPINE, modelo 160 UPZ.

Respecto al índice de polidispersidad, al presentar ambas muestras valores mayores a 0,08 se puede concluir que se trata de muestras heterogéneas. Además la harina de trigo presenta un índice mayor en un 46,5 % con respecto a la harina de arrocillo, siendo más dispersa, lo cual se sustenta en la Figura AIX.1 y en la Figura AIX.2 del ANEXO IX.

3.1.2 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA

3.1.2.1 Análisis proximal

Los resultados del análisis proximal se encuentran tabulados en la Tabla 3.2, tanto para la harina de trigo como para la harina de arrocillo.

Comparando los resultados, se identifica que los valores de la harina de trigo son superiores a los de la harina de arrocillo en los siguientes ítems: humedad (24,4 %), cenizas (29,82 %), fibra cruda (31,58 %), extracto etéreo (68,67 %) y proteína (80,93 %). Mientras tanto, la harina de arrocillo respecto a la harina de trigo es superior en carbohidratos (13,50 %) y valor calórico (3,14 %).

En el estudio realizado por Magaña, Ramírez, Platt, López, Torres y Sánchez (2009) en diferentes variedades de trigos suaves, obtuvieron: humedad (13,48 - 13,68 %); proteína (10,18 - 11,01 %) y cenizas (0,438 - 0,442 %) (p.15). Al contrastar estos resultados con los obtenidos experimentalmente, el porcentaje de humedad y proteína se encuentran en el rango establecido, mientras que el contenido de cenizas es mayor, cuyas variaciones se puede atribuir principalmente al lugar de cultivo y a la variedad de trigo.

Tabla 3.2. Análisis proximal de harina de trigo y harina de arrocillo

Analito	Unidad	Harina de trigo	Harina de arrocillo
Humedad	%	$13{,}10^{b} \pm 0{,}42$	$10{,}53^{a} \pm 0{,}39$
Proteína	%	$12{,}93^{b} \pm 0{,}18$	$7{,}19^{a} \pm 0{,}09$
Extracto etéreo	%	$1{,}42^{b} \pm 0{,}05$	$0{,}84^{a} \pm 0{,}02$
Cenizas	%	$0{,}74^{b} \pm 0{,}03$	$0{,}59^{a} \pm 0{,}02$
Fibra cruda	%	$0{,}25^{b} \pm 0{,}01$	$0{,}19^{a} \pm 0{,}01$
Almidón	%	$73{,}85^{a} \pm 0{,}49$	$79{,}65^{b} \pm 0{,}21$
Carbohidratos totales	%	$71{,}60^{a} \pm 0{,}57$	$81{,}43^{b} \pm 0{,}39$
Valor calórico	kcal/100g	$350{,}50^{a} \pm 2{,}12$	$361{,}00^{b} \pm 1{,}41$

Resultados en base seca. $\bar{x} \pm \sigma$ (n = 2). Valores con letras diferentes en la fila, presentan diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0{,}05$) de acuerdo al test de Tukey HSD.

Los resultados de la composición química de la harina de trigo se han comparado con la normativa ecuatoriana NTE INEN 616: Harina de Trigo, y se encuentran dentro del rango permitido para harina de panificación (INEN, 2015, pp. 3-4).

El análisis proximal de la harina de arrocillo se comparó con otros estudios realizados, cuyos valores se tabulan en la Tabla 3.3. Se puede afirmar:

Tabla 3.3. Resultados del análisis proximal de la harina de arroz en diferentes investigaciones

Analito	Unidad	Harina de arroz							
		1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Humedad	%	11,74	10,00	12,80	12,40	-	12,30	9,09	14,20
Proteína	%	7,50	6,00	8,83	6,71	8,11	7,90	7,31	8,10
Cenizas	%	0,24	0,60	0,57	0,39	0,23	0,54	0,26	-
Lípidos crudos	%	0,36	2,10	-	0,41	0,80	2,88	0,30	1,10
Fibra cruda	%	-	-	-	-	0,25	-	-	-
Almidón	%	-	79,90	-	-	90,61	-	81,50	75,00
Carbohidratos	%	80,16	-	-	80,10	-	88,68	-	-
Valor calórico	kcal/ 100g	353,81	-	-	-	-	-	-	-

1 (Carvalho, et al., 2013, p. 246) , **2** (Demirkesen, Campanella, Sumnu, Sahin y Hamaker, 2014, p. 807), **3** (Gujral y Rosell, 2004, p. 76), **4** (Hagenimana, Ding y Fang, 2006, p. 40), **5** (Sciarini, Ribotta, León y Pérez, 2010, p. 578), **6** (Sivaramakrishnan, Senge y Chattopadhyay, 2004, p. 39), **7** (Torbica, Hadnadev y Dapčević, 2010, p. 627), **8** (Wu, Chen, Li y Wan, 2010, p. 493)**.**

a. El contenido de proteína se presenta en un rango entre 6 - 9 % y para la harina de arrocillo utilizada en este estudio, le corresponde un valor promedio en este rango. Al presentar la cantidad y calidad de la proteína un comportamiento inversamente proporcional, se presume que la calidad de proteína en el arrocillo es buena (Bhattacharya, 2011, pp. 404-405).

b. Con respecto a las cenizas, Demirkesen, et al. (2014), Sivaramakrishnan et al. (2004), y Gujral y Rosell (2004), presentan valores similares al obtenido. Por tanto la harina de arrocillo al tener un elevado porcentaje de cenizas, es rica en minerales.

c. Para la fibra cruda, la harina de arrocillo tiene un contenido menor con respecto al estudio de Sciarini, et al. (2010) donde se evidencia una diferencia del 31,6 %.

Comparando los resultados obtenidos en este estudio con los de Sivaramakrishnan et al. que utilizó una variedad de arroz de granos cortos y con los de Carvalho et al. que utilizó arroz quebrado, se evidencia resultados similares con los de éste último, pues el arrocillo proviene de la rotura que sufren los granos de arroz durante el pilado.

También se ratifica que el arrocillo es pobre en proteínas y rico en carbohidratos, al igual que el arroz, tal como lo afirman Gómez, et al., (2007) en sus investigaciones (p. 137). Sin embargo, las variaciones que presentan, se puede atribuir principalmente a dos factores: la variedad del arroz y el tipo de molienda.

3.1.2.2 Contenido de amilosa

En los ensayos térmicos realizados por calorimetría diferencial de barrido (DSC), el parámetro principal obtenido y la base del cálculo del contenido de amilosa, es la entalpía de fusión del complejo amilosa-lípido, cuyos valores se reportan en la Tabla 3.4.

Al realizar un análisis estadístico de la entalpía de fusión para los resultados obtenidos, se determinó que los siguientes grupos que no presentan diferencias estadísticamente significativas según el test de Tukey, y son:

a. Las muestras M0T y M10, lo cual se puede atribuir a que las características de la mezcla son semejantes a la harina de trigo, pues la cantidad de sustitución es apenas del 10 %.

b. Las muestras M20 y M30, debido a que los porcentajes de sustitución de harina de arrocillo por harina de trigo se encuentran en un rango intermedio (20 y 30 % respectivamente).

Tabla 3.4. Contenido de amilosa en la harina de trigo, harina de arrocillo y mezclas

Muestra		Entalpía (J/g)	Amilosa en harina (%)	Amilosa en almidón (%)
M0T	Harina de trigo	$4{,}018^{c} \pm 0{,}223$	26,25	35,55
M0A	Harina de arrocillo	$2{,}810^{a} \pm 0{,}135$	18,55	23,29
M10	90 % Harina de trigo 10 % Harina de arrocillo	$3{,}846^{c} \pm 0{,}166$	25,39	34,12
M20	80 % Harina de trigo 20 % Harina de arrocillo	$3{,}769^{bc} \pm 0{,}179$	24,46	32,61
M30	70 % Harina de trigo 30 % Harina de arrocillo	$3{,}592^{bc} \pm 0{,}343$	22,97	30,39
M40	60 % Harina de trigo 40 % Harina de arrocillo	$3{,}226^{ab} \pm 0{,}226$	21,36	28,04

Además en la Tabla 3.4 se tabulan los resultados del contenido de amilosa. La harina de trigo (M0T) tiene el mayor contenido, en contraste con la harina de arrocillo (M0A) que tiene el menor contenido, superando a esta última en un 29,3 %.

Con respecto a las mezclas M10, M20, M30 y M40, se obtuvó que mientras el porcentaje de sustitución de harina de arrocillo aumenta, el contenido de amilosa disminuye en 3,3 %, 6,8 %, 12,5 % y 18,6 %, respectivamente, con relación a la harina de trigo.

Fredriksson, Silverio, Andersson, Eliasson y Aman (1998) determinaron el contenido de amilosa para el trigo con dos metodologías diferentes: a) por colorimetría con yodo, obteniendo un valor del 25 %, y b) mediante cromatografía de permeación de gel (GPC), con un valor del 28,4 % (p. 123). Los resultados obtenidos en este estudio (con DSC), se encuentra dentro del rango presentado con distintos métodos. Con lo que se corroboran la similitud de los resultados.

Eliasson y Gudmundsson (2006) reportan para el almidón de trigo un rango del 28 – 29,2 % del contenido de amilosa (p. 397), mientras que en este estudio se obtuvó un valor del 35,55 %. Esta gran variación se puede atribuir a que no se extrajó el almidón de la harina, para la determinación directa de la amilosa, sino se la calculó a partir del contenido de almidón obtenido del análisis proximal de la harina.

De la Hera, Martinez y Gómez (2013) determinaron que existe relación entre el tamaño de partícula y la cantidad de amilosa (p. 200). La obtención de la harina de arroz se la realizó a través de la molienda de granos de arroz cortos y largos, se tamizó y se dividió en grupos respecto a su tamaño de partícula, encontrando:

a. Para la harina obtenida de granos cortos de arroz, cuyo tamaño de partícula fue: mayor a 180 micras tiene el 21,41 %; en un intervalo de 106 a 180 micras tiene el 22,84 %; en un intervalo de 80 a 106 micras tiene el 22,75 %, y menor a 80 micras tiene 21,56 % de amilosa.

b. Para la harina obtenida de granos largos de arroz, cuyo tamaño de partícula fue: mayor a 106 micras tiene el 23,71 %, en un intervalo de 80 a 106 micras tiene el 25,51 %, y menor a 80 micras tiene 23,67 % de amilosa.

Prasad et al. (2012) en su investigación planteó tres procesos de molienda para el arroz: seca, semiseca y húmeda, obteniendo un contenido de amilosa del 21,32 % 17,81 % y 16,21 % respectivamente (p. 198). Por ello, se puede concluir que al aplicar una molienda en seco, se va a obtener una harina con mayor contenido de amilosa respecto a los otros dos métodos.

A pesar que para la obtención de harina de arrocillo se aplicó molienda en seco y el tamaño de partícula fue inferior a 180 µm, su contenido de amilosa (18,55 %) es menor a los resultados de los estudios antes expuestos. Lo cual podría atribuirse a que el arrocillo es un subproducto del pilado del grano de arroz, más no una variedad de grano largo o corto. Además durante el procesamiento del grano y la molienda, el grano pierde capas de endospermo, que es donde se almacena el almidón, que a su vez contiene amilosa. Estos mecanismos afectan las características físico-químicas por el cambio en el tamaño de partícula.

Eliasson y Gudmundsson (2006) también reportan para el almidón de arroz el contenido de amilosa, que se encuentra en un rango del 12,2 – 28,6 %, lo que ratifica el valor encontrado para el almidón de arrocillo en esta investigación (p. 397).

3.1.3 CARACTERIZACIÓN FARINOLÓGICA

Para la caracterización farinológica de la harina de trigo y las mezclas, se obtuvieron farinogramas, extensogramas, amilogramas y fermentogramas, cuyos datos se encuentran tabulados en la Tabla AX.1, Tabla AX.2, Tabla AX.3 y Tabla AX.4 del ANEXO X.

3.1.3.1 Farinogramas

En la Figura 3.3 se observa como el porcentaje de absorción de agua de las mezclas disminuye progresivamente con respecto al patrón inicial M0T que es la harina de trigo. La mezcla M1 decrece en un 1,73 %; la mezcla M2 disminuye en un 3,90 %; la mezcla M3 decrece en 6,06 % y la mezcla M4 disminuye en un 8,96 %.

Las muestras M0T y M1 no presentan diferencias estadísticamente significativas, lo que se podría atribuir a la baja sustitución de harina de arrocillo, por ello, las

características físico-químicas de M1 no varían drásticamente respecto a M0T. Las mezclas M2, M3 y M4 si presentan diferencias estadísticamente significativas

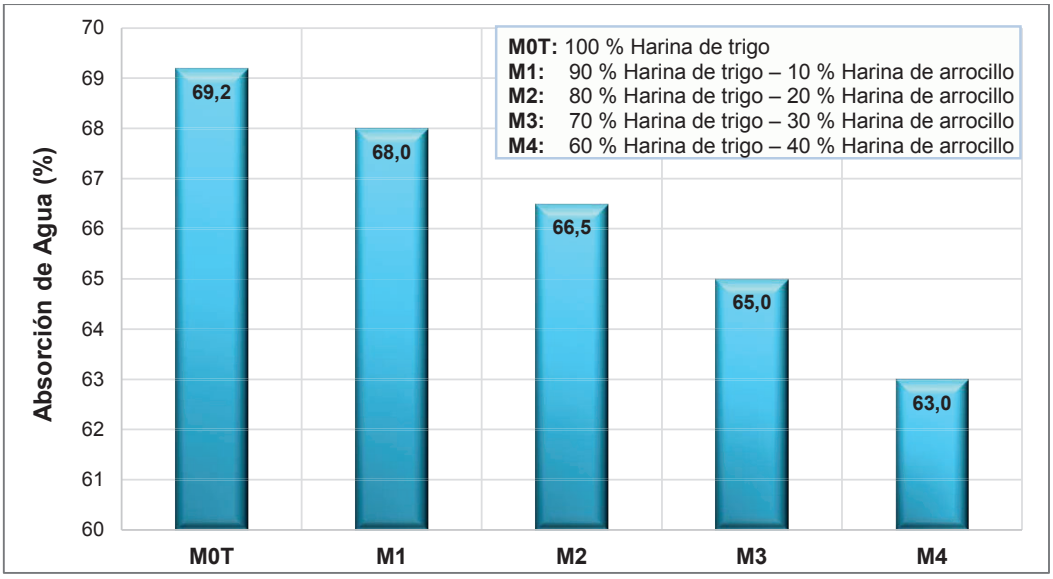


Figura 3.3 Porcentaje de absorción de agua para mezclas de harinas de trigo y arrocillo según pruebas farinológicas

Estos resultados son compatibles con los obtenidos en la investigación de Jung y Eun (2003) sobre las propiedades reológicas de masas con harina de arroz negro. Determinaron que la absorción de agua disminuye con la presencia de la harina de arroz. Para la muestra control (100 % trigo) le corresponde un valor de 72 %, y para las mezclas con el 10, 20 y 30 % de harina de arroz le corresponden los valores de 69,5 %, 66,8 %, y 64,2 %, respectivamente (p. 40).

Sobre la base de los resultados, se puede concluir que con el incremento de la harina de arrocillo, la absorción de agua disminuye. Lo que se atribuye a la disminución del contenido de gluten en las mezclas por la presencia de harina de arrocillo, que se trata de una materia prima libre de gluten. Éste es el principal componente para la formación de las masas, responsable de las propiedades viscoelásticas y de la absorción de agua (Momčilović, et al., 2008, p. 43).

En la Figura 3.4, se observan los tiempos de llegada, amasado y estabilidad de las mezclas con respecto al patrón inicial que es la harina de trigo.

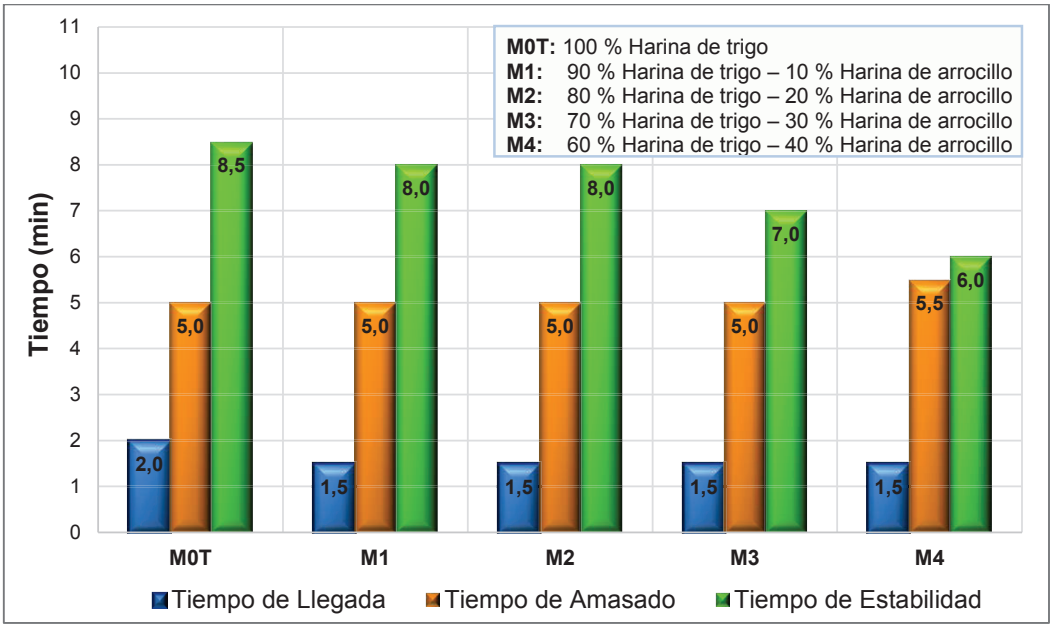


Figura 3.4 Tiempos de llegada, amasado y estabilidad para mezclas de harinas de trigo y arrocillo según pruebas farinológicas

El tiempo de amasado para la harina de trigo M0T y las mezclas M1, M2, M3 y M4 no presentan diferencias estadísticamente significativas.

Los tiempos de llegada para las mezclas presentan una diferencia de 0,5 min con respecto al patrón inicial que es la harina de trigo, Lo cual se ve reflejado en las mezclas M1, M2, M3 y M4 que no presentan diferencias estadísticamente significativas entre sí, pero sí presentan con la muestra patrón de trigo M0T.

Los tiempos de estabilidad de las muestras M0T, M1 y M2, no presentan diferencias estadísticamente significativas. Las mezclas M3 y M4 difieren en 1,5 y 2,5 min, respectivamente, en relación a la harina de trigo, por lo que presentan diferencias estadísticamente significativas. Este comportamiento puede atribuirse al debilitamiento de la red de gluten por la presencia de harina de arrocillo, lo que se refleja en la disminución de la fuerza de las masas de dichas mezclas.

Sin embargo, es importante recalcar que la estabilidad mezclas M1 y M2 satisfacen el requerimiento de la industria de panificación mecanizada, que requieren un tiempo al menos de 8 min.

De acuerdo ha investigaciones realizadas para la harina de trigo, los resultados más sobresalientes se tabulan en la Tabla 3.5. Al comparar los valores obtenidos experimentalmente para la harina de trigo (absorción de agua, tiempo de amasado y estabilidad) se encuentran dentro de los rangos presentados. Por lo que se presume que el trigo utilizado en este estudio, corresponde a una variedad con un contenido fuerte en gluten, siendo apto para producción de pan.

Tabla 3.5. Resultados farinológicos de la harina de trigo en diferentes investigaciones

Parámetro	Unidad	Masas de harina de trigo						
		1	2	3	4	5		
						SGW	IGW	WGW
Absorción de agua	%	57,70 - 60,80	64,6	63	53,90 - 55,73	66	70	55
Tiempo de desarrollo	min	1,75 - 3,25	2,5	13	1,58 - 2,29	6,0	4,2	1,5
Estabilidad	min	9,5 - 17,0	9,3	19,5	2,72 - 3,99	7,3	3,8	2,0

***SWG** (trigo fuerte en gluten), **IWG** (trigo intermedio en gluten), **WGW** (trigo débil en gluten)
1 (Autio, Flander, Kinnunen y Heinonen, 2001, p. 655) , **2** (Guarda, Rosell, Benedito y Galotto, 2004, p. 243), **3** (Linlaud, Puppo y Ferrero, 2009, p. 378)**, 4** (Magaña-Barajas, Ramírez-Wong, Platt-Lucero, López-Ahumada, Torres y Sánchez-Machado, 2009, p. 16), **5** (Fu, Tian, Sun y Li, 2008, p. 818)**.**

El comportamiento de las muestras son similares a los reportados en la investigación de Pacheco de Delahaye, Peña y Jiménez (2009) sobre las propiedades físico-químicas y sensoriales de panes con sustitución parcial de la harina de trigo por el 5 y 10 % del salvado de arroz. Donde el tiempo de amasado aumentó con el porcentaje de sustitución de salvado de arroz de 5 a 6,5 min. Mientras que la estabilidad de la masa disminuyó con el incremento de sustitución desde 9 a 7,5 min (p. 591), con lo que se ratifican los valores obtenidos.

En la Figura 3.5, se observan el índice de tolerancia y el valor valorimétrico de las mezclas con respecto al patrón inicial, que es la harina de trigo.

Para el índice de tolerancia las muestras presentan diferencias estadísticamente significativas, excepto M3 y M4. Mientras que para el valor valorimétrico, todas las muestras presentan diferencias significativas.

El índice de tolerancia, presenta el valor más alto para la muestra de harina de trigo M0T con 40 UB. El comportamiento de las mezclas presenta la tendencia a disminuir, cuando el porcentaje de sustitución de harina de arrocillo aumenta, así las mezclas M1, M2, M3 y M4 decrecen en un 8,25 %; 18,25 %; 27,5 % y 28,5 %, respectivamente.

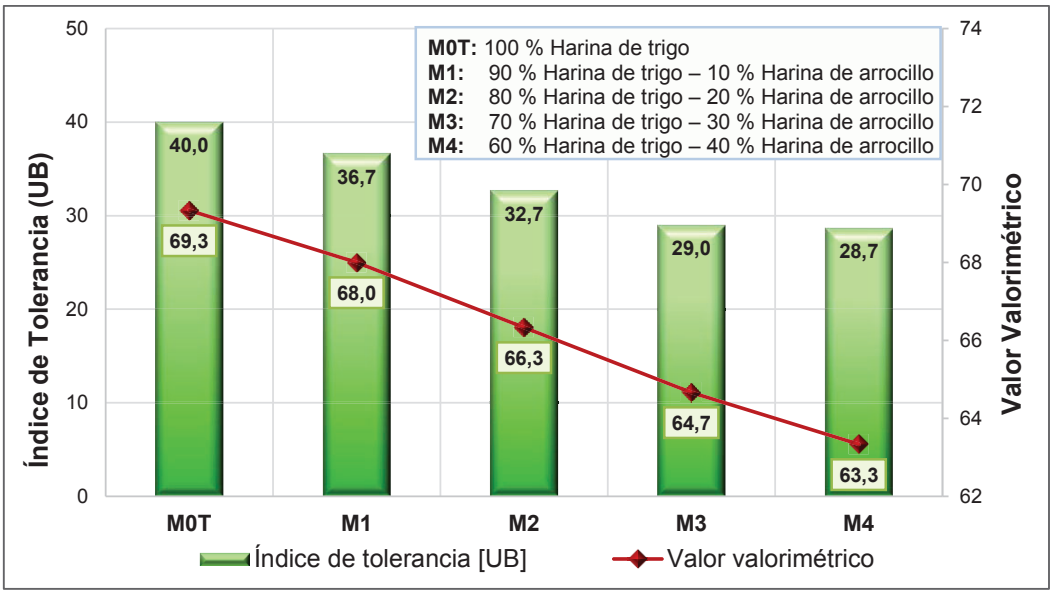


Figura 3.5 Índice de tolerancia y valor valorimétrico para mezclas de harinas de trigo y arrocillo según pruebas farinológicas

Este índice expresa la resistencia que tiene la masa durante el masado. Por lo que su tendencia a disminuir, indica el efecto negativo del incremento de la harina de arrocillo en las mezclas. Este comportamiento repercute en las características reológicas de las masas, por el debilitamiento de la red de gluten.

Fu, Tian, Sun, y Li (2008) obtuvieron que las harinas harina de trigo con gluten fuerte presentan los valores más altos de estabilidad, respecto a harinas de trigo con gluten intermedio y bajo (pp. 818-819).

Por lo expuesto anteriormente, se corroboran los resultados obtenidos. Pues en las mezclas M1, M2, M3 y M4, la presencia de harina de arrocillo, ocasiona una disminución en el contenido de proteina presenta, razón por la cual se presenta una baja en el índice de tolerancia al mezclado.

El valor valorimétrico más alto fue para la harina de trigo con 69,3. Mientras que las mezclas M1, M2, M3 y M4 presentaron una tendencia a disminuir, en 1,88 %, 4,32 %, 6,64 % y 8,66 %, respectivamente, en relación a la muestra control.

El valor valorimétrico es una calificación empírica de la calidad de la harina, en función del tiempo de desarrollo de la masa y la tolerancia al mezclado, y representa las propiedades físico-mecánicas de la masa. Su valor mínimo es de 40 UB, con lo cual se ratifican los valores obtenidos en este estudio.

Sobre la base del estudio realizado, se determinó que el valor valorimétrico disminuye con el incremento del porcentaje de sustitución de harina de arrocillo. Lo que indica calidad de la harina también disminuye; sin embargo, a las mezclas aún se consideran aptas para panificación, pues se obtuvieron valores superiores a 63. Este comportamiento se atribuye a la disminución de la proteína en las mezclas, por la presencia de la harina de arrocillo.

Los resultados obtenidos coinciden con los presentados por Jung y Eun (2003), que encontraron que el valor valorimétrico para la muestra 100 % trigo fue 69, y para las sustituciones del 10, 20 y 30 % de harina de arroz fueron 65, 63 y 61, respectivamente (p. 40).

3.1.3.2 Extensogramas

Los ensayos se realizaron para las mezclas de harina de trigo y harina de arrocillo M1, M2 y M3, teniendo como muestra control la masa de harina de trigo M0T. Para la muestra M4 no se obtuvieron resultados, debido a que la masa no se pudo moldear después de los 45 min de reposo.

En la Figura 3.6 se muestra la extensibilidad de las masas, que representa la distancia del estiramiento antes de la ruptura (Dapčević, Pojić, Hadnađev y Torbica, 2011, p. 343). Se considera que la masa es extensible, cuando se extiende sin romperse.

La masa de harina de trigo (M0T) presentó un valor de 161 mm, siendo el más alto, mientras que el valor más bajo presentó la muestra M3 con 105 mm. La extensibilidad de las mezclas disminuye respecto M0T: en 10,6 % para la mezcla M1, en 24,8 % para la mezcla M2 y en 34,8 % para la mezcla M3. Las muestras presentaron diferencias estadísticamente significativas, excepto M2 y M3.

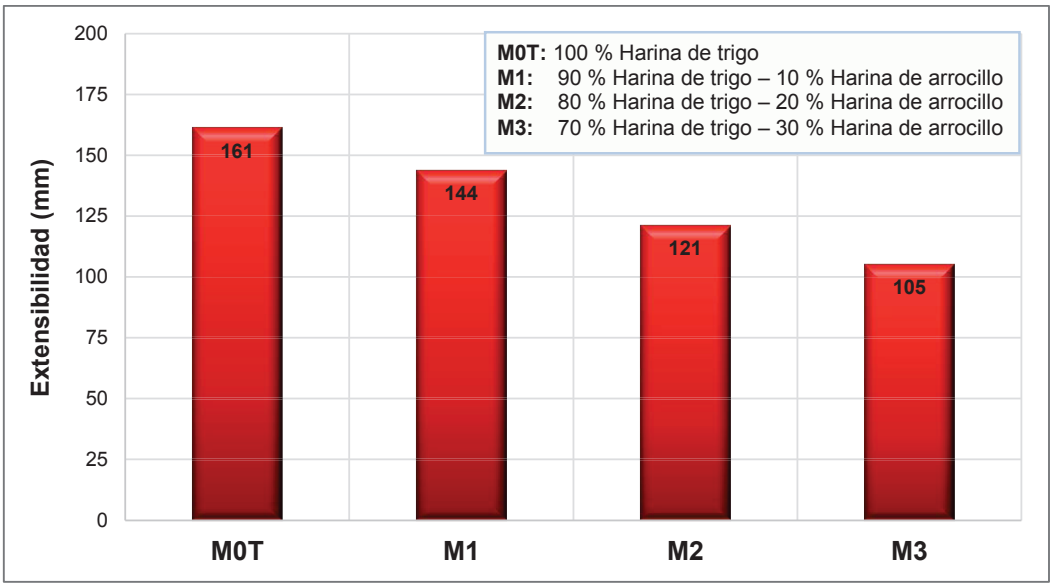


Figura 3.6 Extensibilidad para mezclas de harinas de trigo y arrocillo según pruebas farinológicas

Este comportamiento de las mezclas puede atribuirse a la disminución de las gliadinas (presentes en la harina de trigo) que son las responsables de las propiedades viscosas y la extensibilidad de la masa (Goesaert, Gebruers, Courtin, Brijs y Delcour, 2006, p. 340).

Al ser la extensibilidad la propiedad que permite que la masa crezca, su tendencia decreciente indica que las masas van a disminuir en su tamaño, a medida que se incremente la sustitución parcial de harina de arrocillo en las mezclas.

Esta tendencia decreciente concuerda con los resultados de Jung y Eun (2003) que determinaron la extensibilidad para la harina de trigo y las mezclas de harina de trigo y harina de arroz en porcentajes: 90 - 10 %, 80 - 20 % y 70 - 30 %, que les corresponden valores de 185, 165, 155 y 135 mm, respectivamente (p. 42).

En la Figura 3.7 se observa la resistencia a la extensibilidad a los 50 mm (R_{50}), la resistencia a la extensibilidad en su máxima altura (R_{max}) y la energía.

.

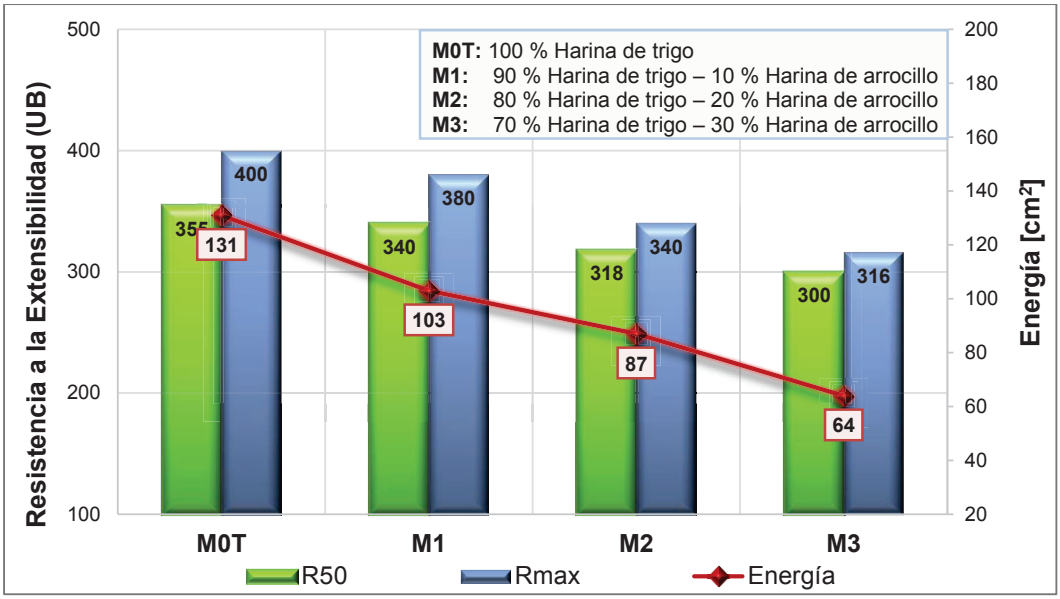


Figura 3.7 Resistencia a la extensibilidad y energía para mezclas de harinas de trigo y arrocillo según pruebas farinológicas

La resistencia a la extensibilidad R_{50}, no presenta diferencias estadísticamente significativas. Respecto a la masa control M0T, disminuye en un 4,22 %, 10,42 %, 15,49 % para las masas M1, M2 y M3, respectivamente.

La resistencia a la extensibilidad R_{max}, presenta diferencias estadísticamente significativas. Respecto a la resistencia R_{50} presenta un incremento del 12,67 %, 11,76 %, 6,92 % y 5,33 % para las masas M0, M1, M2 y M3, respectivamente.

Los resultados obtenidos por Jung y Eun (2003), para la resistencia R_{50} de la harina de trigo y mezclas de harina de trigo con harina de arroz fueron de 365, 345, 330 y 320 UB, siendo similares a los de este estudio (p. 42).

La disminución de R_{50} y R_{max} con el incremento de la harina de arrocillo en las mezclas, se puede atribuir al bajo contenido gluteninas (presentes en la harina de trigo) en las mezclas, y son las que controlan la fuerza y la elasticidad de la masa. Al disminuir las gluteninas, va a decrecer la estabilidad de la red proteíca

enlazada mediante enlaces disulfuro, ocasionando una disminución en la firmeza del pan horneado (Goesaert et al., 2006, p. 340).

Los extensogramas caracterizados por resistencias a la tensión bajas, indican que se obtendrán panes con volúmenes pequeños (Dapčević, Pojić, Hadnađev y Torbica, 2011, p. 343). Por lo que una disminución de la resistencia a la extensibilidad, indicaría que las masas no tendrán gran tolerancia a retener el CO_2 formado durante el proceso de fermentación.

En los extensogramas, el área comprendida bajo la curva corresponde a la energía requerida para estirar la masa hasta su punto de ruptura, de tal forma que se requerirá una mayor energía para una harina fuerte (Dapčević, Pojić, Hadnađev y Torbica, 2011, p. 343).

La Figura 3.7 muestra que la energía disminuye en las mezclas respecto a la muestra control M0T. El valor más alto corresponde a la harina de trigo, duplicando al valor de la muestra M3 que es la mezcla que presenta el menor valor. Todos los valores presentan diferencias estadísticamente significativas. Con estos resultados, se puede interpretar que la harina va perdiendo su fuerza a medida que aumenta el porcentaje de sustitución de harina de arrocillo en las respectivas mezclas M1, M2 y M3.

Los resultados de energía fueron valores similares a los conseguidos por Jung y Eun (2003), para las masas de harina de trigo y las mezclas de harina de trigo con el 10 %, 20 % y 30 % de harina de arroz fueron 155, 120, 99 y 78 cm^2, respectivamente (p. 42).

En general, el comportamiento de los diferentes parámetros farinológicos, de las mezclas M1, M2, M3 y M4, se atribuye al debilitamiento de la masa por la adición de harina de arrocillo. Esto se debe: (a) la presencia de grupos sulfohidrofílicos en el arrocillo, (b) la disminución del contenido de gluten, (c) la competencia por la hidratación del agua, entre las proteínas de la harina de arrocillo y la harina de trigo (Sabanis y Tzia, 2007, p. 73).

3.1.3.3 Fermentogramas

En la Figura 3.8 se puede observar el tiempo de duración de cada período para la producción de 1 000 cm^3 de CO_2, para la harina de trigo (M0T), harina de arrocillo (M0A) y sus respectivas mezclas.

Se puede apreciar en la Figura 3.8 que el mayor tiempo para la producción de CO_2 se da para la harina de arrocillo, mientras que para las mezclas, los tiempos prácticamente coinciden con los de la harina de trigo.

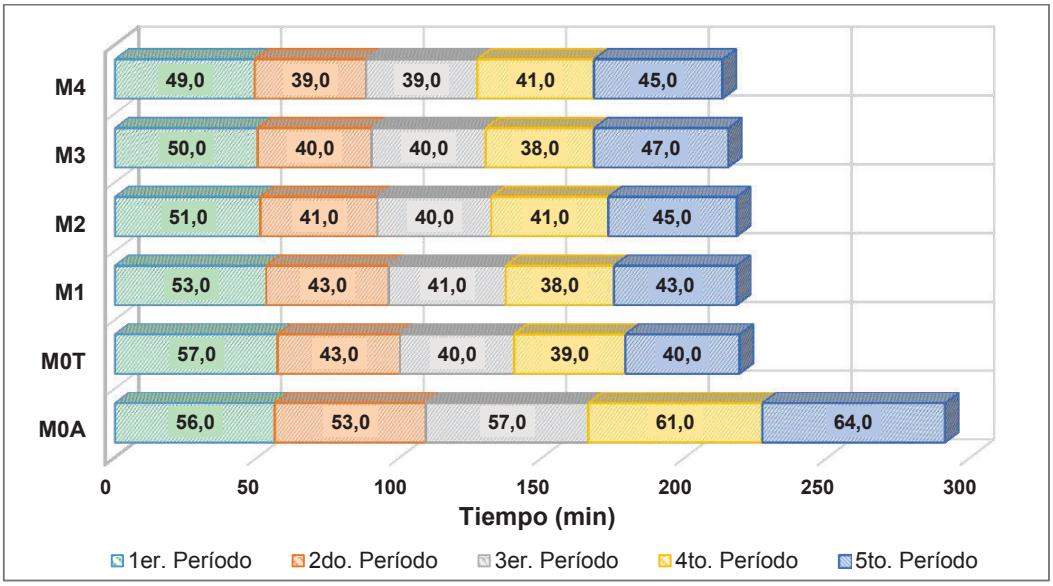


Figura 3.8 Tiempo para producción de 1 000 cm^3 de CO_2 para mezclas de harinas de trigo y arrocillo según pruebas farinológicas

El primer período presenta los mayores tiempos de producción de CO_2 entre los cinco períodos. Los resultados para todas las muestras, no presentan diferencias estadísticamente significativas.

Para el segundo, tercero y cuarto período, el tiempo de producción de CO_2 de la harina de trigo y las mezclas disminuye, en un rango que va desde los 8 a 18 min. Sin embargo, en el quinto período, el tiempo tiende a aumentar acercándose a los valores del primer período. Los resultados para M0T, M1, M2, M3 y M4, en cada período, tampoco presentaron diferencias estadísticamente significativas.

Respecto a la harina de arrocillo el tiempo para la producción de CO_2 aumenta para cada período. Con esto se presume que con el paso del tiempo la masa se va debilitando, lo que implica una reducción en la retención de gas. Pues la ausencia de gluten, no le permite desarrollar una estructura que tenga la capacidad de retener al CO_2 formado durante la fermentación.

Los ensayos fermentográficos son empíricos y permiten medir la capacidad de retención de gas en la masa. Su importancia radica en que influyen en las características del producto final como es la porosidad final de la miga y en la aroma de pan, atribuidos al CO_2 retenido (Pruska-Kędzior et al., 2008, p. 1 524).

3.1.3.4 Amilogramas

En la Figura 3.9 se observa como varían las viscosidades de las pastas en las diferentes etapas, para la harina de trigo, la harina de arrocillo y sus correspondientes mezclas. Para todas las etapas existieron diferencias estadísticamente significativas, y se realizaron las siguientes observaciones:

a. En la etapa de calentamiento desde los 22 ^{o}C hasta los 90 ^{o}C, la harina de arrocillo presenta la mayor viscosidad con 520 UB y la harina de trigo tiene una viscosidad de 160 UB. Las mezclas M1, M2, M3 y M4 tienen una tendencia a disminuir su viscosidad desde 220 a 120 UB.

b. A los 20 min que ha concluido la etapa de mantenimiento a una temperatura constante de 90 ^{o}C, la harina de arrocillo también presentó la viscosidad más alta con 960 UB y harina de trigo disminuye notablemente a 350 UB. Las mezclas tienen un comportamiento creciente desde 370 hasta 480 UB.

c. En la etapa de enfriamiento, cuando alcanza una temperatura de 50 ^{o}C, la harina de arrocillo presentó una viscosidad de 1 600 UB siendo el valor más alto de las muestras. La viscosidad de la harina de trigo disminuye a 460 UB y las mezclas se mantienen en una viscosidad promedio de 515 UB.

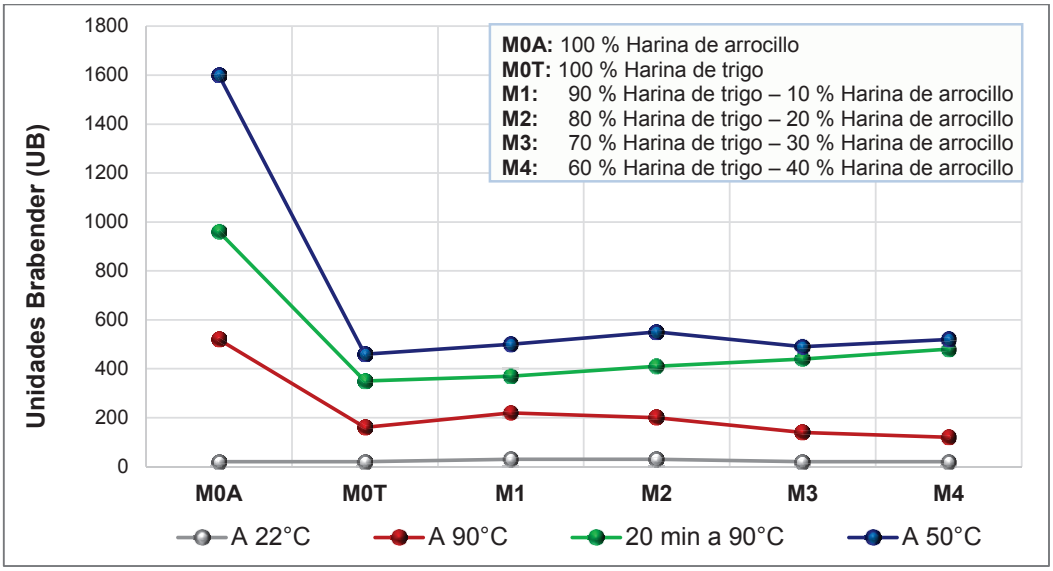


Figura 3.9 Proceso de gelatinización para mezclas de harinas de trigo y arrocillo según pruebas amilográficas

Se concluye que las viscosidades más altas en cada etapa del proceso se presentaron para la harina de arrocillo. Con el incremento de harina de arrocillo en las mezclas, la viscosidad en la etapa de calentamiento disminuye, mientras que en las etapas de mantenimiento y enfriamiento aumentan.

En la Figura 3.10 se observa la temperatura de gelatinización, cuando la curva cruza la viscosidad en 20 UB. La harina de arrocillo difiere en 5 ^{o}C respecto a la harina de trigo. En las mezclas no se evidenció ninguna variación, pues se mantuvieron en los 80 ^{o}C. Los resultados de todas las muestras no presentaron diferencias estadísticamente significativas.

La elevada temperatura de gelatinización y la disminución de las viscosidades a en la etapa de calentamiento, puede atribuirse al alto contenido de amilosa en la harina de arrocillo (Rosell, Brites, Pérez y Gularte, 2007, p. 126). Por ello, se presume que el arrocillo utilizado es un subproducto proveniente una variedad de arroz de grano largo, que se caracteriza por tener mayor contenido de amilosa.

La tendencia creciente de la viscosidad durante la etapa de enfriamiento, es un indicador de retrogradación (Gómez, León y Rosell, 2007, p. 47). Por ello, se

puede afirmar que con el incremento de la harina de arrocillo en las mezclas, la retrogradación también se incrementa.

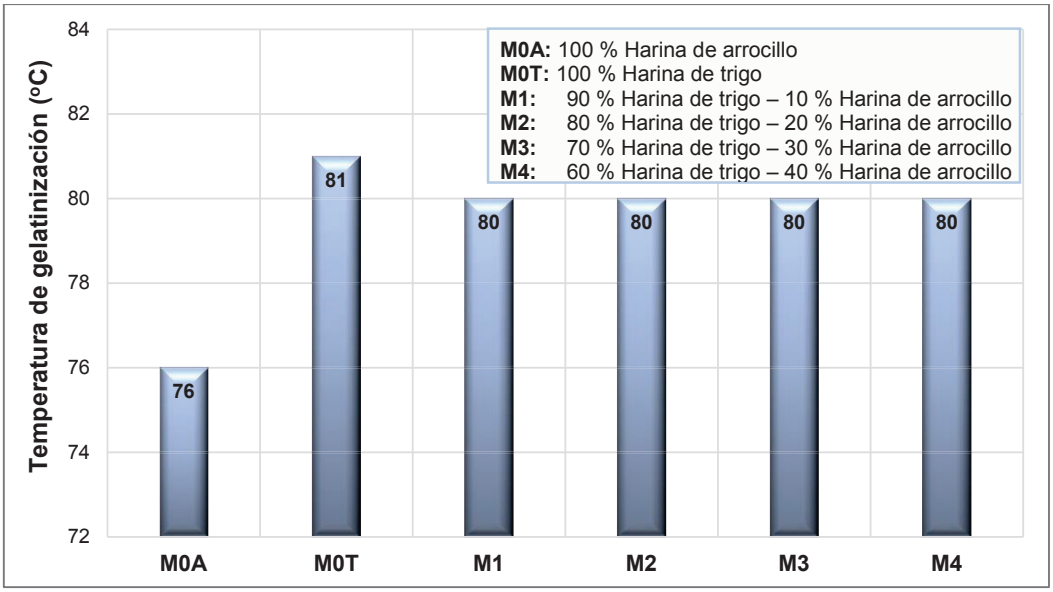


Figura 3.10 Temperatura de gelatinización para mezclas de harinas de trigo y arrocillo según pruebas amilográficas

Al comparar los resultados obtenidos con los que se visualizan en la Tabla 3.6, derivados de la investigación realizada por Jung y Eun (2003), se concluye:

Tabla 3.6. Resultados de amilogramas de otras investigaciones

Muestras*	Temperatura inicial de (°C)	Temperatura en el pico máximo (°C)	Viscosidad en el pico máximo (UB)	Viscosidad a 94 °C (UB)
Control	60,3	90,8	770	690
BR-10	59,5	88,5	585	430
BR-20	59,5	88,8	465	330
BR-30	59,5	88,3	405	255

(Jung y Eun, 2003, p. 41)

*Control: harina de trigo 100 %; BR-10: harina de trigo 00 % + harina de arroz 10
BR-20: harina de trigo 80 % + harina de arroz 20 %; BR-30: harina de trigo 70 % + harina de arroz 30 %

a. La temperatura de gelatinización difiere en alrededor de 20 °C, lo cual puede atribuirse a la variedad de trigo. También en el estudio Jung y Eun utilizaron

como materia prima una harina de arroz negro, mientras que en el presente caso se utilizó arrocillo.

b. Las viscosidades a 94 ^{o}C y en el pico máximo para las mezclas presentan valores mayores a los obtenidos en esta investigación. Lo que puede atribuirse a que en esta investigación, la harina de trigo utilizada presenta una viscosidad menor, y al ser el componente mayoritario de las mezclas, va a influenciar en la viscosidad de las mismas. Además, la medición de la viscosidad es a 90 ^{o}C, y la viscosidad es un parámetro sensible y dependiente de la temperatura.

3.2 EFECTO DEL USO DEL ADITIVO HIDROCOLOIDE CMC (CARBOXIMETILCELULOSA) EN LAS CARACTERÍSTICAS REOLÓGICAS DE MASAS PARA PANIFICACIÓN

Para el análisis funcional y dinámico, se aplicó un diseño factorial de 4 x 3, con 12 tratamientos, que se encuentran detallados en la Tabla 2.4. Los tratamientos que son considerados como control, son aquellos que no poseen aditivo.

3.2.1 ANÁLISIS FUNCIONAL

La relación entre la absorción de agua, el porcentaje de sustitución de harina de arrocillo y el porcentaje de CMC, se representa en la Figura 3.11. La absorción de agua de los tratamientos control T1, T4, T7 y T10 fueron del 68 %, 66,5 %, 65 % y 63 %, respectivamente.

Con la adición del aditivo CMC en sus dos niveles, la absorción de agua se incrementa para cada uno de los tratamientos, así para los tratamientos con 0,5 % de CMC: T2 (70,3 %), T5 (69,2 %), T8 (68,7 %) y T11 (67,3 %). Mientras que, para los tratamientos con el 1 % de CMC, se obtuvo: T3 (72,7 %), T6 (71,3 %), T9 (70,5 %) y T12 (68,8 %).

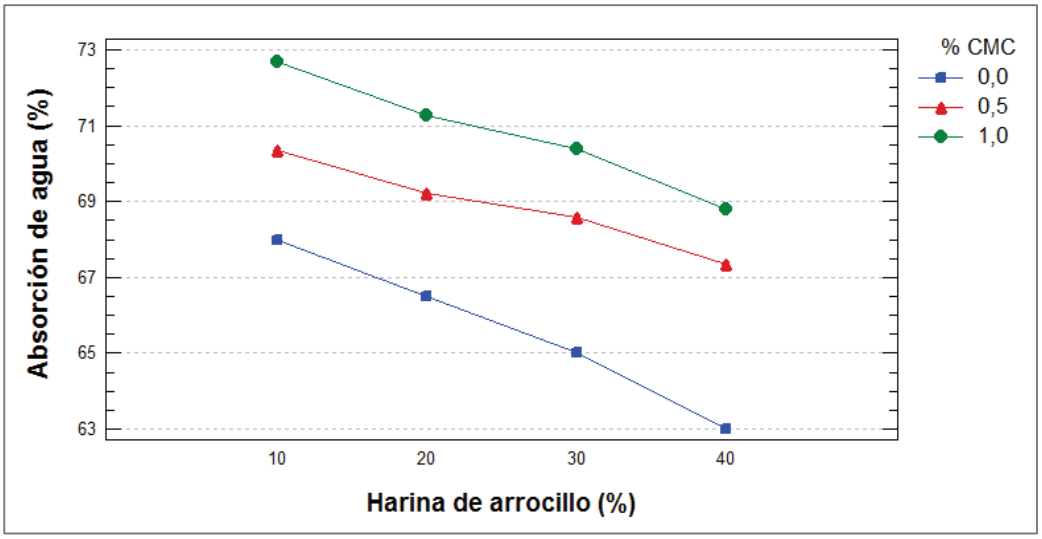


Figura 3.11 Análisis multivariable para la absorción de agua para mezclas de harina-hidrocoloide con respecto al porcentaje de harina de arrocillo

En relación al tratamiento T1 (mezcla con el 90 % de harina de trigo y 10 % de harina de arrocillo), la absorción de agua con 0,5 % de CMC (T2) se incrementó en un 3,4 % y con el 1 % de CMC (T3) aumentó en un 6,9 %.

En relación al tratamiento T4 (mezcla con el 80 % de harina de trigo y 20 % de harina de arrocillo), la absorción de agua con 0,5 % de CMC (T5) se incrementó en un 4,1 % y con el 1 % de CMC (T6) aumentó en un 7,2 %.

Respecto al tratamiento T7 (mezcla con el 70 % de harina de trigo y 30 % de harina de arrocillo), la absorción de agua con 0,5 % de CMC (T8) se incrementó en un 5,7 % y con el 1 % de CMC (T9) aumentó en un 8,5 %.

En relación al tratamiento T10 (mezcla con el 60 % de harina de trigo y 40 % de harina de arrocillo), la absorción de agua con 0,5 % de CMC (T11) se incrementó en un 6,8 % y con el 1 % de CMC (T12) aumentó en un 9,2 %.

De estos resultados se puede concluir que mientras mayor es el porcentaje de sustitución de harina de arrocillo en las mezclas disminuye la absorción de agua, lo cual se puede atribuir al bajo contenido de proteína y la ausencia de gluten en la harina de arrocillo (Sabanis y Tzia, 2007, pp. 69-71).

Momčilović, Nikolić, Mastilović, Sakač, Todorović y Lazic (2008) en su investigación de masas de arroz en diferentes variedades, también concluyen que la absorción de agua disminuye con el aumento de los porcentajes de harina de arroz (p. 43), con lo que se corroboran los resultados obtenidos.

En la Tabla 3.7 se realiza el análisis de varianza para la absorción de agua presentó diferencias estadísticamente significativas para los efectos principales (porcentaje de arrocillo y porcentaje de CMC), y para la interacción de ambos factores, lo cual se evidencia en los valores de P<0,05.

Tabla 3.7. Análisis de varianza para la absorción de agua

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P*
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Porcentaje de arrocillo	75,1831	3	25,0610	191,55	0,0000
B:Porcentaje de CMC	163,1620	2	81,5808	623,55	0,0000
INTERACCIONES					
AB	3,6428	6	0,6071	4,64	0,0029

*Valores en color rojo en la columna presentan diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$).

De los resultados, se observa que al utilizar CMC en las mezclas, la absorción de agua aumenta. Esta tendencia puede atribuirse a que en la estructura del CMC existen grupos carboximetilos, que contribuyen a una mayor presencia de puentes de hidrógeno, por ello, se incrementa la capacidad de retención de agua (Maleki y Milani, 2013, p. 355).

La absorción de agua está correlacionada positivamente con el volumen del pan (De Leyn, 2006, p. 242). Por tanto, a pesar de disminuir la absorción de agua por presencia de harina de arrocillo en las mezclas, este efecto se contrarresta con la adición de CMC, aumentando la absorción de agua y por ende el volumen del pan con aditivo.

En el estudio del efecto de hidrocoloides en la reología de masas de harina de arroz realizado por Lazaridou, Duta, Papageorgiou, Belc y Biliaderis (2007), la cantidad de agua añadida fue de 130 g por cada 100 g de harina de arroz. Con la

adición del 1 % de CMC, la cantidad de agua se incrementó a 140 g por cada 100 g de harina de arroz (p. 1 035), con lo que se ratifica los resultados.

Los resultados del tiempo de llegada, en relación al porcentaje de sustitución de harina de arrocillo y el porcentaje de CMC se presentan en la Figura 3.12. Para las muestras control (mezclas de harina de trigo y harina de arrocillo sin aditivo) no hubo variación y fue de 1,5 min.

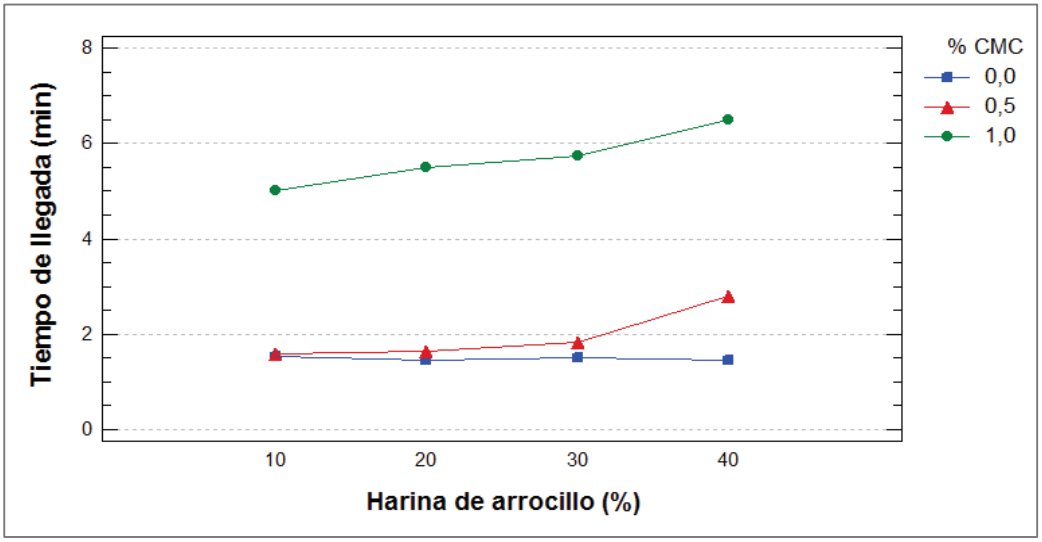


Figura 3.12 Análisis multivariable para el tiempo de llegada para mezclas de harina-hidrocoloide con respecto al porcentaje de harina de arrocillo

Con la adición de CMC en 0,5 %, se observa un mínimo incremento para las mezclas con el 10 %, 20 % y 30 % de harina de arrocillo en un rango de 1,6 a 1,8 min. Para la mezcla con el 40 % de harina de arrocillo se incrementa a 3 min, aproximadamente, duplicándose el tiempo de llegada.

Las muestras con 1 % de CMC, presentaron incrementos en el tiempo de llegada para todas las mezclas, desde 5,0 a 6,5 min. Por lo que cuadriplican a los valores obtenidos para las mezclas sin aditivo.

En la Tabla 3.8 se tiene el análisis de varianza para el tiempo de llegada. Los valores de $P<0,05$, indican que existen diferencias estadísticamente significativas tanto para los efectos principales, como para la interacción de ambos factores.

Tabla 3.8. Análisis de varianza para el tiempo de llegada

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P*
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Porcentaje de arrocillo	3,9564	3	1,3188	20,03	0,0000
B:Porcentaje de CMC	126,4370	2	63,2186	960,28	0,0000
INTERACCIONES					
AB	2,4361	6	0,4060	6,17	0,0005

*Valores en color rojo en la columna presentan diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$).

En la Figura 3.13 se presentan los resultados del tiempo de amasado, en relación al porcentaje de sustitución de harina de arrocillo y el porcentaje de CMC.

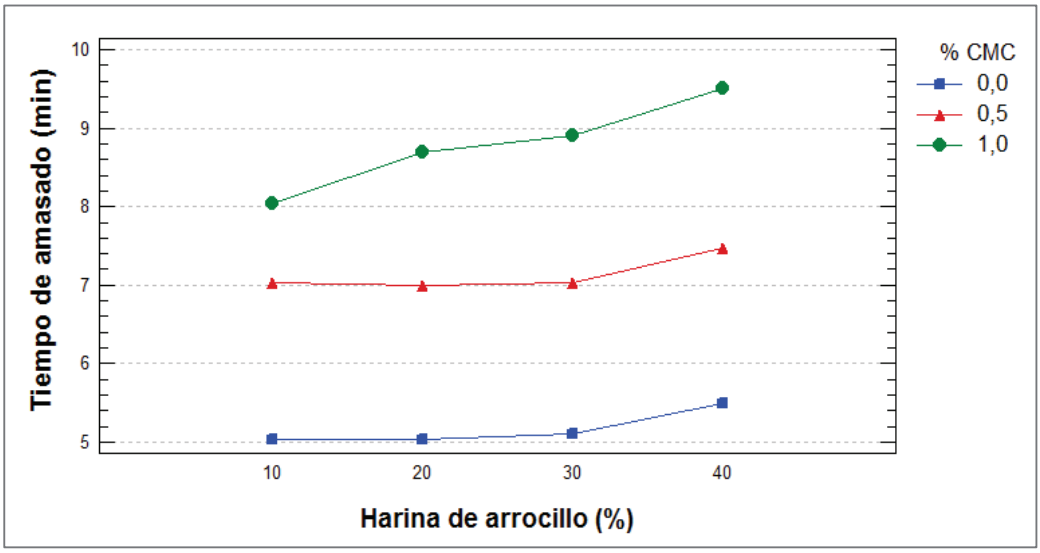


Figura 3.13 Análisis multivariable para el tiempo de amasado para mezclas de harina-hidrocoloide con respecto al porcentaje de harina de arrocillo

Se puede observar que los tratamientos control (T1, T4 y T7) y los tratamientos con 0,5 % CMC (T2, T5 y T8), presentaron el mismo comportamiento. Pues los tiempos de amasado se mantuvieron constantes en 5 y 7 min, respectivamente. Sin embargo, para T10 y T11 existió un incremento en 0,5 min.

Los tiempos de amasado para los tratamientos con 1 % CMC (T3, T6, T9 y T12), mostraron un incremento lineal desde 8 a 9,5 min, conforme el porcentaje de harina de arrocillo también aumentó en los mezclas.

Para los tratamientos con el 10 % de harina de arrocillo, el tiempo de amasado para la mezcla con 0,5 % de CMC (T2) se incrementó en un 40 %, y con el 1 % de CMC (T3) aumentó en un 60 %, respecto a T1.

Para los tratamientos con el 20 % de harina de arrocillo, el tiempo de amasado para la mezcla con 0,5 % de CMC (T5) se incrementó en un 40 %, y con el 1 % de CMC (T6) aumentó en un 56,3 %, respecto a T4.

Para los tratamientos con el 30 % de harina de arrocillo, el tiempo de amasado para la mezcla con 0,5 % de CMC (T8) se incrementó en un 40 %, y con el 1 % de CMC (T9) aumentó en un 78 %, respecto a T7.

Para los tratamientos con el 40 % de harina de arrocillo, el tiempo de amasado para la mezcla con 0,5 % de CMC (T11) se incrementó en un 36,4 %, y con el 1 % de CMC (T12) aumentó en un 72,7 %, respecto a T10.

El análisis de varianza para el tiempo de amasado se observa en la Tabla 3.9. Tanto para los efectos principales como para la interacción de ambos factores, $P<0,05$, por tanto presentaron diferencias estadísticamente significativas.

Tabla 3.9. Análisis de varianza para el tiempo de amasado

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P*
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Porcentaje de arrocillo	3,2811	3	1,0937	20,61	0,0000
B:Porcentaje de CMC	77,7339	2	38,8669	732,57	0,0000
INTERACCIONES					
AB	1,2306	6	0,2051	3,87	0,0077

*Valores en color rojo en la columna presentan diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$).

En general se observa que los tiempos de amasado aumentan con la harina de arrocillo y la dosis de CMC. Este comportamiento puede atribuirse a las diferencias en la matriz formada en presencia de CMC, que por su gran capacidad de retención de agua, requieren de mayor tiempo para la desnaturalización e hidratación de las proteínas y por tanto para la formación de la red de gluten.

Los resultados del tiempo de estabilidad, respecto al porcentaje de sustitución de harina de arrocillo y el porcentaje de CMC se presentan en la Figura 3.14.

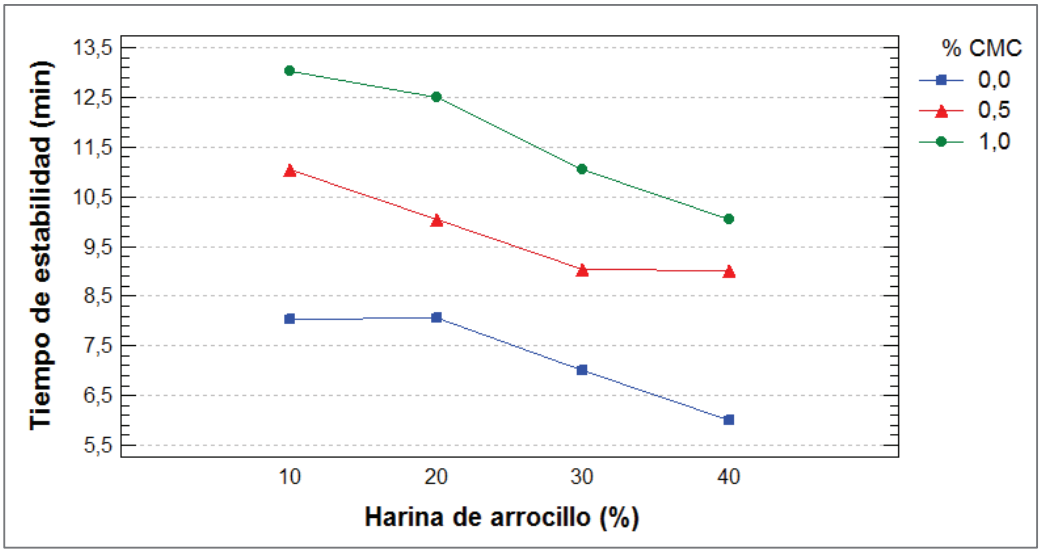


Figura 3.14 Análisis multivariable para el tiempo de estabilidad para mezclas de harina-hidrocoloide con respecto al porcentaje de harina de arrocillo

Las muestras control (T1, T4, T7 y T10) presentaron los menores valores, en un rango de 8 a 6 min. Mientras que para los tratamientos con 0,5 % de CMC (T2, T5, T8 y T11), aumentan entre 2 y 3 min y los tratamientos con 1 % de CMC (T3, T6, T9 y T12), entre 4 y 5 min.

En la Tabla 3.10, se observa el análisis de varianza para el tiempo de estabilidad. Tanto para los efectos principales como para la interacción de ambos factores, P<0,05, por tanto presentaron diferencias estadísticamente significativas.

Tabla 3.10. Análisis de varianza para el tiempo de estabilidad

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P*
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Porcentaje de arrocillo	31,0322	3	10,3441	104,90	0,0000
B:Porcentaje de CMC	116,5440	2	58,2719	590,93	0,0000
INTERACCIONES					
AB	2,6628	6	0,4438	4,50	0,0034

*Valores en color rojo en la columna presentan diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$).

La estabilidad de la masa es un valor que indica la toleracia al mezclado de la harina. Por lo que el aumento de la sutitución parcial de harina de arrocillo, provoca la baja estabilidad de la masa y consecuentemente su tolerancia al mezclado. Sin embargo, la adición de CMC permite que las masas de las mezclas de harina de trigo y harina de arrocillo, se comporten más tolerantes al mezclado, lo que se evidencia en el incremento de los tiempos de estabilidad.

Los resultados se corroboran a los obtenidos por Guarda, Rosell, Benedito y Galotto (2004) en su estudio de hidrocoloides como agentes mejorantes y antienvejecimiento en el pan. Donde se aplicaron dosis de 0,1 % y 0,5 % de goma xathan, alginate y HPMC, obteniendo un aumento en la absorción de agua y el tiempo de estabilidad, con el incremento en la dosis de los aditivos (p. 243).

3.2.2 ANÁLISIS DINÁMICO

3.2.2.1 Región lineal

Para obtener la región lineal se realizó una prueba de barrido de deformación para todas las mezclas. Sin embargo, en la Figura 1.12, sólo se muestran para las mezclas de harina de trigo y harina de arrocillo con 1 % de CMC, pues no existió variación en los rangos para los tratamientos sin aditivo y con 0,5 % de CMC.

Se determinó la región viscoelástica lineal, definida entre los valores de deformación, en los cuales los módulos de almacenamiento y de pérdida prácticamente se mantienen constantes, lo cual significa que dentro de este rango no colapsará la estructura de la masa (Correa, 2012, p. 126).

Para los tratamientos con 1 % de CMC (T3, T6, T9 y T12), el rango de viscoelasticidad en la curva del módulo de almacenamiento, comprende desde 0,0016 % a 0,25 % de deformación relativa. Mientras que para la curva del módulo de pérdida, el rango de viscoelasticidad es mayor pues comprende desde 0,0016 % a 0,5 % de deformación relativa.

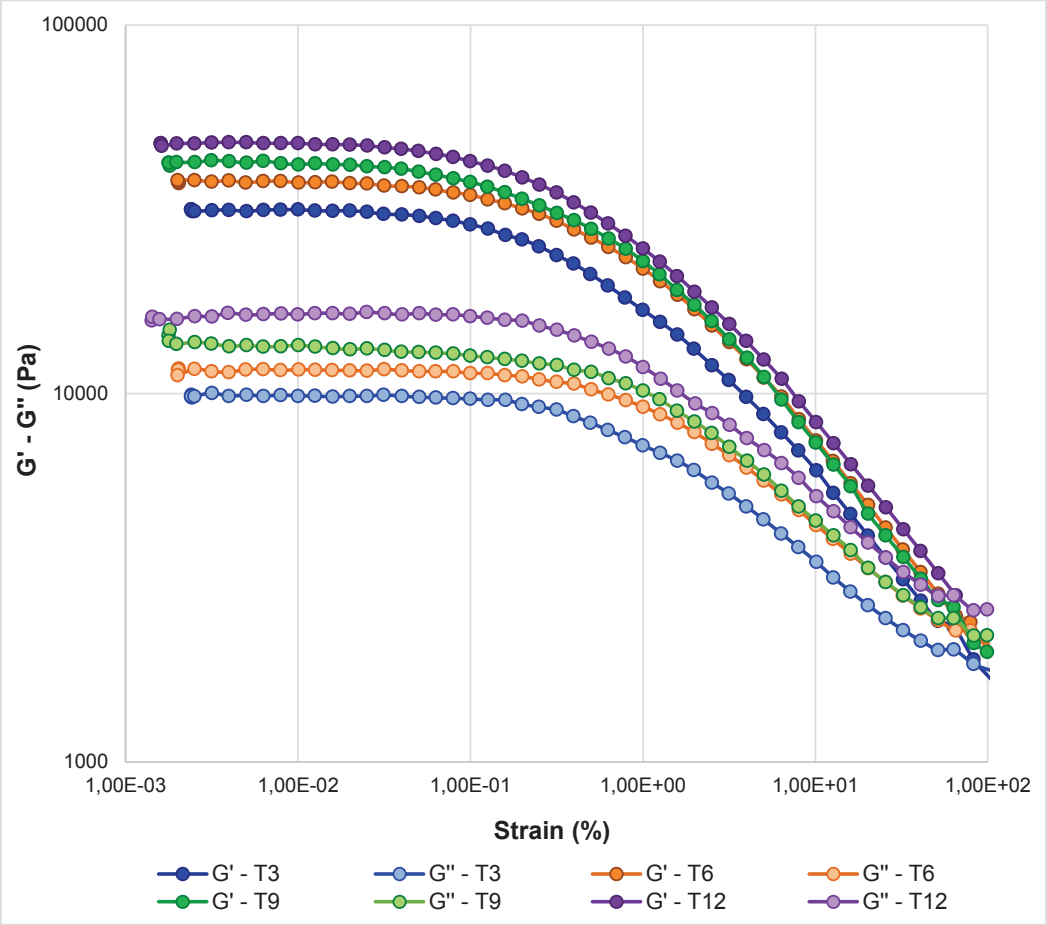


Figura 3.15 Espectro mecánico para las mezclas de harina de trigo y harina de arrocillo con el 1 % CMC

Correa (2012) determinó que la región de viscoelásticidad lineal disminuye con la presencia de hidrocoloides. Lo que indica el colapso de las estructuras de las masas a deformaciones menores, presentando un comportamiento más débil que aquellas masas que tienen mayores rangos de deformación (p. 169). Por lo anterior y con los resultados obtenidos, se presume que las masas de las mezclas de harina de trigo y harina de arrocillo, se debilitan con la presencia de CMC.

En el estudio de Magaña-Barajas et al. (2009), para la caracterización viscoelésticas de masas de trigos realizaron un barrido de deformación. Encontraron la región viscoelástica llamada también estabilización de la muestra que va desde 0,01 % a 0,5 % de deformación relativa, con lo cual se corrobora los resultados obtenidos en el presente estudio (pp. 16-17).

3.2.2.2 Módulo de almacenamiento, módulo de pérdida y ángulo de desfase

Partiendo de la región viscoelástica establecida, se escogió un punto, donde se determinó los módulos de almacenamiento y pérdida. Para esta investigación se estableció una deformación relativa del 0,01 % para los diferentes tratamientos.

En la Figura 3.16 se observa la variación de los módulos de almacenamiento (G') para los tratamientos, que incrementan su valor con el aumento del porcentaje de harina de arrocillo, pero disminuyen con la dosis de CMC.

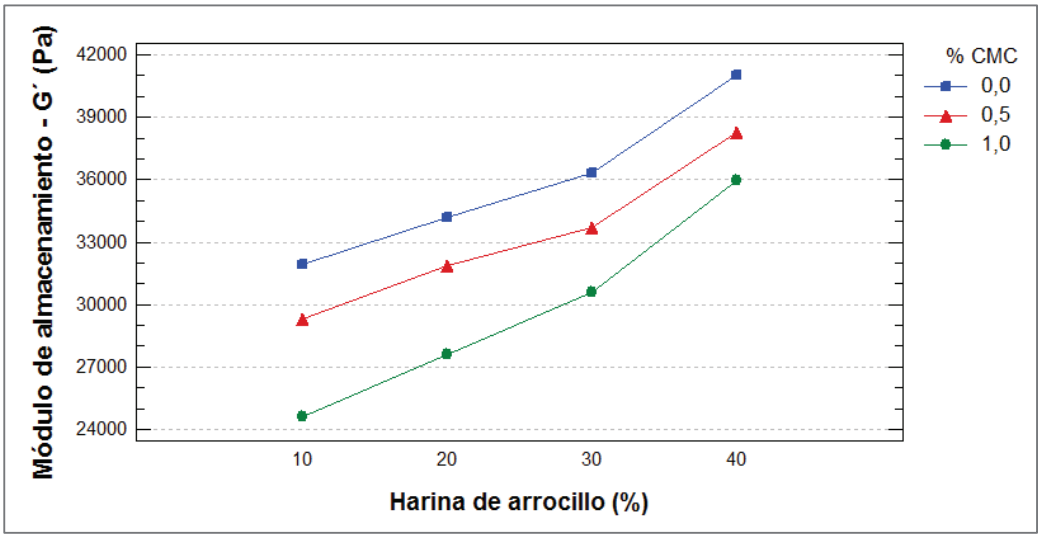


Figura 3.16 Análisis multivariable para el módulo de almacenamiento (G') para las mezclas de harina de trigo, harina de arrocillo y CMC

El valor más bajo de G', lo presentó el tratamiento T3 (menor porcentaje de harina de arrocillo y mayor porcentaje de CMC). Mientras que el valor más alto le corresponden al tratamiento T10 (mayor porcentaje de harina de arrocillo y menor porcentaje de CMC). Este comportamiento se atribuye a la mayor presencia de gluteninas en la red de gluten de las mezclas, lo que se evidencia en el incremento del módulo elástico de las mismas.

Para las mezclas con el 10 % de harina de arrocillo, el módulo de almacenamiento disminuye en un 8,1 % para el tratamiento T2, y en 22,8 % para el tratamiento T3, respecto al tratamiento T1.

Para las mezclas con el 40 % de harina de arrocillo, el módulo de almacenamiento decrece en un 6,6 % para el tratamiento T11, y en 12,4 % para el tratamiento T12, respecto al tratamiento T10.

En la Tabla AXII.1 del ANEXO XII, se observa el análisis de varianza para el módulo de almacenamiento que presentó diferencias estadísticamente significativas para los factores del porcentaje de harina de arrocillo y CMC.

En la Figura 3.17 se observa la variación de los módulos de pérdida (G'') para los diferentes tratamientos. Existió un aumento de G'' tanto con el incremento del porcentaje de harina de arrocillo y con la dosis de CMC.

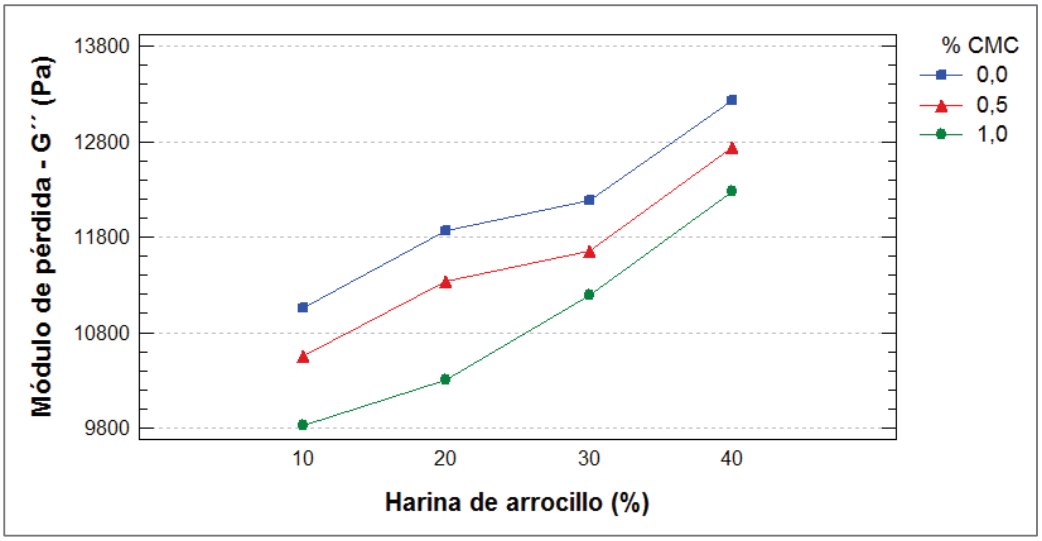


Figura 3.17 Análisis multivariable para el módulo de pérdida (G'') para las mezclas de harina de trigo, harina de arrocillo y CMC

El módulo de pérdida presentó el mismo patrón de comportamiento que el módulo de almacenamiento, pues se incrementó con el porcentaje de harina de arrocillo y disminuyó con la dosis de CMC. Sin embargo, todos los valores del G'' fueron menores (disminuyeron alrededor de 2,5 veces) respecto al G'.

Que los módulos de almacenamiento sean mayores que los módulos de pérdida, sugiere que las masas de las mezclas de harina de trigo y harina se arrocillo, poseen el comportamiento de un sólido elástico (Gujral y Rosell, 2004, p. 78).

En la Tabla AXII.2 del ANEXO XII, se presentan el análisis de varianza para el módulo de pérdida. Existieron diferencias estadísticamente significativas para los factores del porcentaje de harina de arrocillo y CMC.

El incremento de módulos de G' y G'', puede atribuirse a la diferencia entre la interacción del almidón-gluten en las harinas compuestas y la interacción en la masa de trigo puro. Esto sucede debido a que los gránulos de almidón en la masa actúan como un relleno que refuerza el gluten, produciendo fuertes enlaces (Sivaramakrishnan, Senge y Chattopadhyay, 2004, p. 41).

La diferencia entre las masas de trigo y arroz, se debe al gluten, que es el responsable de la cohesividad y viscoelasticidad las masas. De ahí, que la ausencia de esta red proteíca en la masa de arroz, evita la formación de una estructura viscoelástica fuerte. Sin embargo, el uso de hidrocolloides puede incrementar significativamente los módulos elástico y viscoso de las masas de harina de arroz (Demirkesen, Mert, Sumnu y Sahin, 2010, p. 299).

Los resultados obtenidos se confirman con los conseguidos por Sivaramakrishnan et al. (2004) en su estudio sobre las propiedades reológicas de masas de arroz. Donde se aplicó una prueba de barrido de frecuencia desde 0,1 a 20 Hz con una deformación relativa del 1 %. Encontraron que los módulos de almacenamiento y pérdida son más altos para las mezclas de 50 % de harina de trigo y 50 % harina de arroz, que para la muestra de harina de trigo (p. 41).

La Figura 3.18 muestra como varía la tangente del ángulo de desfase para los tratamientos. En la Tabla AXII.3 del ANEXO XII, se muestra el análisis de varianza, y no existieron diferencias estadísticamente significativas entre los factores (harina de arrocillo y CMC) ni en la interacción de los mismos.

La tangente del ángulo de desfase (tan δ) se obtiene a partir de la relación de G'/G''. Cuando toma el valor de 0 (δ=0°) hace referencia a un material elástico, mientras que si toma un valor de 1 (δ= 90°) se trata de un material viscoso (Magaña-Barajas, et al., 2009, p. 17).

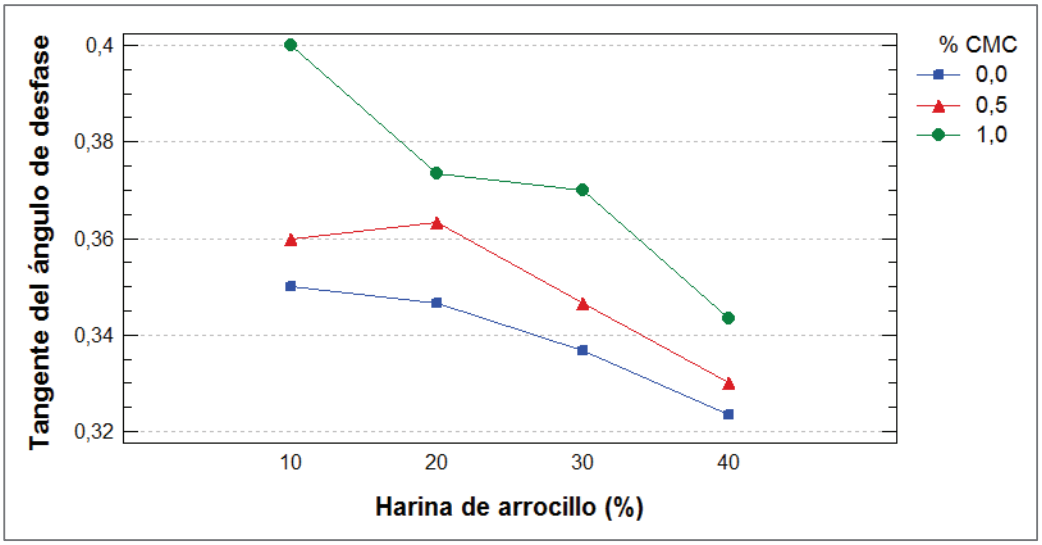


Figura 3.18 Análisis multivariable para la tangente del ángulo de desfase (tan δ) para las mezclas de harina de trigo, harina de arrocillo y CMC

Se evidencia que la tangente del ángulo de desfase disminuyó con la presencia de harina de arrocillo; sin embargo, se incrementó con la adición de CMC. Los valores obtenidos para todos los tratamientos, varían en un rango de 0,32 a 0,40. Con lo cual indica que las masas tienen una tendencia hacia un comportamiento viscoso para los tratamientos sin aditivo y con 0,5 y 1,0 % de CMC.

Este comportamiento se puede atribuir a la presencia del CMC, pues su adición origina cambios en la estructura de las masas, dándole mayor consistencia y capacidad de retención de agua. Esto ocasiona que las masas tengan un comportamiento más viscoso respecto a las masas control que no poseen aditivo (Correa, 2012, p. 170).

Los resultados son compatibles con los obtenidos por Correa (2012) que encontró que la tangente del ángulo de desfase para diferentes variedades de trigo se incrementa con la dosis de hidrocoloides en un rango de 0,3 a 0,42 (pp. 170-171).

Magaña-Barajas et al. (2009), encontraron que para harinas que proceden de variedades de trigo suave, la tangente del ángulo de desfase es próxima a 0,53. Esto afirma que el comportamiento predominante en este tipo de masas es el viscoso antes que el elástico (pp. 16-17).

También Song y Zheng (2007) encontraron los valores de la tangente del ángulo de desfase en función de la calidad del gluten, sugiriendo el siguiente orden para tan δ: gluten débil > gluten fuerte > gluten extra fuerte. Para los módulos G' y G'' indicaron que la tendencia que presentan es inversa (p. 132).

Que las masas sean más o menos viscosas o elásticas, dependen de la relación entre las gliadinas y gluteninas, que son las principales fracciones proteícas del grano de trigo. Pues las primeras conceden viscosidad y las segundas elasticidad, de ahí que la relación entre ambas definen el tipo de comportamiento de la masa (Magaña-Barajas, et al., 2009, p. 18).

En panificación la harina utilizada es proveniente de variedades de trigo fuerte, que se caracteriza por tener tangentes del ángulo de desfase bajas. Esto se debe a que en redes de gluten fuerte, la presencia de gluteninas es dominante. No sucede lo mismo en las harinas de trigo suave, donde predominan las gliadinas, haciendo que las masas sean más viscosas (Magaña-Barajas, et al., 2009, p. 18).

3.3 ESTUDIO DE LAS VARIABLES EN EL PROCESO DE PANIFICACIÓN

3.3.1 DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA

La cantidad de agua se determinó mediante el porcentaje de absorción de agua obtenida de los farinogramas, cuyos resultados se presentan en la Figura 3.19.

En las muestras que no tienen aditivo como en las que poseen el 0,5 y 1,0 % de CMC, disminuyó la absorción de agua con el incremento del porcentaje de harina de arrocillo.

Los tratamientos control T1, T4, T7 y T10 que no poseen aditivos, presentaron los valores más bajos, mientras que en los que se incorpora el aditivo CMC, el porcentaje de absorción se incrementó notoriamente.

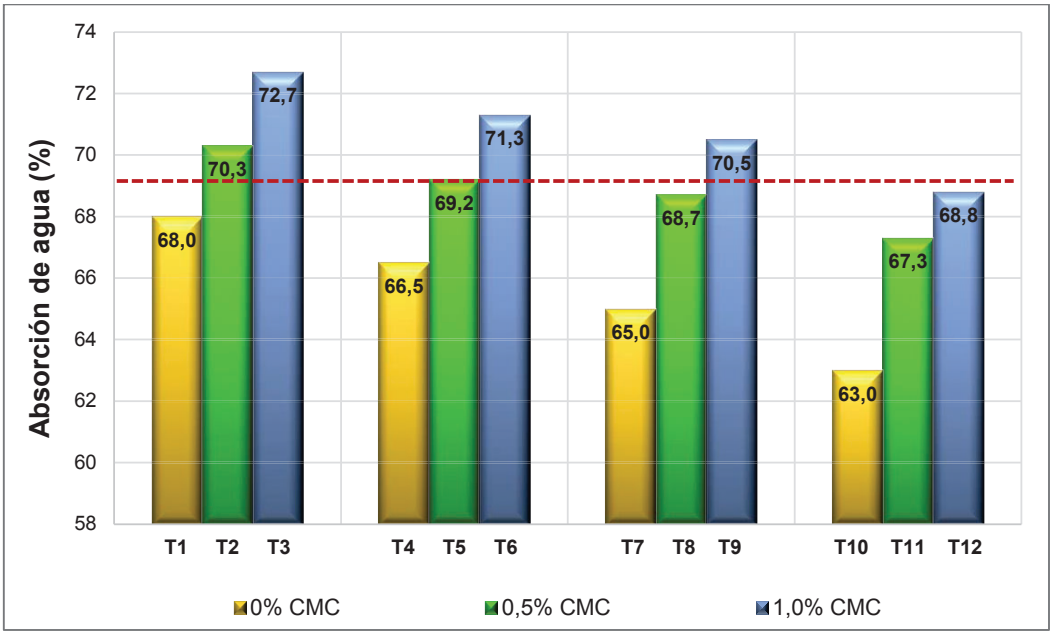


Figura 3.19 Absorción de agua para mezclas de harinas de trigo y arrocillo en diferentes porcentajes de CMC según pruebas farinológicas

Este comportamiento se explica debido a que el arroz no tiene un agente ligante, por tanto no existió una absorción de agua significativa. Además la harina de arroz tiene un sistema con estructura definida, careciendo de la presencia de fuerzas repulsivas entre los gránulos de almidón (Sivaramakrishnan, Senge y Chattopadhyay, 2004, p. 41).

3.3.2 DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE AMASADO

Los resultados de tiempo de amasado se presentan en la Figura 3.20, para los tratamientos con y sin aditivo. Para la muestra control T0 es de 5,0 min y para los tratamientos que no poseen aditivo permanecieron constantes, exceptuando el tratamiento T10 que se incrementa a 5,5 min.

Cuando se adiciona el 0,5 % CMC a las muestras originales, los tiempos de amasado se incrementaron 2,0 min. Con el 1,0 % CMC, el tiempo de amasado aumentó respecto a las muestras control sin aditivo, así para T3 en 3,0 min, para T6 en 3,7 min, para T9 en 3,9 min y para T12 en 4,0 min.

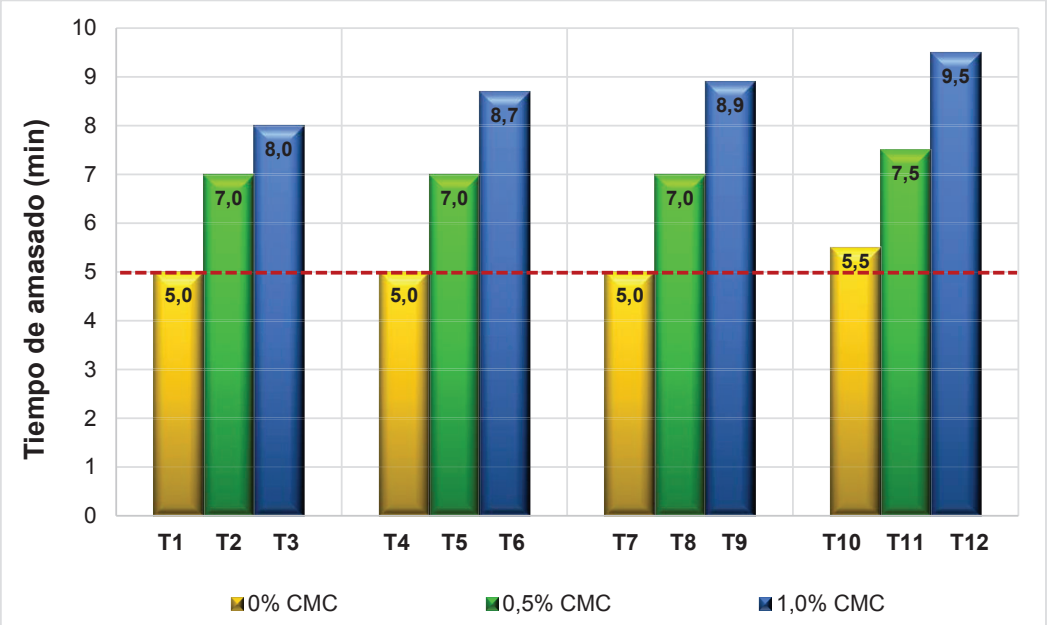


Figura 3.20 Tiempo de amasado para mezclas de harinas de trigo y arrocillo en diferentes porcentajes de CMC según pruebas farinológicas

Se concluye que el tiempo de amasado aumentó con la presencia de CMC y el porcentaje de sustitución de harina de arrocillo. Sin embargo, para los tratamientos sin CMC, el tiempo de amasado no cambió significativamente. Esto se debe a la ausencia de una buena estructura de red proteica en las formulaciones con harinas pobres en gluten, resultando masas con baja resistencia ante acciones mecánicas.

3.3.3 DETERMINACIÓN DE LA CINÉTICA Y TIEMPO DE FERMENTACIÓN

La cinética de fermentación se investigó midiendo la variación del volumen de las masas en función del tiempo, conforme a la ecuación [3.1]. Esta ecuación describe una sigmoide y ha sido muy utilizada para modelos de crecimiento.

$$\Delta V = a_f \times [1 - e^{-b_f \times t_f}]^{c_f} \qquad [3.1]$$

Donde: (ΔV) es el incremento del volumen, (t_f) es el tiempo de fermentación y (a_f, b_f y c_f) son los parámetros estadísticos a ser ajustados

Por lo anterior, se planteó este modelo matemático para el estudio de la fermentación en los diferentes tratamientos, cuyo desarrollo y resultados se encuentran detallados en el ANEXO XI.

A partir de los datos obtenidos, se graficaron las curvas experimentales con tres repeticiones. Mediante un procedimiento iterativo, se obtuvieron los parámetros estadísticos (af, bf y cf) para graficar las curvas teóricas.

En la Figura 3.21, se presentan las curvas teóricas de la variación del volumen en función del tiempo, para los tratamientos T1, T4, T7 y T10 y la muestra control T0. La variación de volumen decreció con el incremento de sustitución parcial de harina de arrocillo. De tal forma, que ordenándolos de mayor a menor volumen de las masas se tiene: T1 > T4 > T7 > T10, donde el porcentaje de harina de arrocillo es del 10 %, 20 %, 30 % y 40 %, respectivamente. Sin embargo, ningún tratamiento superó a la muestra control T0.

En la Figura 3.22 se presentan las curvas teóricas de la variación del volumen en función del tiempo, para los tratamientos con 0,5 % de CMC, T2, T5, T8 y T11 y la muestra control T0. Las muestras T2 y T5 incrementaron la variación de volumen, mientras que T8 y T11 disminuyeron la variación de su volumen, respecto al tratamiento T0.

La Figura 3.23 se presentan las curvas teóricas de la variación del volumen en función del tiempo, para los tratamientos con 1 % de CMC T3, T6, T9 y T12 y la muestra control T0. Las muestras T3 y T6 incrementaron la variación de volumen, mientras que la muestra T12 disminuyó la variación de volumen, respecto al tratamiento T0. La muestra T9 prácticamente presentó el mismo comportamiento que la muestra control T0.

Las muestras con el 10 % y 20 % de harina de arrocillo (T2, T3, T5, T6) superaron el límite de la muestra control. Las muestras con 30 % y 40 % de harina de arrocillo (T8, T9, T11, T12), aunque no lograron superar este límite, también sufrieron un incremento, lo que se atribuye a la adición del hidrocoloide CMC.

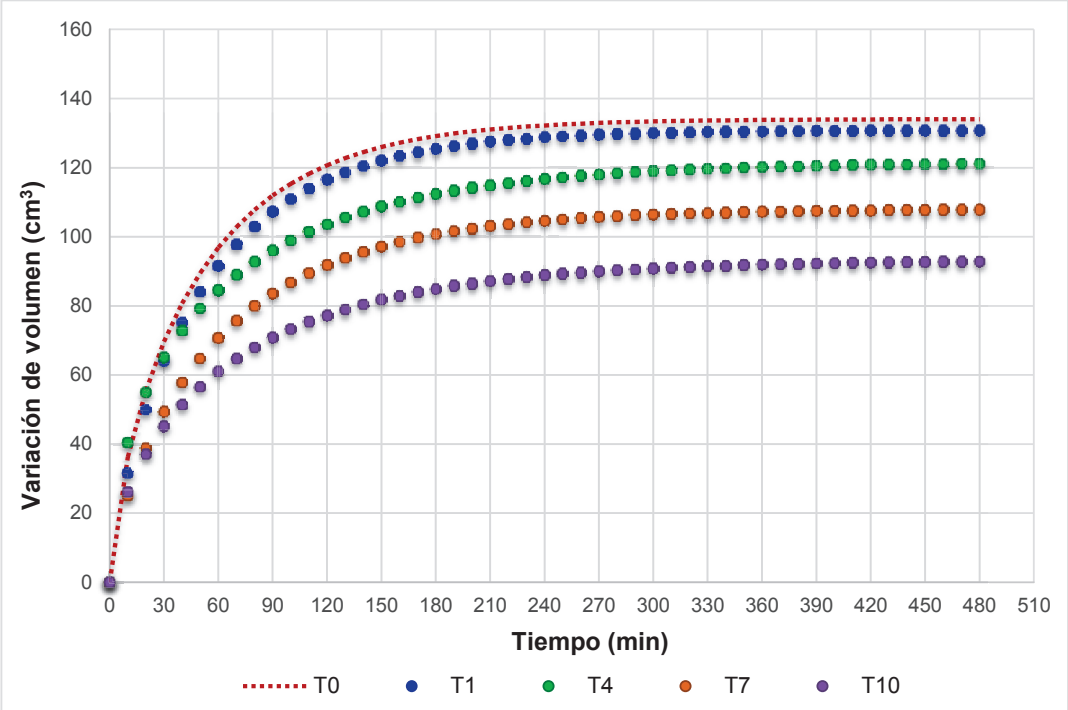


Figura 3.21 Curvas teóricas de fermentación de las masas de panificación con mezclas de harina de trigo y harina de arrocillo

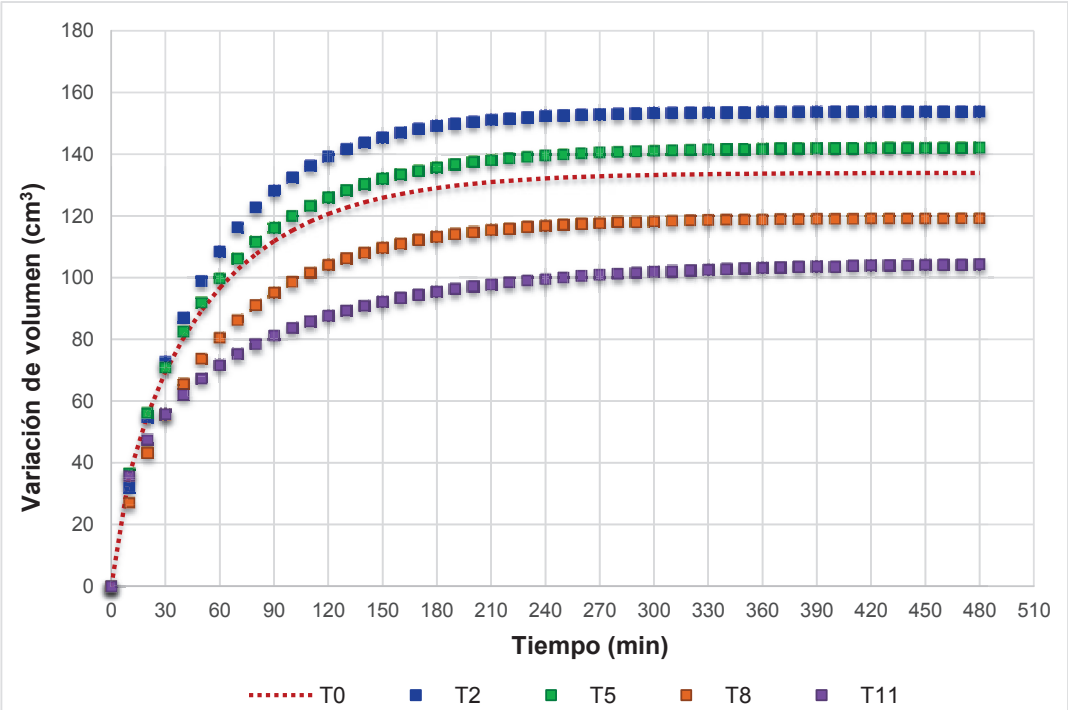


Figura 3.22 Curvas teóricas de fermentación de las masas de panificación con mezclas de harina de trigo, harina de arrocillo y 0,5 % CMC

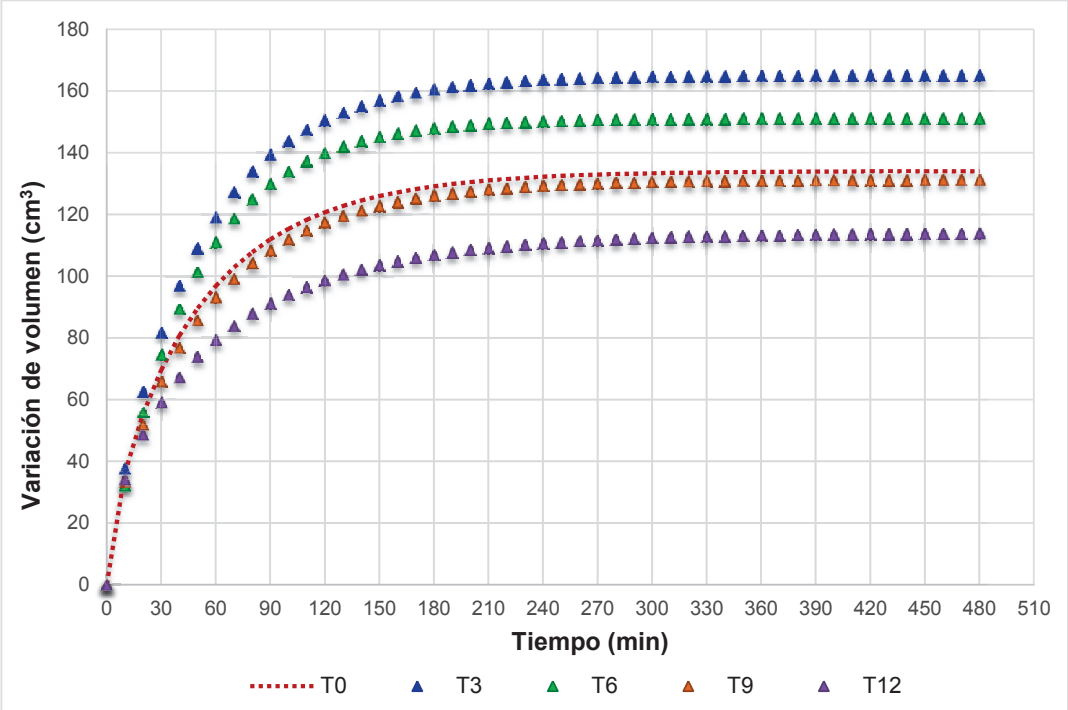


Figura 3.23 Curvas teóricas de fermentación de las masas de panificación con mezclas de harina de trigo, harina de arrocillo y 1,0 % CMC

Por tanto, se concluye que los tratamientos sin aditivo presentan menores variaciones de volumen que la muestra de harina de trigo, mientras que todas muestras con CMC presentan incrementos en la variación de volumen.

Los parámetros estadísticos a_f, b_f y c_f, al igual que los resultados obtenidos se tabulan en la Tabla 3.11. Se observa que en los tratamientos existieron diferencias estadísticamente significativas.

El parámetro a_f corresponde al valor del máximo volumen alcanzado por cada muestra. Los valores más altos corresponden a los tratamientos T2 y T3 con 153,88 y 165,11 cm^3, respectivamente, mientras que los valores más bajos son para los tratamientos T10 y T11 con 93,17 y 104,93 cm^3, respectivamente.

Respecto a la muestra control que fue la masa con 100 % harina de trigo (T0), T2 se incrementó en un 14,2 % y T3 en un 23,2 %, lo cual se atribuye a la adición del CMC y también que estas mezclas cuentan con el 90 % de harina de trigo.

La muestra T10 y T11 decrecieron en un 30,5 y 21,7 %, respectivamente. Lo que se debe a que estas mezclas están constituidas con apenas el 60 % de harina de trigo, y la calidad para la formación de la red de gluten se ve afectada por la presencia de la harina de arrocillo, a pesar que el CMC busca compensar este problema.

Al realizar la regresión de las diferentes curvas se obtuvieron correlaciones que van en un rango desde 0,9738 a 0,9951, como se puede observar en la Tabla 3.11, lo que permite que estos datos sean reproducibles a nivel industrial.

Respecto a los tiempos de fermentación obtenidos, las muestras que no poseen aditivos mostraron una tendencia de crecimiento a medida que se aumentó el porcentaje de harina de arrocillo en las mezclas. Los tratamientos presentaron diferencias estadísticamente significativas de acuerdo al Test de Tukey.

Para los tratamientos que poseen CMC, los tiempos de fermentación tienden a disminuir con el aumento de CMC. Sin embargo, a pesar de la adición de CMC, este tiempo presenta una relación directamente proporcional con el incremento del porcentaje de harina de arrocillo.

La cinética de fermentación está determinada por la velocidad inicial de crecimiento, que corresponde a la pendiente de la región lineal dentro de la primera hora. Para las mezclas de harina de trigo y harina de arrocillo, con o sin CMC, comprende un rango desde 0,978 a 2,01 cm^3/min. Los tratamientos no presentaron diferencias estadísticamente significativas según el Test de Tukey.

Al comparar las velocidades iniciales de fermentación de las diferentes mezclas respecto al de la muestra control (T0) que es de 1,47 cm^3/min, se puede apreciar que hay velocidades menores y mayores.

Las velocidades menores sugieren probablemente que el sustrato presente en el medio se agotó con mayor facilidad. Las velocidades mayores podrían estar ligadas a la existencia de una cantidad extra de sustrato (Correa, 2012, p. 142).

Tabla 3.11. Parámetros obtenidos de las curvas de fermentación

Tratamientos		a_f (cm^3)	b_f (min)	c_f	r^2	t_f (min)	Vo (cm^3/min)
T0	100 % HT	134,04^{ef} ± 3,30	0,0163^{def} ± 0,0012	0,6901^{b} ± 0,0383	0,9774	66,13^{ab} ± 5,35	1,47^{ab} ± 0,03
T1	90 % HT 10 % HA 0,0 % CMC	130,79^{de} ± 4,11	0,01617^{def} ± 0,0010	0,7476^{bc} ± 0,0392	0,9887	70,67^{abcd} ± 2,10	1,82^{ab} ± 0,04
T2	90 % HT 10 % HA 0,5 % CMC	153,88^{i} ± 3,92	0,0187^{efg} ± 0,0015	0,8852^{d} ± 0,0374	0,9899	68,90^{abc} ± 4,61	2,01^{ab} ± 0,04
T3	90 % HT 10 % HA 1,0 % CMC	165,11^{j} ± 1,71	0,0189^{fg} ± 0,0008	0,8386^{cd} ± 0,0512	0,9995	65,60^{ab} ± 0,61	1,38^{ab} ± 0,03
T4	80 % HT 20 % HA 0,0 % CMC	121,46^{cd} ± 3,81	0,0105^{ab} ± 0,0009	0,4773^{a} ± 0,0258	0,9951	75,67^{bcde} ± 5,38	1,64^{ab} ± 0,03
T5	80 % HT 20 % HA 0,5 % CMC	142,15^{fg} ± 3,88	0,0153^{cde} ± 0,0015	0,6967^{b} ± 0,0378	0,9842	70,93^{abcd} ± 4,20	1,80^{ab} ± 0,03
T6	80 % HT 20 % HA 1,0 % CMC	151,05^{hi} ± 4,83	0,0212^{g} ± 0,0014	0,9355^{d} ± 0,0747	0,9914	62,87^{a} ± 3,76	1,11^{ab} ± 0,03
T7	70 % HT 30 % HA 0,0 % CMC	107,87^{b} ± 3,02	0,0132^{bcd} ± 0,0012	0,6987^{b} ± 0,0178	0,9899	82,80^{de} ± 5,57	1,33^{ab} ± 0,03
T8	70 % HT 30 % HA 0,5 % CMC	119,34^{c} ± 3,01	0,0150^{cd} ± 0,0013	0,7521^{bc} ± 0,0221	0,9953	76,70^{bcde} ± 5,02	1,50^{ab} ± 0,04
T9	70 % HT 30 % HA 1,0 % CMC	131,23^{de} ± 3,75	0,0162^{def} ± 0,0014	0,7212^{bc} ± 0,0648	0,9786	68,77^{abc} ± 2,00	0,978^{ab} ± 0,03
T10	60 % HT 40 % HA 0,0 % CMC	93,17^{a} ± 1,89	0,0103^{ab} ± 0,0008	0,5490^{a} ± 0,0255	0,9785	86,93^{e} ± 3,11	1,17^{ab} ± 0,03
T11	60 % HT 40 % HA 0,5 % CMC	104,93^{b} ± 2,65	0,0092^{a} ± 0,0003	0,4434^{a} ± 0,0275	0,9829	80,63^{cde} ± 5,22	1,26^{ab} ± 0,03
T12	60 % HT 40 % HA 1,0 % CMC	113,96^{bc} ± 1,23	0,0123^{abc} ± 0,0012	0,5594^{a} ± 0,0380	0,9738	73,97^{abcd} ± 2,82	1,57^{ab} ± 0,05

HT: harina de trigo, HA: harina de arrocillo, CMC: carboximetilcelulosa

$\bar{x} \pm \sigma$ (n = 3). Valores con letras diferentes en cada columna, presentan diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) de acuerdo al test de Tukey HSD.

El incremento de la variación del volumen de las masas se puede vincular a diferentes factores; sin embargo, Pruska-Kędzior et al. (2008) en su investigación concluyó:

- La capacidad de retención de gas y la tolerancia a pruebas, en masas convencionales y libres de gluten dependen de las propiedades reológicas e interfaciales y la capacidad de formar una buen estructura de gluten. Por lo que la presencia de hidrocoloides como pectinas, CMC o gomas, han sido utilizados como agentes estructurantes, de tal forma que logren reemplazar la función de la matriz de gluten (p. 1 524).
- Los aceites vegetales añadidos actúan como plastificantes con varios emulsificantes, mejorando la capacidad de retención de gas en las masas libres de gluten (p. 1 524).

Ziobro, Korus, Witczak y Juszczak (2012), en su investigación determinaron que la expansión de las celdas con gas durante la fermentación, mejora debido a la baja viscosidad que presentan las masas libres de gluten. Lo cual tiene consecuencia positiva sobre la calidad del producto, y se ve reflejado en un pan con alto volumen y miga bien aireada (p. 71).

En general, los emulsificantes actúan como mejorantes de la masa, fenómeno que Ribotta, Pérez, Añón y León (2010) lo han explicado sugieriendo dos teorías:

- La primera consiste en que un emulsificante puede enlazar a las proteínas hidrofóbicas de la superficie, promoviendo la adición de proteínas de gluten en la masa, con lo cual se logra obtener una red proteíca fuerte, teniendo como resultado un incremento del volumen del pan y una mejor textura (p. 399).
- La segunda teoría se basa en la capacidad de los surfactantes polares a formar fases líquidas-cristalinas en el agua que se asocien con gliadinas. Estas estructuras pueden contribuir a la elasticidad de la masa permitiendo que las celdas de gas se expandan, lo cual puede resultar en un incremento del volumen del pan horneado (p. 399).

3.4 EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA CMC EN LA RETROGRADACIÓN DEL PAN

El envejecimiento del pan envuelve muchos fenómenos físicos y químicos, siendo la recristalización de la amilosa y amilopectina, la pérdida y redistribución de agua, y las interacciones de proteína-almidón (Bárcenas y Rosell, 2005, p. 1).

Para evaluar este fenómeno se midió la retrogradación de la amilopectina y la humedad de la miga, cuyos resultados se reportan en los apartados 3.4.1 y 3.4.2.

3.4.1 RETROGRADACIÓN EN LAS MEZCLAS DE HARINA

Se realizaron pruebas de gelatinización y retrogradación en las mezclas de harinas, de los mejores tratamientos obtenidos en la prueba de aptitud panadera T0, T1, T3, T4 y T5, cuyos resultados se presentan en la Tabla 3.12.

En los termogramas, se visualizaron dos picos, el primero a temperaturas menores a 90 ^{o}C que corresponde al proceso de gelatinización del almidón y el segundo a temperaturas mayores a 100 ^{o}C que corresponde al proceso del complejo amilosa-lípido.

Todos los tratamientos planteados (T1, T3, T4 y T5), respecto a la muestra control T0 presentaron entalpías de gelatinización (ΔH_g) menores. Siendo el tratamiento T3 el que tuvo el valor más bajo con una disminución del 19,43 %, mientras que el tratamiento T5 tuvo el valor más alto con un decremento del 7,01 %.

Las temperaturas de pico de gelatinización (T_g) de las mezclas, varían respecto al porcentaje de harina de arrocillo y de CMC, de forma directamente proporcional. Los tratamientos con CMC presentaron los valores más altos, respecto a las muestras de su misma clase que no poseen el aditivo. En el tratamiento T3 existió un incremento del 1,76 % respecto al tratamiento T1, mientras que en el tratamiento T5 hubo un incremento del 2,42 % respecto al tratamiento T4.

Tabla 3.12. Parámetros de gelatinización y retrogradación de las mezclas de harinas

Tratamientos		Gelatinización				Retrogradación		
		ΔH_g	T_g	ΔH_{cx}	T_{cx}	ΔH_r		IR
		(J/g)	(°C)	(J/g)	(°C)	Día	(J/g)	(%)
T0	100 % HT	$8,516^{c}$ ± 0,458	$78,756^{a}$ ± 3,772	$1,535^{bc}$ ± 0,128	$111,973^{ab}$ ± 1,198	1	$1,797^{abc}$ ± 0,139	21,11
						5	$2,571^{ef}$ ± 0,088	30,19
						10	$3,183^{gh}$ ± 0,178	37,38
T1	90 % HT 10 % HA 0,0 % CMC	$7,246^{ab}$ ± 0,454	$82,214^{a}$ ± 1,584	$1,638^{bc}$ ± 0,036	$110,860^{a}$ ± 3,932	1	$1,540^{ab}$ ± 0,108	21,25
						5	$2,446^{def}$ ± 0,156	33,76
						10	$3,291^{gh}$ ± 0,307	45,42
T3	90 % HT 10 % HA 1,0 % CMC	$6,861^{a}$ ± 0,214	$83,666^{a}$ ± 1,800	$1,248^{a}$ ± 0,084	$111,444^{ab}$ ± 5,501	1	$1,271^{a}$ ± 0,051	16,79
						5	$1,981^{bcd}$ ± 0,193	24,27
						10	$2,792^{fg}$ ± 0,207	34,20
T4	80 % HT 20 % HA 0,0 % CMC	$8,163^{bc}$ ± 0,232	$84,679^{a}$ ± 4,793	$1,476^{ab}$ ± 0,123	$118,828^{ab}$ ± 1,634	1	$1,661^{ab}$ ± 0,136	24,21
						5	$2,615^{ef}$ ± 0,251	38,12
						10	$3,486^{h}$ ± 0,177	50,81
T5	80 % HT 20 % HA 0,5 % CMC	$7,919^{bc}$ ± 0,400	$86,731^{a}$ ± 3,954	$1,776^{c}$ ± 0,129	$119,985^{b}$ ± 1,511	1	$1,361^{a}$ ± 0,111	17,18
						5	$2,248^{cde}$ ± 0,182	28,39
						10	$2,969^{fgh}$ ± 0,203	37,49

*HT: harina de trigo, HA: harina de arrocillo, CMC: carboximetilcelulosa

$\bar{x} \pm \sigma$ (n = 3). Valores con letras diferentes en cada columna, presentan diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$), según el test de Tukey HSD.

Las entalpías de fusión del complejo amilosa-lípido (ΔH_{cx}) corresponden alrededor de la quinta parte de las entalpías de gelatinización de los tratamientos. Mientras que las temperaturas de pico de fusión (T_{cx}), difieren aproximadamente en 20 °C, respecto a las temperaturas de gelatinización.

Del análisis de varianza según el test de Tukey, la entalpía de gelatinización, la entalpía de fusión del complejo amilosa-lípido y la temperatura de pico de fusión

presentaron diferencias significativas, mientras que la temperatura de gelatinización, no presentó diferencias estadísticamente significativas.

En la Figura 3.24 se tienen una representación gráfica de la variación de la entalpía de retrogradación en función de los días de almacenamiento, para los tratamientos T0, T1, T3, T4 y T5.

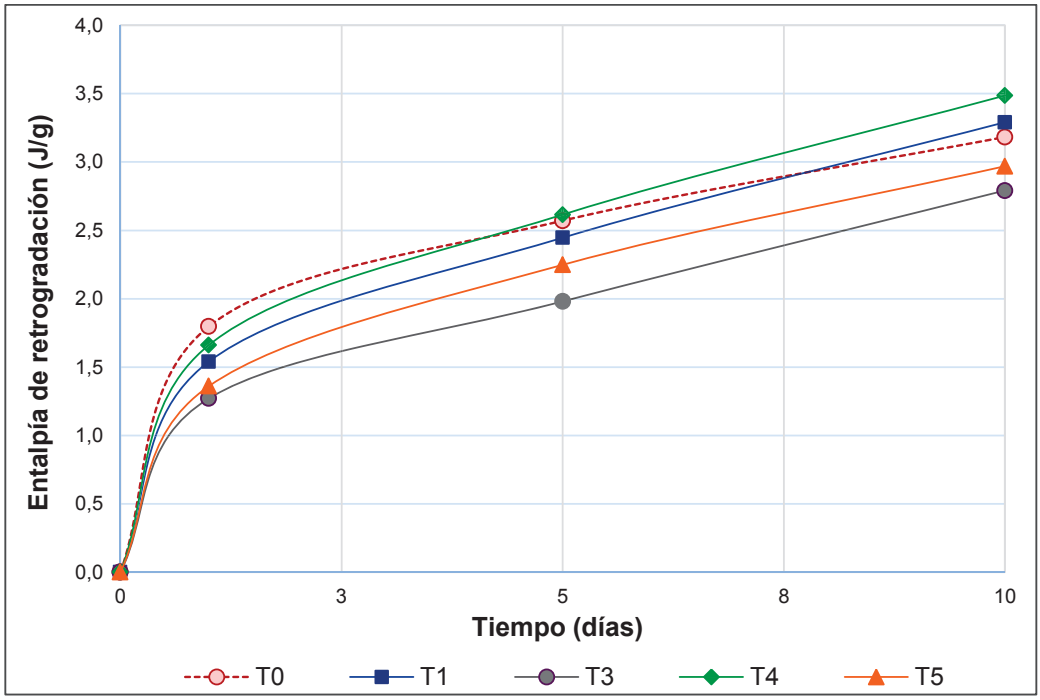


Figura 3.24 Curvas de entalpía de retrogradación para los tratamientos T0, T1, T3, T4 y T5 en los días 1, 5 y 10 días, almacenados a una temperatura de 4 ^{o}C

La entalpía de retrogradación se incrementó conforme aumentaron los días de almacenamiento. Para el día 1, la muestra control tuvo el valor más alto con 1,797 J/g. Para el día 5, el tratamiento T4 superó en 1,71 % a T0. Y para el día 10, los tratamientos T4 y T1 superaron a T0 en 9,52 % y 3,33 %, respectivamente.

El índice de retrogradación (IR) es la relación entre la entalpía de retrogradación y la entalpía de gelatinización. De los resultados obtenidos y tabulados en la Tabla 3.12, se presentó una mayor cantidad de almidón retrogradado en los tratamientos T4 y T1. Lo que indica que mientras aumentó el porcentaje de harina de arrocillo, la retrogradación de la amilopectina también se incrementó.

La presencia del CMC mejoró sustancialmente este fenómeno, es así que el tratamiento T3 con el 1,0 % CMC, presentó un índice menor respecto a la muestra control T0. Mientras que el tratamiento T5 con 0,5 % CMC, a pesar que tuvo un mayor contenido de harina de arrocillo, el índice se mantuvo igual al de la muestra de harina de trigo (T0).

Bárcenas y Rosell (2005) concluyen que el índice de retrogradación disminuye con el incremento del contenido de agua (p. 6). Por tanto los resultados obtenidos en esta investigación son congruentes con los presentados por Bárcenas y Rosell, pues los tratamientos con CMC, T3 y T5, presentaron las mayores absorciones de agua, con el 72,7 % y 69,2 %, respectivamente.

La incorporación de CMC ayudó al retraso del envejecimiento del pan, lo cual se atribuyó al mayor contenido de agua que posee un pan con hidrocoloide, pues éste afectó el nivel de retrogradación, limitando la difusión y la pérdida de agua desde la miga (Bárcenas y Rosell, 2005, p. 6).

3.4.2 RETROGRADACIÓN EN LAS MUESTRAS DE PAN

Se realizaron pruebas de retrogradación en la miga del pan elaborado con los ingredientes que se especifican en el acápite 2.3.1; sin embargo, en los termogramas obtenidos no se pudieron visualizar los picos para la obtención de resultados. Esto se atribuye a que en la formulación del pan, estaban presentes ingredientes inhibidores de la retrogradación, como es el caso de la sal común (NaCl) y del aditivo CMC que se caracterizan por disminuir la retrogradación.

Viturawong, Achayuthakan y Suphantharika (2008) en su estudio de mezclas de almidón de arroz con goma xanthan, encontraron que en presencia de NaCl, la temperatura de gelatinización aumenta y la entalpía de gelatinización disminuye. Una vez iniciado este proceso, los iones Cl^- contribuyen mediante la rotura de los puentes de hidrógeno en las cadenas de almidón, lo que se evidencia en una reducción de la magnitud en la entalpía de gelatinización (pp. 110-111).

Además plantean que la gelatinización en presencia de sales, está controlada por la estructura del agua y la interacción electrostática entre el almidón y los iones de la sal. Estos dos efectos tienen conflictos entre sí, dando como resultado un efecto patrón complejo, que depende del tipo y la concentración de sal (Viturawong, Achayuthakan y Suphantharika, 2008, pp. 110-111).

También con la presencia de la goma xanthan, la entalpía de gelatinización disminuye considerablemente. Lo atribuyen en parte al efecto de la interacción almidón/goma y a la reducción de la disponibilidad y/o movilidad del agua, causando la gelatinización parcial de las regiones cristalinas en los gránulos de almidón (Viturawong, Achayuthakan y Suphantharika, 2008, pp. 110-111).

3.4.3 HUMEDAD DE LA MIGA

El análisis multivariable de humedad de la miga registrada para los días 1, 3, 7 y 10; se muestra en la Figura 3.25 en función del porcentaje de arrocillo y en la Figura 3.26 en función de la dosis de CMC.

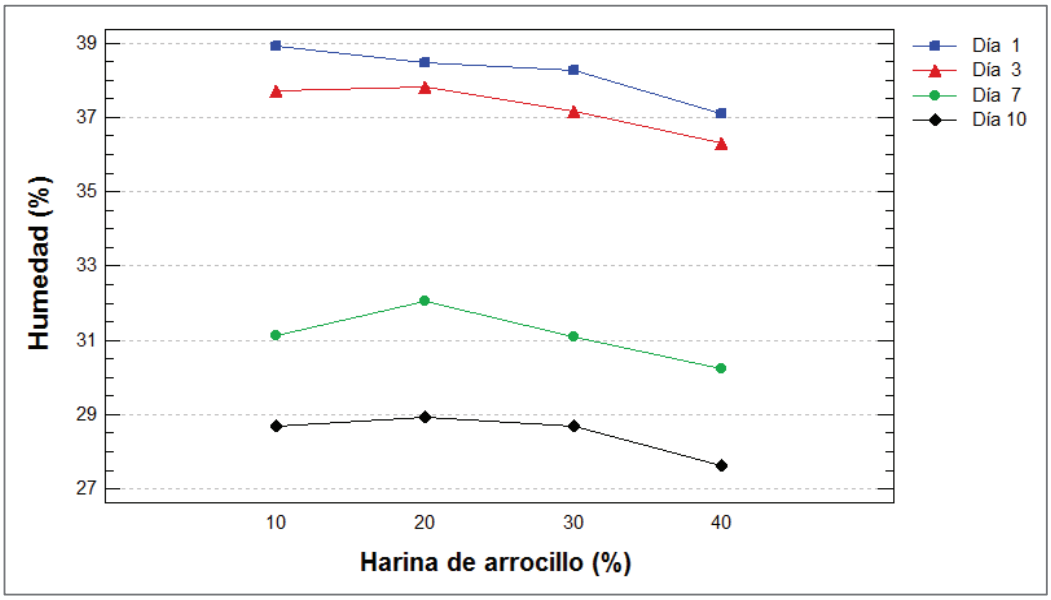


Figura 3.25 Análisis multivariable para el porcentaje de humedad para las mezclas de harina de trigo, harina de arrocillo y CMC, respecto al porcentaje de sustitución de harina de arrocillo y los días de almacenamiento

En la Figura 3.25 se muestra la variación de la humedad en función del porcentaje de harina de arrocillo y los días de almacenamiento. Para todos los casos decreció con el aumento de la presencia de harina de arrocillo en los tratamientos.

Los rangos de humedad variaron: para el día 1 desde 38,9 a 37,1 %, para el día 3 desde 37,7 a 36,3 %, para el día 7 desde 31,1 a 30,2 %, y finalmente para el día 10 desde 28,7 a 27,6 %.

La muestra control T0 para el primer día tuvo una humedad promedio de 40,8 %, comparando con la humedad promedio del resto de tratamientos, se tiene que la pérdida de humedad: para el día 1 fue del 6,8 %; para el día 3 fue del 9,3 %; para el día 7 fue del 24,8 % y finalmente para el día 10 fue del 30,9 %.

En la Figura 3.26 se muestra la variación de la humedad en función del porcentaje de CMC y los días de almacenamiento. Para todos los casos existió una tendencia de crecimiento con el incremento del porcentaje de adición de CMC.

La humedad promedio para las muestras con 0,5 y 1,0 % de CMC en relación a los días de almacenamiento son: 37,9 y 39 % para el día 1; 37,6 y 37,7 % para el día 3; 30,8 y 32,3 % para el día 7 y finalmente 28,2 y 29,4 % para el día 10. Para las mezclas sin aditivo la humedad promedio para el día 1 fue 37,7 %; para el día 3 fue 36,5 %; para el día 7 fue 30,2 % y para el día 10 fue 27,8 %.

La humedad de las mezclas con CMC es mayor que aquellas que no poseen aditivo, para todos los días evaluados. Es así que para las mezclas con 1,0 % de CMC respecto a las muestras sin aditivo fue superior: para el día 1 en 4,6 %; para el día 3 en 8,2 %; para el día 7 es del 26,3 % y para el día 10 es del 38,8 %.

Se concluye que se pierde humedad en la miga del pan a medida que se incrementa el porcentaje de sustitución de harina de arrocillo. Sin embargo, con la presencia de hidrocoloides, la pérdida de humedad disminuye. Por lo tanto, se evidencia que la adición de CMC es favorable, pues ayuda a la retención de agua, impidiendo que se pierda fácilmente humedad (Correa, 2012, p. 185).

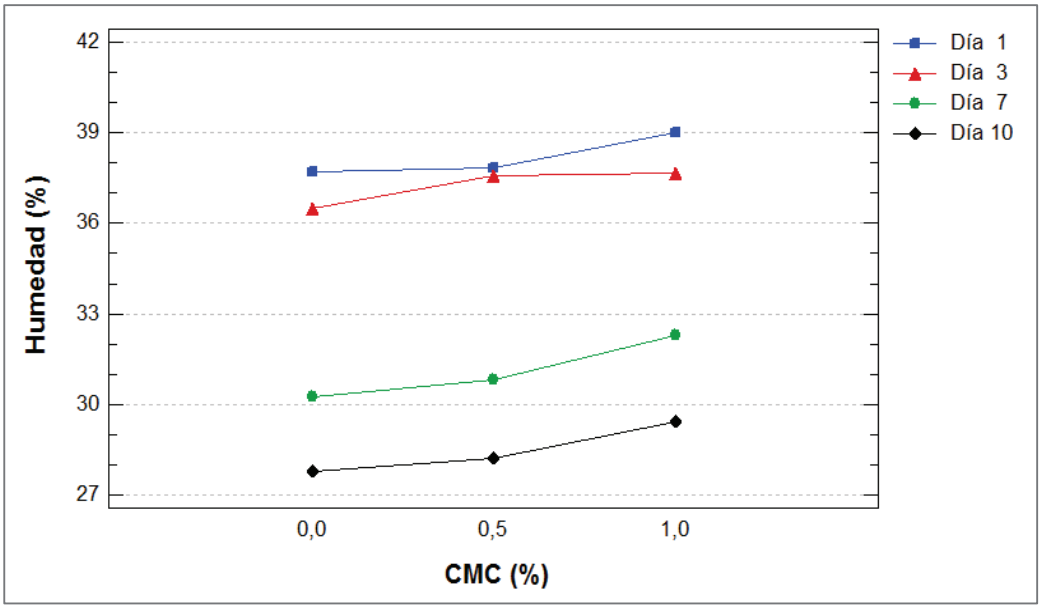


Figura 3.26 Análisis multivariable para el porcentaje de humedad para las mezclas de harina de trigo, harina de arrocillo y CMC, respecto al porcentaje de adición de CMC y los días de almacenamiento

Correa (2012) determinó la humedad en el pan de trigo con el 1,5 % de CMC, obteniendo para el día 0 el 44,3 %, para el día 1 el 43,7 % y para el día 3 el 42,1 % (p. 185). Los resultados experimentales del presente estudio difieren levemente, pues se utilizó harinas compuestas de mezclas de harina de trigo y harina de arrocillo en diferentes proporciones.

De acuerdo a la norma NTE INEN 95:2012: Pan común, indica que el porcentaje de humedad no debe superar para pan blanco el 35 % y para pan integral el 40 % (INEN-Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2012, p. 2). Al comparar para las muestras de pan de esta investigación, se puede advertir que el porcentaje de humedad se encuentra próximo al límite estipulado para el pan integral.

Sin embargo, según la norma mexicana NMX-F-159-S-1983 y la norma sanitaria peruana RM N° 1020-2010/MINSA, la primera plantea un rango de humedad del 30 – 38 % y la segunda un límite máximo del 40 %. Por tanto, los valores obtenidos experimentalmente al ser próximos a estos rangos, se consideran aceptables a nivel internacional, a pesar que la normativa ecuatoriana sea más

restrictiva (Departamento de Normalización Nacional Mexicano, 1983, p. 3; Dirección General de Salud Ambiental, 2010, p. 13).

La envejecimiento del pan está ligado a la humedad del pan, pues su disminución favorece la rápida formación de enlaces entrecruzados entre las moléculas de almidón y proteínas, produciendo un endurecimiento rápido del pan (Bárcenas y Rosell, 2005. p. 6). Por tanto, los tratamientos que incluyen CMC al presentar un mayor contenido humedad, tenderán a envejecer más lentamente que aquellas que no poseen aditivo.

En la Tabla AXII.4 del ANEXO XII, se presentan los resultados del análisis de varianza, se visualiza que existieron diferencias estadísticamente significativas para todos los factores (A: harina de arrocillo, B: CMC y C: días de almacenamiento), y para la interacción entre A y B, y también entre B y C.

3.5 EVALUACIÓN DE LOS ATRIBUTOS DEL PAN OBTENIDO

3.5.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LAS MUESTRAS DE PAN

3.5.1.1 Peso, volumen y altura del pan

En la Tabla 3.13 se encuentran tabulados los resultados de peso, volumen y altura de las muestras de pan, para los diferentes tratamientos con o sin CMC.

En la Figura 3.27 se observa como cambió el peso respecto a la presencia de harina de arrocillo y de CMC. En los resultados, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas para esta variable, lo que se evidencia con los cambios drásticos en las pendientes de las rectas de dicha figura.

El mayor valor fue para el tratamiento T12 con 71,41 g, mientras que el menor valor le corresponde a la muestra T5 con 68,30 g. La muestra control T0, tuvo un peso de 71,52 g, con el que superó a los demás tratamientos.

Tabla 3.13. Peso, volumen y altura máxima del pan para los tratamientos con harina de trigo y harina de arrocillo

Tratamientos		Peso (g)	Volumen (cm^3)	Altura máxima (cm)
T0	100 % HT	$71,52^{a} \pm 2,49$	$302,00^{a} \pm 20,30$	$7,03^{abcd} \pm 0,15$
T1	90 % HT 10 % HA 0,0 % CMC	$70,85^{a} \pm 1,73$	$359,33^{bcde} \pm 21,01$	$7,38^{bcde} \pm 0,36$
T2	90 % HT 10 % HA 0,5 % CMC	$69,43^{a} \pm 0,84$	$381,33^{def} \pm 19,01$	$7,70^{cdef} \pm 0,28$
T3	90 % HT 10 % HA 1,0 % CMC	$70,01^{a} \pm 2,73$	$426,67^{f} \pm 22,19$	$8,57^{g} \pm 0,26$
T4	80 % HT 20 % HA 0,0 % CMC	$70,35^{a} \pm 1,61$	$347,00^{abcd} \pm 20,22$	$7,08^{abcd} \pm 0,08$
T5	80 % HT 20 % HA 0,5 % CMC	$68,30^{a} \pm 0,92$	$368,67^{cde} \pm 27,59$	$7,47^{bcde} \pm 0,35$
T6	80 % HT 20 % HA 1,0 % CMC	$70,64^{a} \pm 1,61$	$410,00^{ef} \pm 8,72$	$8,48^{fg} \pm 0,24$
T7	70 % HT 30 % HA 0,0 % CMC	$69,65^{a} \pm 0,63$	$311,00^{ab} \pm 12,77$	$6,70^{ab} \pm 0,10$
T8	70 % HT 30 % HA 0,5 % CMC	$69,37^{a} \pm 1,14$	$362,33^{bcde} \pm 11,15$	$7,47^{bcde} \pm 0,34$
T9	70 % HT 30 % HA 1,0 % CMC	$70,98^{a} \pm 3,25$	$383,00^{def} \pm 7,81$	$7,97^{efg} \pm 0,21$
T10	60 % HT 40 % HA 0,0 % CMC	$69,89^{a} \pm 0,74$	$296,67^{a} \pm 22,23$	$6,28^{a} \pm 0,62$
T11	60 % HT 40 % HA 0,5 % CMC	$68,87^{a} \pm 0,88$	$321,33^{abc} \pm 9,87$	$6,85^{abc} \pm 0,23$
T12	60 % HT 40 % HA 1,0 % CMC	$71,41^{a} \pm 1,11$	$360,33^{bcde} \pm 26,08$	$7,75^{defg} \pm 0,13$

*HT: harina de trigo, HA: harina de arrocillo, CMC: carboximetilcelulosa
Resultados en base seca. $\bar{x}$ (σ) (n = 3). Valores con letras diferentes en cada columna, presentan diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$), según el test de Tukey HSD.

Se debe acotar que previo a la etapa de horneo se colocó en cada molde una masa de 90 g para cada uno de los tratamientos, por ello, una vez horneado el peso disminuyó en un 20,7 % para el tratamiento T12 y 24,1 % para el tratamiento T5. Del promedio de los datos obtenidos, se estableció que las muestras de pan presentaron una diferencia de pérdida de peso del 2,3 % respecto al pan control.

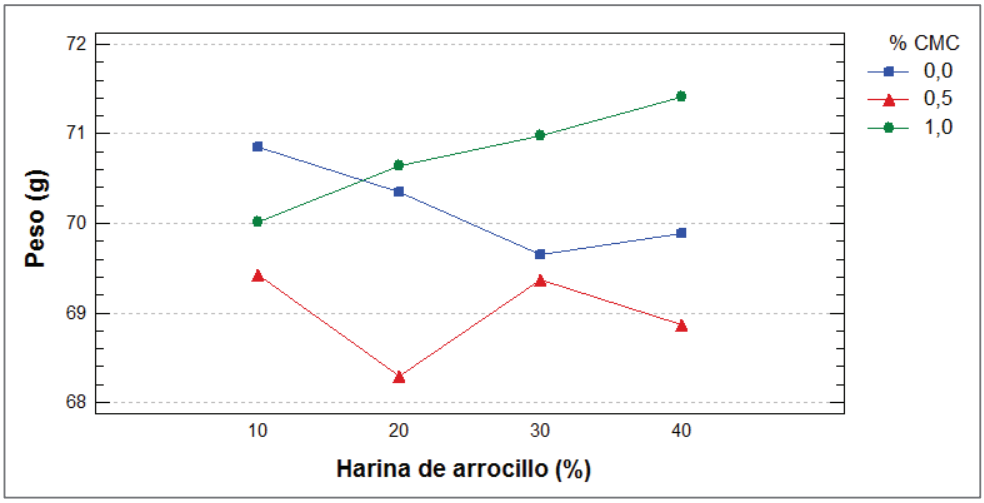


Figura 3.27 Análisis multivariable para el peso del pan con las mezclas de harina de trigo, harina de arrocillo y CMC

En la Figura 3.28 se observa como cambió el volumen del pan respecto a la presencia de harina de arrocillo y de CMC. En los resultados, se encontraron diferencias estadísticamente significativas para esta variable.

Respecto al volumen del pan, se presentaron dos escenarios: uno respecto a la harina de arrocillo, en el cual disminuyó el volumen con el aumento del porcentaje de esta harina en la mezcla, y otro respecto al CMC, que incrementó el volumen de forma directamente proporcional a la cantidad de aditivo en la formulación.

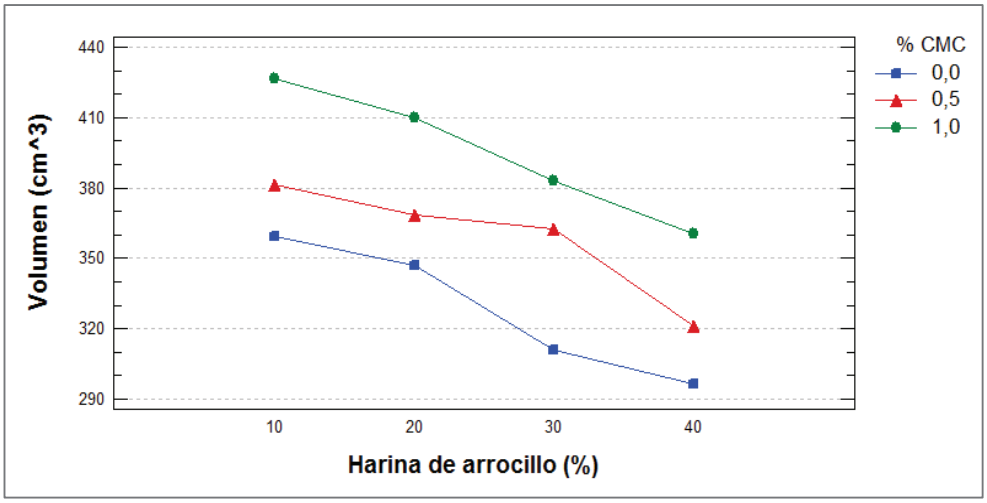


Figura 3.28 Análisis multivariable para el volumen del pan con las mezclas de harina de trigo, harina de arrocillo y CMC

El pan control T0 tuvo un volumen de 302 cm^3, mientras que el pan del tratamiento T3 es el que presentó el mayor volumen con 426,67 cm^3, por tanto se tuvo un incremento del 41,3 %. El pan que presentó menor volumen fue el del tratamiento T10 con un volumen de 296,67 cm^3, decreciendo en 1,8 %.

En la Figura 3.29 se observa como cambió la altura máxima del pan respecto a la presencia de harina de arrocillo y de CMC, que presentó el mismo patrón de comportamiento que el volumen. En los resultados, se encontraron diferencias estadísticamente significativas para esta variable.

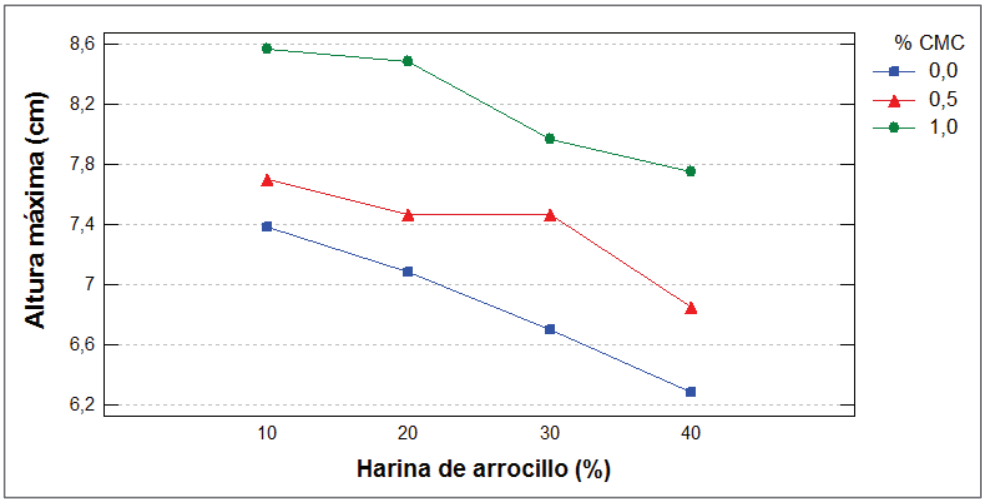


Figura 3.29 Análisis multivariable para la altura máxima del pan con las mezclas de harina de trigo, harina de arrocillo y CMC

Se obtuvo los valores más altos (> 8 cm) para las muestras con 1,0 % de CMC y mayor porcentaje de harina de trigo en su formulación (T3 y T6). En contraste los valores más bajos (< 6,7 cm) se los obtuvo para las muestras que no poseen aditivo y el menor porcentaje de harina de trigo (T7 y T10).

La disminución del volumen y la altura del pan se podrían explicar por la presencia de las proteínas de arroz, que son extremadamente insolubles debido a su naturaleza hidrofóbica y son incapaces de formar masas viscoelásticas para la retención del CO_2 producido durante la fermentación. Esto se atribuye a su bajo contenido de prolamina, que evita la formación de una red proteíca, cuando la

harina de arroz es mezclada con agua. En consecuencia el CO_2 producido, no puede ser retenido, resultando un producto con bajo volumen específico (Rosell, Brites, Pérez y Gularte, 2007, p. 128).

El volumen y las características de textura son fuertemente dependientes de cómo se expanden las celdas de gas en la masa, la unión y estabilización a lo largo del proceso de elaboración de pan. La expansión de las celdas depende de la habilidad de las paredes para retener gas, que está limitada por la mayor viscosidad de la masa. Lo que podría explicar, que las masas con mayor contenido de harina de arrocillo, presenten volúmenes menores.

3.5.1.2 Color del pan

Las mediciones del color del pan se realizaron tanto para la corteza como para la miga, cuyos resultados se encuentran tabulados en la Tabla 3.14 y sus fotografías se observan en la Figura 3.30 y la Figura 3.31. Los resultados obtenidos, presentan diferencias estadísticamente significativas de acuerdo al test de Tukey.

Al evaluar el color de la corteza del pan, para el parámetro *"L"* el valor más bajo fue 55,59 del tratamiento T2 y el valor más alto fue 62,88 correspondiente al tratamiento T12. Para el parámetro *"a"*, el valor más bajo fue 8,00 del tratamiento T12, mientras que el valor más alto fue 10,11 del tratamiento T2. Para el parámetro *"b"*, el valor más bajo fue 34,27 del tratamiento T4, mientras que el valor más alto fue 38,54 del tratamiento T11.

Por tanto de los resultados experimentales, al ser los parámetros "a" y "b" positivos, se puede decir entonces que la corteza presentó una coloración rojiza, amarillenta y tostada, tal como se aprecia en la Figura 3.30.

La corteza se caracteriza por ser una capa oscura que penetra varios milímetros en la miga, cuya coloración es responsable la reacción Maillard, que ocurre a temperaturas sobre los 115 ^{o}C (Sciarini et al., 2010, p. 584). El color de la corteza

disminuya con la presencia de harina de arrocillo, se podría atribuir a las reacciones de azúcares y aminoácidos presentes en las formulaciones.

Figura 3.30 Vista frontal de las muestras de panificación para mezclas de harina de trigo y harina de arrocillo

Tabla 3.14. Parámetros del color y del análisis de la miga del pan para los tratamientos con harina de trigo y harina de arrocillo

Tratamientos		COLOR						MIGA	
		Corteza			Miga			No. Alvéolos	Área Alvéolos
		L	a	b	L	a	b	(Alvéolos /cm^2)	(cm^2)
T0	100 % HT	62,89^{b} ± 1,75	8,60^{ab} ± 0,70	38,74^{b} ± 1,69	76,74^{abcd} ± 0,84	-3,79^{a} ± 0,22	17,79^{f} ± 0,53	37,00^{ab} ± 1,29	3,45^{e} ± 0,26
T1	90 % HT 10 % HA 0,0 % CMC	58,50^{ab} ± 1,42	9,36^{ab} ± 0,57	35,91^{a} ± 0,61	76,93^{abcd} ± 2,06	-3,48^{ab} ± 0,13	16,00^{e} ± 1,24	36,92^{ab} ± 2,52	3,18^{cde} ± 0,06
T2	90 % HT 10 % HA 0,5 % CMC	55,59^{a} ± 1,43	10,11^{b} ± 0,89	35,88^{a} ± 0,51	74,26^{ab} ± 1,95	-3,48^{ab} ± 0,33	14,76^{cde} ± 0,27	39,44^{bc} ± 2,05	3,35^{e} ± 0,18
T3	90 % HT 10 % HA 1,0 % CMC	61,59^{bc} ± 2,20	8,63^{ab} ± 0,75	37,59^{ab} ± 1,02	77,96^{bcd} ± 0,72	-3,44^{abc} ± 0,08	15,79^{e} ± 0,53	34,27^{a} ± 1,98	3,41^{de} ± 0,19
T4	80 % HT 20 % HA 0,0 % CMC	61,31^{bc} ± 1,26	8,78^{ab} ± 0,50	34,27^{ab} ± 0,33	75,74^{abcd} ± 2,33	-3,25^{bcde} ± 0,18	13,15^{ab} ± 0,82	46,58^{efg} ± 1,22`	3,18^{cde} ± 0,15
T5	80 % HT 20 % HA 0,5 % CMC	61,11^{bc} ± 1,82	8,69^{ab} ± 0,81	37,41^{ab} ± 0,81	72,89^{a} ± 2,53	-3,43^{abcd} ± 0,15	14,62^{bcde} ± 1,08	42,48^{cde} ± 1,61	3,39^{e} ± 0,18
T6	80 % HT 20 % HA 1,0 % CMC	59,55^{abc} ± 1,04	9,30^{ab} ± 0,45	37,18^{ab} ± 0,31	79,37^{d} ± 1,24	-3,19^{bcde} ± 0,20	14,97^{de} ± 0,20	41,84^{cd} ± 3,14	3,38^{e} ± 0,23
T7	70 % HT 30 % HA 0,0 % CMC	60,30^{bc} ± 1,99	9,31^{ab} ± 0,49	38,36^{b} ± 0,94	77,09^{bcd} ± 0,78	-3,16^{bcde} ± 0,16	13,77^{abcd} ± 0,56	50,55^{gh} ± 1,55	2,93^{abcd} ± 0,18
T8	70 % HT 30 % HA 0,5 % CMC	61,03^{bc} ± 1,26	8,36^{a} ± 0,22	37,70^{ab} ± 0,67	76,13^{abcd} ± 1,91	-3,02^{cde} ± 0,19	13,35^{abc} ± 0,34	46,79^{efg} ± 1,71	3,03^{bcde} ± 0,08
T9	70 % HT 30 % HA 1,0 % CMC	61,54^{bc} ± 1,04	8,69^{ab} ± 0,24	37,97^{ab} ± 0,26	76,82^{abcd} ± 1,30	-3,14^{bcde} ± 0,13	14,00^{bcd} ± 0,23	44,73^{def} ± 1,39	3,07^{bcde} ± 0,11
T10	60 % HT 40 % HA 0,0 % CMC	61,39^{bc} ± 2,60	8,90^{ab} ± 1,07	37,97^{ab} ± 1,36	78,09^{bcd} ± 1,75	-2,93^{e} ± 0,07	13,78^{abcd} ± 0,25	53,04^{h} ± 2,24	2,67^{ab} ± 0,20
T11	60 % HT 40 % HA 0,5 % CMC	61,10^{bc} ± 0,55	8,48^{a} ± 0,42	38,54^{b} ± 0,54	74,57^{abc} ± 0,87	-2,99^{de} ± 0,18	12,41^{a} ± 0,40	48,52^{fgh} ± 1,34	2,58^{a} ± 0,13
T12	60 % HT 40 % HA 1,0 % CMC	62,88^{b} ± 1,39	8,00^{a} ± 0,53	37,59^{ab} ± 0,69	78,41^{cd} ± 1,48	-2,87^{e} ± 0,12	13,19^{ab} ± 0,28	46,64^{efg} ± 1,59	2,89^{abc} ± 0,15

*HT: harina de trigo, HA: harina de arrocillo, CMC: carboximetilcelulosa

$\bar{x} \pm \sigma$ (n = 4). Valores con letras diferentes en cada columna, presentan diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$), según el test de Tukey HSD.

Estos resultados son congruentes con los presentados por Correa (2012), quien reporta los parámetros del color de la corteza para muestras de pan de trigo, así: para *"L"* se encuentra en un rango desde 57,1 a 63,1; para *"a"* el rango va desde 9,8 a 12,9 y para *"b"* el rango comprende desde 32,8 a 36,8 (p. 184).

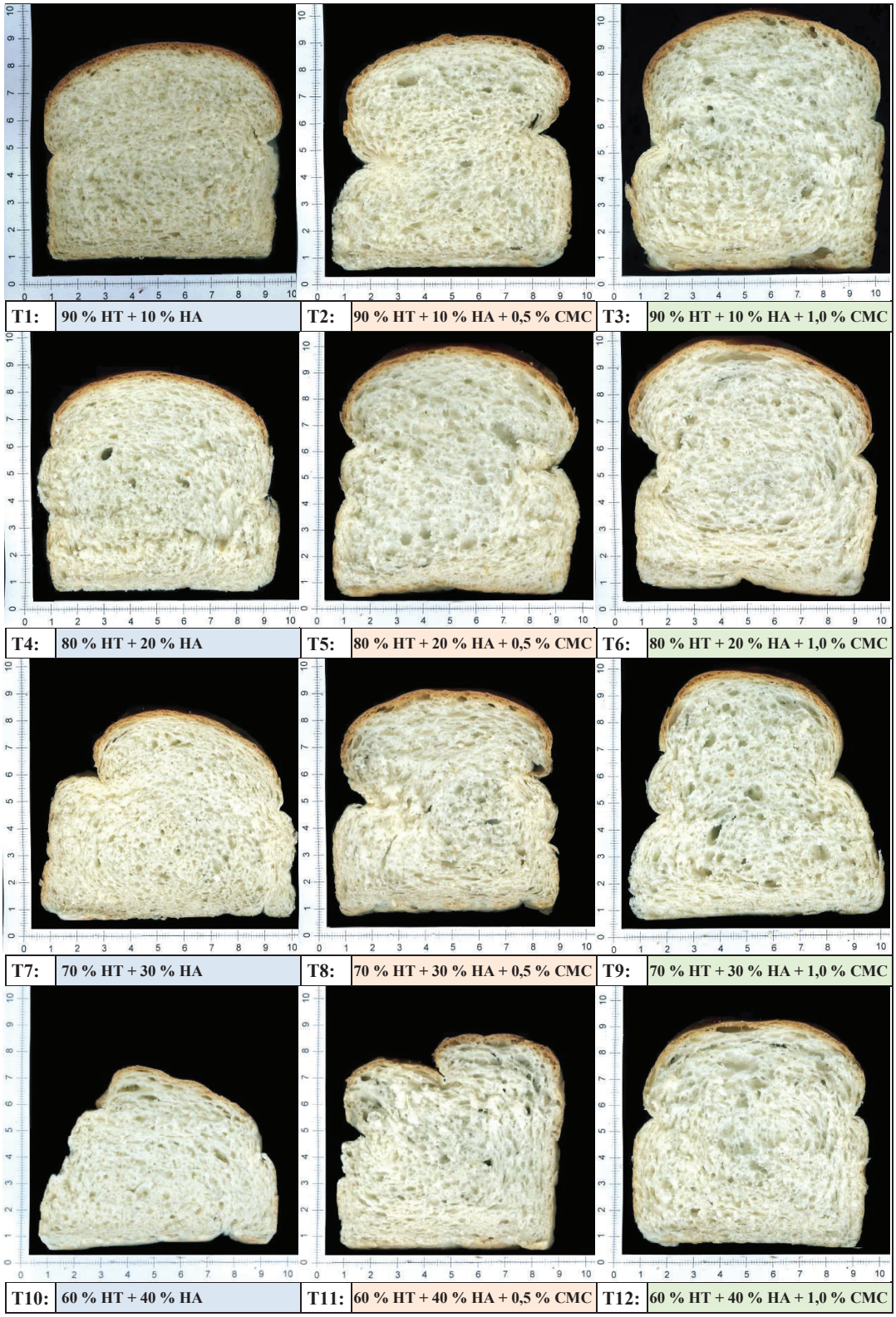


Figura 3.31 Imágenes de las rebanadas de pan tipo molde para los diferentes tratamientos de mezclas de harina de trigo y harina de arrocillo
(HT: harina de trigo, HA: harina de arrocillo, CMC: carboximetilcelulosa)

Mediante los parámetros L, a y b se determinó el color de la miga del pan como se indica en la Tabla 3.14. Para *"L"* el valor más bajo fue 72,89 que le corresponde al tratamiento T5 y el valor más alto fue 79,37 correspondiente al tratamiento T6. Para el parámetro *"a"*, el valor más bajo fue -3,48 para los tratamientos T1 y T2, en contraste el valor más alto fue -2,87 del tratamiento T12. Para el parámetro *"b"*, el valor más bajo fue 12,41 del tratamiento T11, mientras que el valor más alto fue 16,00 del tratamiento T1.

Por tanto de los resultados experimentales, al presentar el parámetro "a" valores negativos y el parámetro "b" positivos, se podría decir que la miga de pan presentó una tendencia a una coloración verdosa y amarillenta, tal como se puede apreciar en la Figura 3.31.

Se debe tener en cuenta que el color del pan no sólo es dependiente del tiempo y la temperatura de horneado, sino también de sus ingredientes. Al ser la harina el principal componente, juega un rol importante en el color de la miga, pues su grado de color tiene una correlación significativa con éste parámetro. De ahí, que el color de la miga disminuya con el incremento de harina de arrocillo en las formulaciones, se atribuye a que el color de la harina de arrocillo es más blanca que la harina de trigo.

3.5.1.3 Miga del pan

Para evaluar la estructura de la miga se escanearon las rebanadas de pan y con el software ImageJ, se binarizaron las imágenes como se observa en la Figura 3.33, a partir de lo cual se determinó el número de alvéolos y área de los mismos, cuyos resultados se encuentran tabulados en la Tabla 3.14.

Respecto al número de alvéolos por cada centímetro cuadrado se muestra en la Figura 3.32. Los tratamientos T3 y T1 obtuvieron los valores más bajos con 34,27 y 36,92 respectivamente, mientras que los tratamientos T10 y T7 reflejaron un incremento significativo, con valores de 53,04 y 50,55 respectivamente.

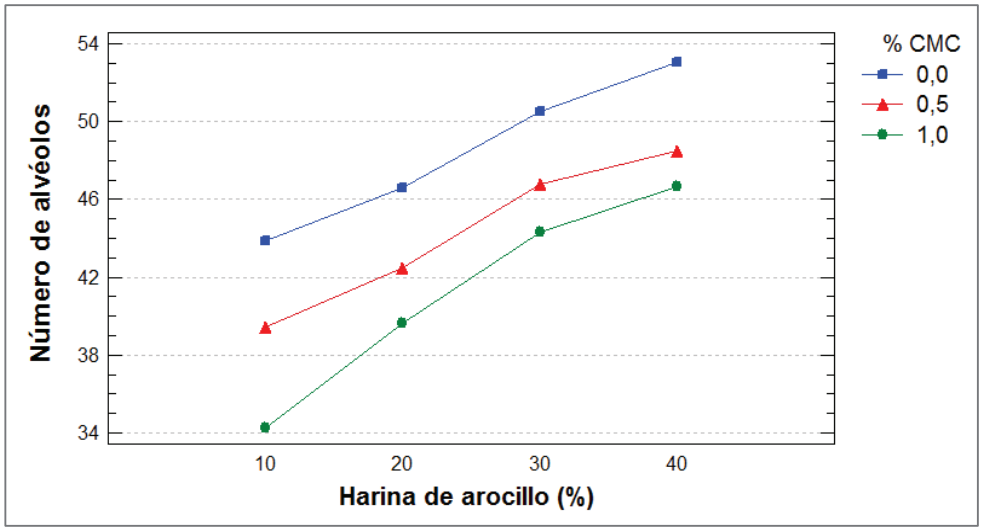


Figura 3.32 Análisis multivariable para el número de alvéolos del pan con las mezclas de harina de trigo, harina de arrocillo y CMC

Al comparar los resultados obtenidos respecto a la muestra control (T0) que obtuvo un valor de 37,00 alvéolos/cm^2. Se observa que para los tratamientos que no incorporaronn el aditivo (CMC), existió una tendencia a aumentar el número de alvéolos cuando el porcentaje de sustitución de harina de arrocillo se incrementó.

Los resultados son similares a los reportados por Ziobro, Korus, Witczak y Juszczak (2012), que determinaron en la muestra de pan de trigo, un menor número de poros respecto a las muestras con aditivos. Además recalcan que su adición, representa una mejora significativa en la uniformidad de la miga (p. 70).

Al cotejar los resultados entre los tratamientos con y sin aditivo (CMC), se puede ver que el número de alvéolos por centímetro cuadrado disminuye. Ziobro et al. (2012) corroboran que si se incrementa el número de poros, el volumen de pan disminuye (p.70). Por tanto los mejores resultados que se obtuvieron para los tratamientos en los que se incorporaron el 1,0 % de CMC, con volúmenes mayores en relación a la muestra control.

Según el análisis estadístico realizado para el número de alvéolos por centímetro cuadrado, los grupos de tratamientos: (T7, T11) y (T0, T1, T5) no presentaron diferencias estadísticamente significativas.

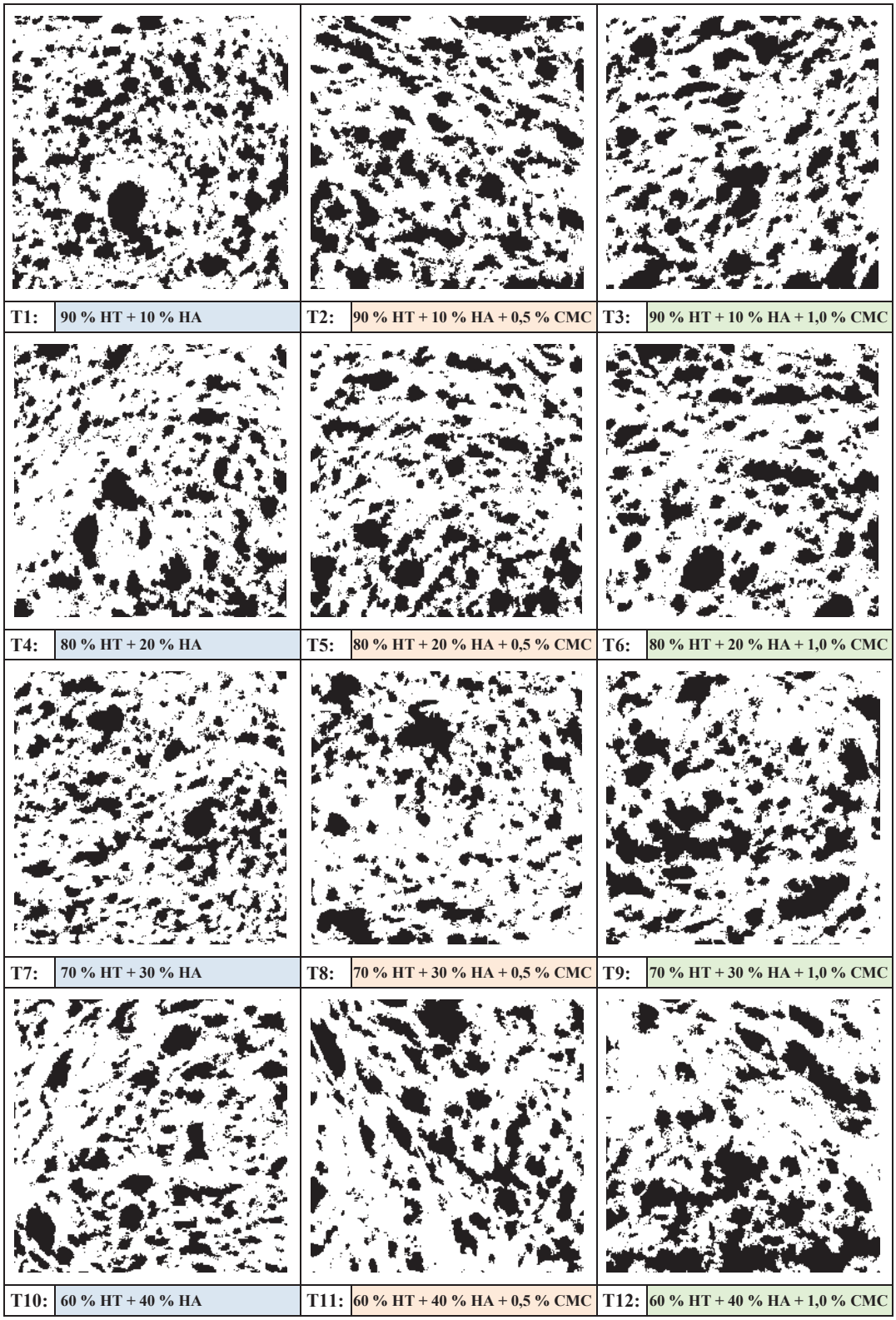


Figura 3.33 Imágenes del análisis de miga en el software ImageJ para muestras de panificación para mezclas de harina de trigo, harina de arrocillo y CMC

Para el área alveolar, los resultados mostraron una clara tendencia a disminuir con el aumento del porcentaje de sustitución de harina de arrocillo y la adición de CMC, como se indica en la Figura 3.34. La muestra control de pan de trigo (T0), presentó el mayor valor con 3,45 cm^2, mientras que el menor valor se obtuvo para el tratamiento T11 con 2,58 cm^2.

El grupo de tratamientos A (T0, T3, T5, T6); B (T8, T9) y C (T1, T4) no presentaron diferencias estadísticamente significativas, para el área alveolar.

Los cambios en la distribución del tamaño del poro se encuentra relacionados con las propiedades reológicas de la masa. La presencia del aditivo, aumenta los módulos de almacenamiento y de pérdida, lo cual se refleja en la mejora del producto final, obteniéndose panes con volúmenes mayores (Rosell, Rojas y Benedito de Barber, 2001, p. 77, Rouillé, Della Valle, Devaux, Marion y Dubreil, 2005, p. 23).

La incorporación del aditivo fue fundamental para dicho resultado, debido a que el volumen de CO_2 producido por la levadura y los cambios de temperatura de las transiciones térmicas fueron los responsables de la estructura de la corteza (Ziobro, Korus, Witczak y Juszczak, 2012, p. 71)

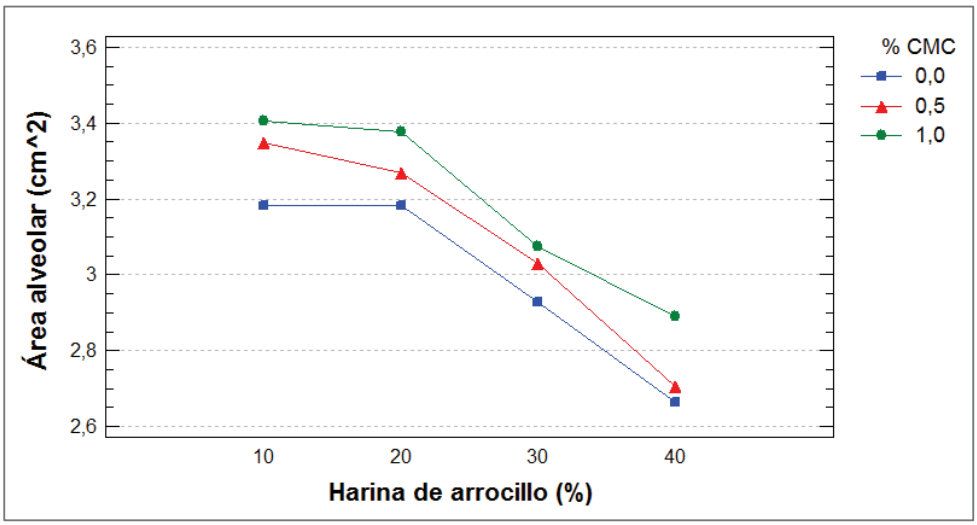


Figura 3.34 Análisis multivariable para el área alveolar del pan con las mezclas de harina de trigo, harina de arrocillo y CMC

3.5.2 EVALUACIÓN SENSORIAL DE LAS MUESTRAS DE PAN

3.5.2.1 Evaluación de aptitud panadera

La evaluación de aptitud panadera se basó en los lineamientos de la norma NTE INEN 530:2013, que especifica los atributos a evaluarse y el puntaje para la calificación de la harina utilizada para la elaboración de pan. Las muestras de pan deben al menos reunir 80 puntos en la evaluación de los siete atributos, que se detallan en la Tabla 2.9, para que la harina sea calificada como “apta”, lo cual se aplicó para las mezclas de esta investigación.

Los resultados obtenidos de aplicación del test de evaluación panadera se tabulan en la Tabla 3.15, los datos se analizaron y se obtuvieron para cada atributo la significancia estadística.

El atributo A1 corresponde al volumen del pan y su calificación fue sobre 30 puntos, los mejores resultados se los obtuvo para los tratamientos T3 y T6 con 28,67 y 28,17 puntos. Mientras tanto las menores puntuaciones fueron para los tratamientos T0 y T7, con 21,33 y 20,00 puntos.

El atributo A2 corresponde a la estructura de la miga y su calificación fue sobre 20 puntos, los mejores puntajes se los obtuvo para los tratamientos T4 y T1 con 18,83 y 18,17 puntos. Las menores puntuaciones fueron para los tratamientos T8 y T11, con 9,33 y 8,67 puntos.

El atributo A3 corresponde a la simetría y su calificación fue sobre 15 puntos, los mejores puntajes se los obtuvo para los tratamientos T3 y T4 con 14,08 y 13,67 puntos. Las menores puntuaciones fueron para los tratamientos T10 y T8, con 7,17 y 6,92 puntos.

El atributo A4 corresponde al aroma a pan y su calificación fue sobre 15 puntos, los mejores puntajes se los obtuvo para los tratamientos T0 (muestra control) y los tratamientos T3 y T6 con 13,25; 12,83 y 12,67 puntos,

respectivamente. Mientras tanto que las menores puntuaciones fueron para los tratamientos T12 y T11, con 10,17 y 9,83 puntos.

Tabla 3.15. Resultados de la evaluación de aptitud panadera

Tratamientos		Atributos / Calificación							Puntaje Total
		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	
		/30	/20	/15	/15	/10	/5	/5	
T0	100% HT	$21,33^{bc}$ ± 2,50	$16,67^{cdef}$ ± 1,97	$10,83^{bc}$ ± 0,98	$13,25^{d}$ ± 1,25	$7,00^{bcdef}$ ± 0,84	$4,67^{bc}$ ± 0,52	$4,67^{a}$ ± 0,52	**78,42**
T1	90 % HT 10 % HA 0,0 % CMC	$24,00^{cde}$ ± 2,61	$18,17^{ef}$ ± 2,04	$12,50^{cde}$ ± 1,38	$12,17^{abcd}$ ± 1,17	$8,50^{fg}$ ± 1,05	$4,58^{bc}$ ± 0,49	$4,92^{a}$ ± 0,20	**84,83**
T2	90 % HT 10 % HA 0,5 % CMC	$26,00^{efg}$ ± 0,89	$17,50^{ef}$ ± 2,07	$10,75^{bc}$ ± 1,25	$10,83^{abcd}$ ± 0,98	$7,25^{bcdef}$ ± 0,88	$4,50^{abc}$ ± 0,55	$4,70^{a}$ ± 0,53	**81,53**
T3	90 % HT 10 % HA 1,0 % CMC	$28,67^{g}$ ± 0,82	$17,33^{def}$ ± 1,96	$14,08^{e}$ ± 0,80	$12,83^{cd}$ ± 1,47	$9,17^{g}$ ± 0,98	$4,92^{c}$ ± 0,20	$4,67^{a}$ ± 0,52	**91,67**
T4	80 % HT 20 % HA 0,0 % CMC	$24,33^{cdef}$ ± 2,66	$18,83^{f}$ ± 1,17	$13,67^{e}$ ± 1,21	$11,91^{abcd}$ ± 1,28	$8,00^{defg}$ ± 0,84	$4,58^{bc}$ ± 0,49	$4,75^{a}$ ± 0,42	**86,08**
T5	80 % HT 20 % HA 0,5 % CMC	$25,50^{defg}$ ± 1,22	$17,67^{ef}$ ± 2,06	$12,58^{cde}$ ± 1,43	$10,75^{abc}$ ± 1,08	$8,33^{efg}$ ± 1,03	$4,55^{abc}$ ± 0,46	$4,72^{a}$ ± 0,45	**84,10**
T6	80 % HT 20 % HA 1,0 % CMC	$28,17^{fg}$ ± 1,17	$15,33^{cde}$ ± 1,86	$12,83^{cde}$ ± 1,60	$12,67^{bcd}$ ± 1,54	$9,25^{g}$ ± 0,88	$4,75^{c}$ ± 0,42	$4,80^{a}$ ± 0,40	**87,80**
T7	70 % HT 30 % HA 0,0 % CMC	$20,00^{ab}$ ± 2,45	$14,17^{bcd}$ ± 1,47	$10,00^{b}$ ± 1,10	$11,25^{abcd}$ ± 1,17	$6,83^{bcde}$ ± 0,75	$4,50^{abc}$ ± 0,55	$4,58^{a}$ ± 0,49	**71,33**
T8	70 % HT 30 % HA 0,5 % CMC	$23,17^{bcde}$ ± 1,94	$9,33^{a}$ ± 1,03	$6,92^{a}$ ± 0,49	$10,25^{ab}$ ± 1,25	$5,67^{b}$ ± 0,61	$3,67^{a}$ ± 0,41	$4,50^{a}$ ± 0,55	**63,50**
T9	70 % HT 30 % HA 1,0 % CMC	$23,50^{bcde}$ ± 1,87	$15,00^{cde}$ ± 1,79	$13,33^{de}$ ± 1,63	$10,33^{ab}$ ± 1,17	$7,58^{cdefg}$ ± 0,66	$4,50^{abc}$ ± 0,45	$4,75^{a}$ ± 0,42	**79,00**
T10	60 % HT 40 % HA 0,0 % CMC	$16,67^{a}$ ± 1,86	$11,17^{ab}$ ± 1,17	$7,17^{a}$ ± 0,75	$10,33^{ab}$ ± 1,03	$6,25^{bc}$ ± 0,76	$4,50^{abc}$ ± 0,45	$4,57^{a}$ ± 0,54	**60,65**
T11	60 % HT 40 % HA 0,5 % CMC	$21,67^{bcd}$ ± 2,42	$8,67^{a}$ ± 0,82	$9,58^{b}$ ± 1,02	$9,83^{a}$ ± 1,17	$3,23^{a}$ ± 0,36	$3,83^{ab}$ ± 0,26	$4,58^{a}$ ± 0,49	**61,40**
T12	60 % HT 40 % HA 1,0 % CMC	$25,67^{efg}$ ± 1,63	$13,67^{bc}$ ± 1,51	$11,08^{bcd}$ ± 1,02	$10,17^{a}$ ± 1,17	$6,67^{bcd}$ ± 0,61	$4,58^{bc}$ ± 0,49	$4,37^{a}$ ± 0,50	**76,20**

* HT: harina de trigo, HA: harina de arrocillo, CMC: carboximetilcelulosa

Resultados en base seca. $\bar{x} \pm \sigma$ (n = 6). Valores con letras diferentes en cada columna, presentan diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$), según el test de Tukey HSD.

El atributo A5 corresponde a la corteza del pan y su calificación fue sobre 10 puntos, los mejores puntajes se los obtuvo para los T6 y T3 con 9,25 y 9,17 puntos. Mientras que las menores puntuaciones fueron para los tratamientos T8 y T11, con 5,67 y 3,23 puntos.

El atributo A7 corresponde a la textura de la miga y su calificación fue sobre 5 puntos, este atributo no presenta una gran variación, los mejores puntajes se los obtuvo para los T1 y T6 con 4,92 y 4,80 puntos. Mientras que las menores puntuaciones fueron para los tratamientos T8 y T12, con 4,50 y 4,37 puntos.

Los resultados del atributo A7 no presentan diferencias estadísticamente significativas, mientras que para el resto de atributos (A1, A2, A3, A4, A5 y A6) si presenta diferencias significativas, de acuerdo al test de Tukey.

Al analizar los resultados del puntaje total, se obtuvieron seis tratamientos calificados como “aptos” y fueron: T3 (91,67 %), T6 (87,80 %), T4 (86,08 %), T1 (84,83 %), T5 (84,10 %) y T2 (81,53 %).

Las muestras que presentaron las mejores puntuaciones fueron aquellas con mayor porcentaje de harina de trigo y con el 1,0 % de CMC. Su incorporación se vió reflejada en un incremento en el volumen y en una buena simetría del pan, que son atributos con mayor peso en la calificación total del producto.

3.5.2.2 Evaluación sensorial de atributos

Para el análisis de la evaluación sensorial se realizaron gráficas de superficie de respuesta para cada uno de los atributos evaluados. Los análisis ANOVA para cada parámetro, cuyos resultados se encuentran tabulados desde la Tabla AXII.5 hasta la Tabla AXII.14 en el ANEXO XII.

En la Figura 3.35 se apreciar como la simetría y apariencia externa del pan disminuye cuando se incrementa el porcentaje de sustitución de harina de

arrocillo, mientras que con el aumento del aditivo se consigue que estas características mejoren. Su mejor puntuación es 9, y se consigue con 10 % de harina de arrocillo y el 0,5 % de CMC.

De la superficie de respuesta se tiene que el valor óptimo para la simetría y apariencia externa, respecto a la variable **(A)** porcentaje de harina de arrocillo: es el 10,0 %, y para la variable **(B)** porcentaje de CMC: es el 0,59 %.

En la Tabla AXII.5 se muestra el análisis ANOVA, para la simetría y apariencia externa, y presenta diferencias estadísticamente significativas para: (A), (B) y también para la interacción entre las variables AB.

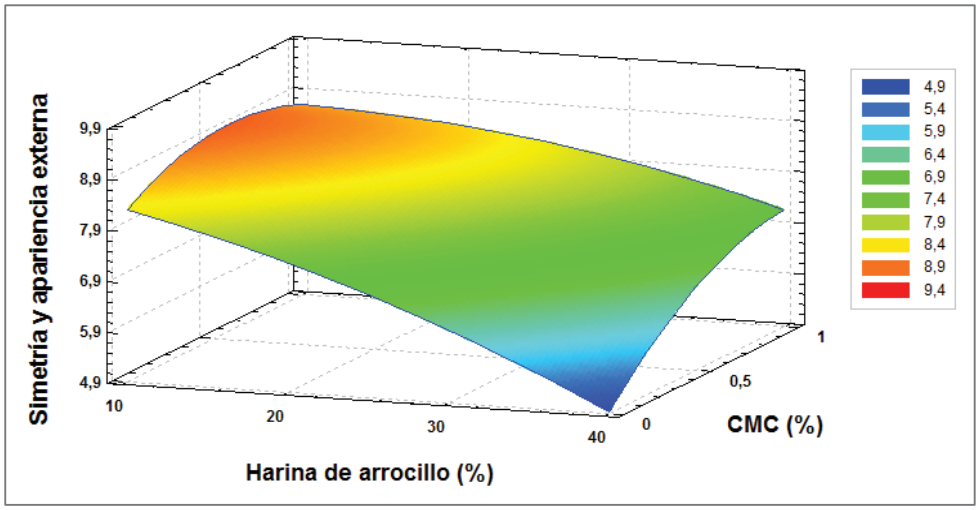


Figura 3.35 Superficie de respuesta para la simetría y apariencia externa de la evaluación sensorial

En la Figura 3.36 se observa que la estructura de la miga disminuye con el incremento de la sustitución de harina de arrocillo, y mejora con el aumento de CMC. Su mejor puntuación sobrepasa los 9 puntos y se consigue con 10 % de harina de arrocillo y el 1,0 % de CMC.

De la superficie de respuesta se tiene que el valor óptimo para la estructura de la miga, respecto a la variable **(A)** porcentaje de harina de arrocillo: es el 10,12 %, y para la variable **(B)** porcentaje de CMC: es el 1,0 %.

En la Tabla AXII.6 se muestra el análisis ANOVA, para la estructura de la miga, y presenta diferencias estadísticamente significativas para: (A), (B), (C) y también para la interacción entre las variables AB.

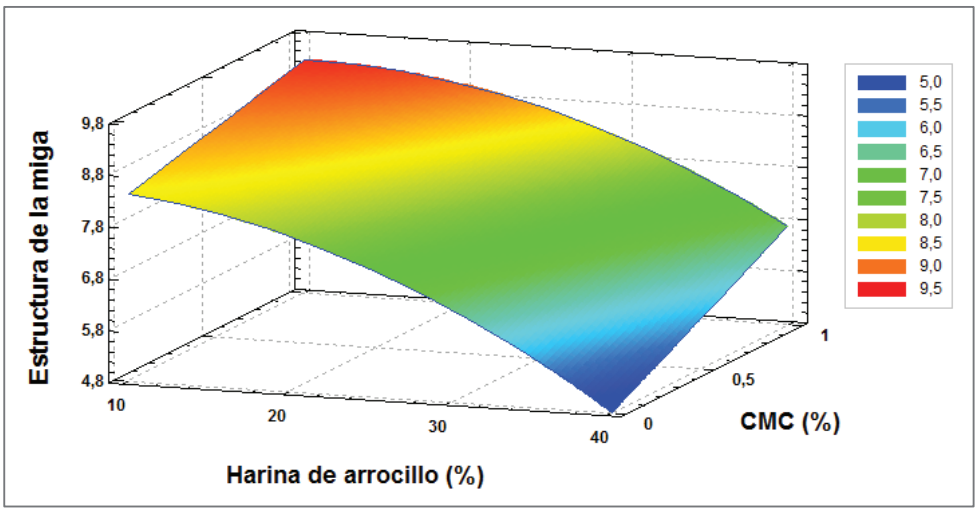


Figura 3.36 Superficie de respuesta para la estructura de la miga de la evaluación sensorial

En la Figura 3.37 se observa la variación del color de la corteza de tal forma que para el 10 % de harina de arrocillo presenta una puntuación baja y se incrementa hasta llegar a un punto máximo cuando dicho porcentaje se encuentra entre el 20 y 30 %, disminuyendo nuevamente cuando alcanza el 40 % de harina de arrocillo.

La mejor puntuación para el color de la corteza, se obtuvo para el tratamiento T5 con 7,37 puntos y cuando el porcentaje de sustitución de harina de arrocillo corresponde al 20 % y el porcentaje de CMC es del 0,5 %.

De la superficie de respuesta se tiene que el valor óptimo para color de la corteza, respecto a la variable **(A)** porcentaje de harina de arrocillo: es el 26,29 %, y para la variable **(B)** porcentaje de CMC: es el 0 %.

En la Tabla AXII.7 se muestra el análisis ANOVA, para el color de la corteza de pan, y no presenta diferencias estadísticamente significativas para las variables (A) y (B), ni la interacción de las mismas.

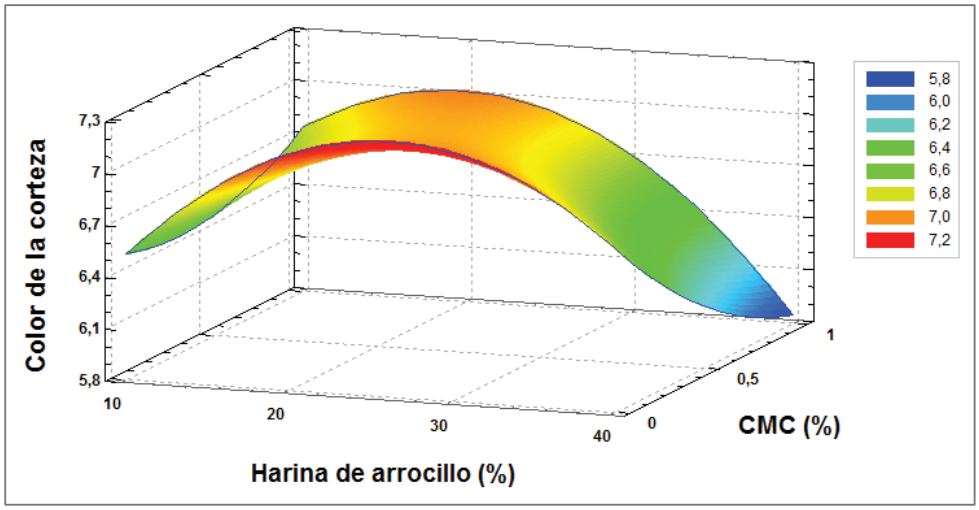


Figura 3.37 Superficie de respuesta para el color de la corteza de la evaluación sensorial

En la Figura 3.38 se observa como varía el color de la miga, y presenta un comportamiento similar al color de la corteza. Inicialmente presenta puntuaciones bajas e incrementa hasta llegar a un punto máximo, cuyo porcentaje se encuentra entre el 20 y 30 %, y disminuye cuando el porcentaje de harina de arrocillo corresponde al 40 %.

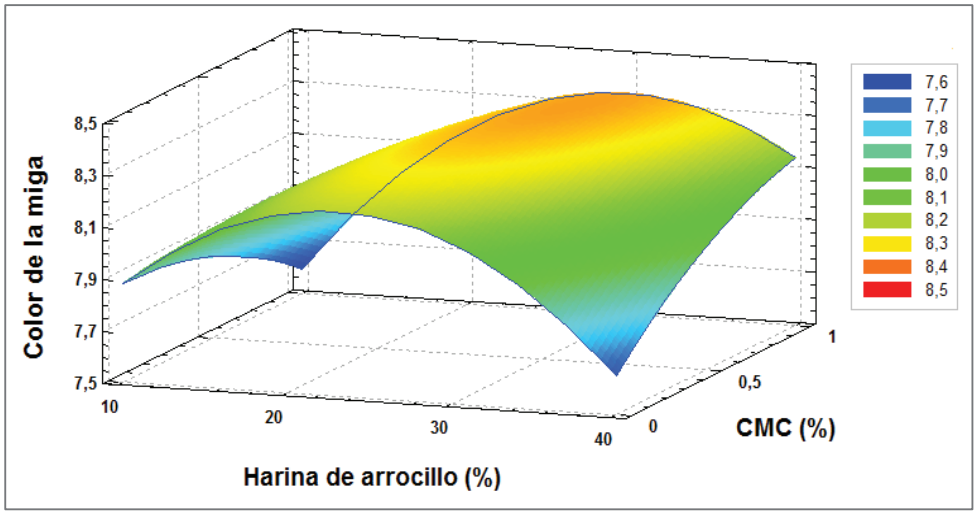


Figura 3.38 Superficie de respuesta para el color de la miga de la evaluación sensorial

La mejor puntuación para el color de la miga de pan se la obtuvo para el tratamiento T6 con 8,51 puntos y cuando el porcentaje de sustitución de harina de arrocillo corresponde al 20 % y el porcentaje de CMC es del 1,0 %.

De la superficie de respuesta se tiene que el valor óptimo para el color de la miga de pan, respecto a la variable **(A)** porcentaje de harina de arrocillo: es el 28,60 %, y para la variable **(B)** porcentaje de CMC: es el 0,83 %.

En la Tabla AXII.8 se muestra el análisis ANOVA, para el color de la miga de pan, no presenta diferencias estadísticamente significativas para las variables (A) y (B), ni en la interacción de las mismas.

En la Figura 3.39 se observa la variación del aroma a pan, de tal forma que este atributo disminuye conforme se incrementa el porcentaje de harina de arrocillo. Las mayores puntuaciones se dan para los tratamientos sin aditivo (CMC).

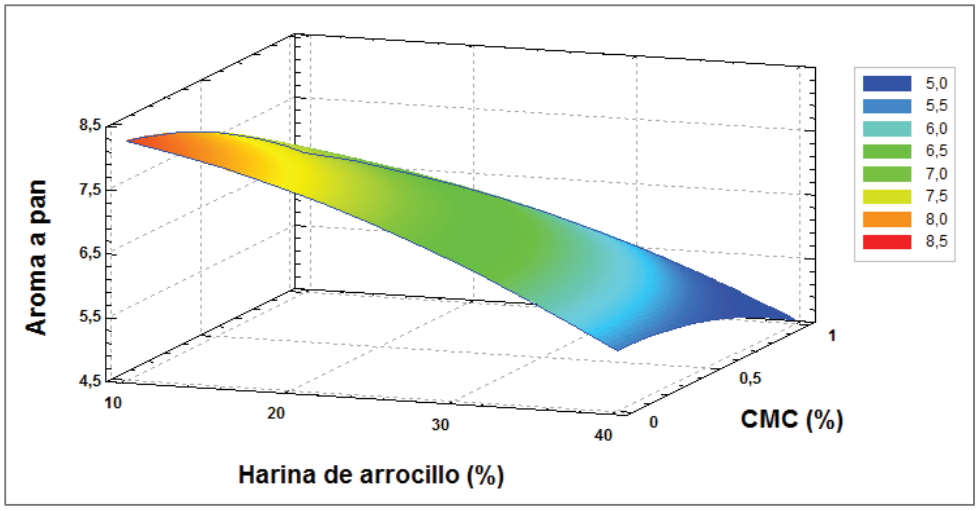


Figura 3.39 Superficie de respuesta para el aroma a pan de la evaluación sensorial

De la superficie de respuesta se tiene que el valor óptimo para el aroma a pan, respecto a la variable **(A)** porcentaje de harina de arrocillo: es el 10,0 %, y para la variable **(B)** porcentaje de CMC: es el 0,0 %.

En la Tabla AXII.9 se muestra el análisis ANOVA, para el aroma a pan, y presenta diferencias estadísticamente significativas para las variables (A) y (B). Sin embargo, para la interacción AB, no presenta diferencias estadísticamente significativas.

En la Figura 3.40 se observa la variación de la presencia de olores extraños, de tal forma que disminuye en forma mínima cuando se incrementa el porcentaje de harina de arrocillo. Sin embargo, se incrementa notoriamente los olores extraños a medida que el porcentaje de CMC se adiciona en las formulaciones.

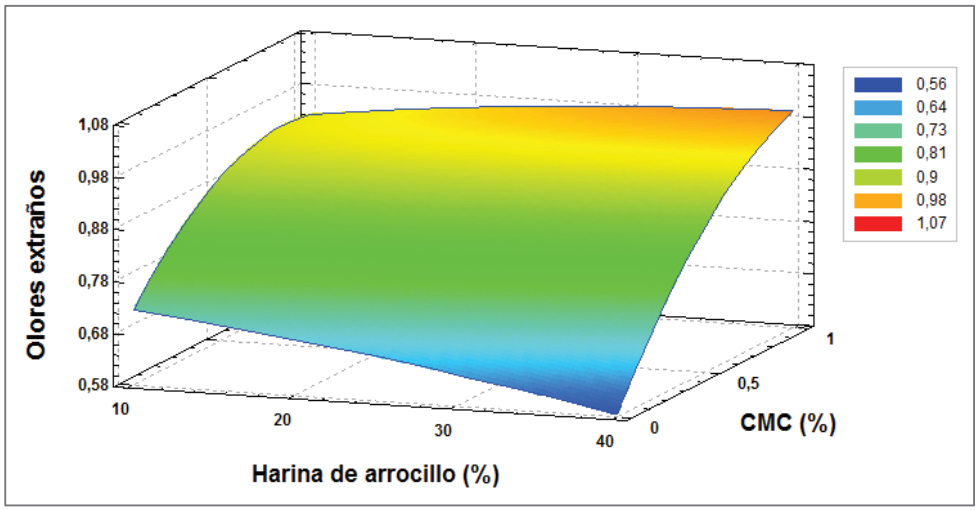


Figura 3.40 Superficie de respuesta para la presencia de olores extraños de la evaluación sensorial

Los tratamientos T1, T4, T7 y T10, presentan las menores puntuaciones y corresponden a los que no poseen CMC. Se encuentran en un rango de 0,63 a 0,58 puntos.

De la superficie de respuesta se tiene que el valor óptimo en la presencia de olores extraños, respecto a la variable **(A)** porcentaje de harina de arrocillo: es el 40,0 %, y para la variable **(B)** porcentaje de CMC: es el 1,0 %.

En la Tabla AXII.10 se muestra el análisis ANOVA, para la presencia de olores extraños, únicamente presenta diferencias estadísticamente significativas para la variable de estudio (B).

En Figura 3.41 se observa la variación de la textura de la miga. Este atributo disminuye cuando se incrementa el porcentaje de harina de arrocillo; sin embargo, se incrementa la puntuación a medida que el porcentaje de CMC aumenta.

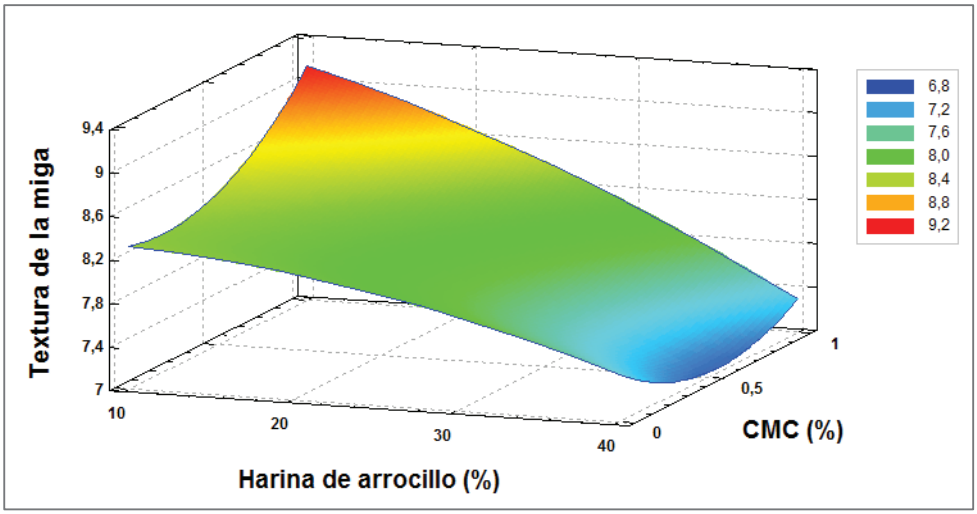


Figura 3.41 Superficie de respuesta para la textura de la miga de la evaluación sensorial

Las mejores puntuaciones para la textura de la miga, se presentaron para los tratamientos T3 y T5 y corresponden a los que poseen 1,0 % de CMC en su formulación. Los puntajes obtenidos para estos tratamientos son de 9,02 y 8,90.

De la superficie de respuesta se tiene que el valor óptimo para la textura de la miga, respecto a la variable **(A)** porcentaje de harina de arrocillo: es el 10,0 %, y para la variable **(B)** porcentaje de CMC: es el 1,0 %.

En la Tabla AXII.11 se muestra el análisis ANOVA, para la textura de la miga, y presenta diferencias estadísticamente significativas para: (A), (B) y también para la interacción entre las variables AB.

En la Figura 3.42 se observa la variación de la textura de la corteza. Para las mezclas sin CMC presentan un ligero incremento en la puntuación con el porcentaje de harina de arrocillo Con la presencia del CMC, la calificación de este atributo tiende a aumentar, concentrándose las mejores puntuaciones cuando las mezclas tienen el 10,0 % de harina de arrocillo y el 1,0 % de CMC.

Las mejores puntuaciones para la textura de la corteza, se presentaron para los tratamientos T2 y T6 con 0,5 y 1,0 % de CMC, respectivamente. El puntaje para ambos tratamientos es de 6,56.

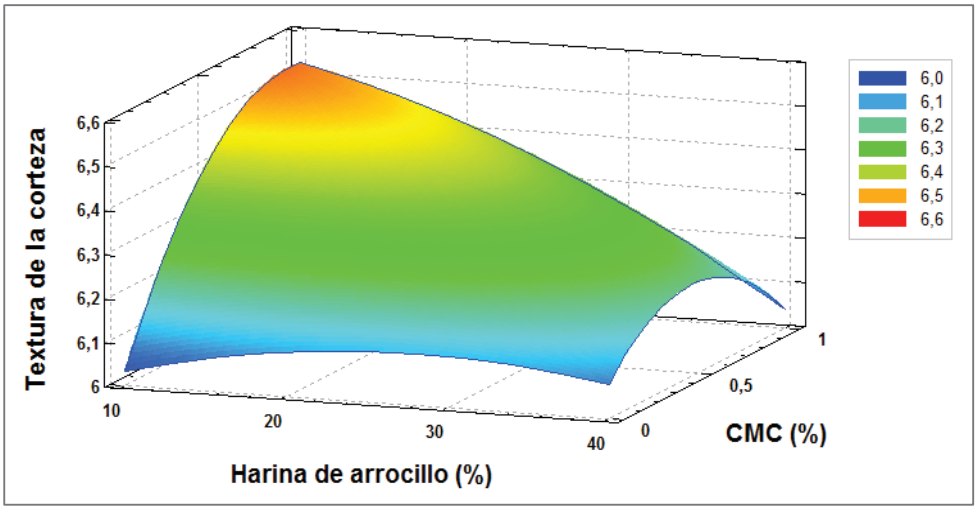


Figura 3.42 Superficie de respuesta para la textura de la corteza de la evaluación sensorial

De la superficie de respuesta se tiene que el valor óptimo para la textura de la corteza, respecto a la variable **(A)** porcentaje de harina de arrocillo: es el 10,0 %, y para la variable **(B)** porcentaje de CMC: es el 0,92 %.

En la Tabla AXII.12 se muestra el análisis ANOVA, para la textura de la corteza, y no presenta diferencias estadísticamente significativas para: (A), (B), ni para las interacciones entre las variables.

En la Figura 3.43 se observa como varía del sabor a pan, así este atributo disminuye con el incremento del porcentaje de harina de arrocillo y de igual manera con la adición de CMC. Sin embargo, no hay una gran variación entre las muestras con y sin aditivo.

Las mejores puntuaciones para el sabor a pan, fueron para los tratamientos T1 y T4, que no contienen CMC, el puntaje para ambos tratamientos es de 9,48 y 9,12 respectivamente.

De la superficie de respuesta se tiene que el valor óptimo para el sabor a pan, respecto a la variable **(A)** porcentaje de harina de arrocillo: es el 10,0 %, y para la variable **(B)** porcentaje de CMC: es el 0,0 %.

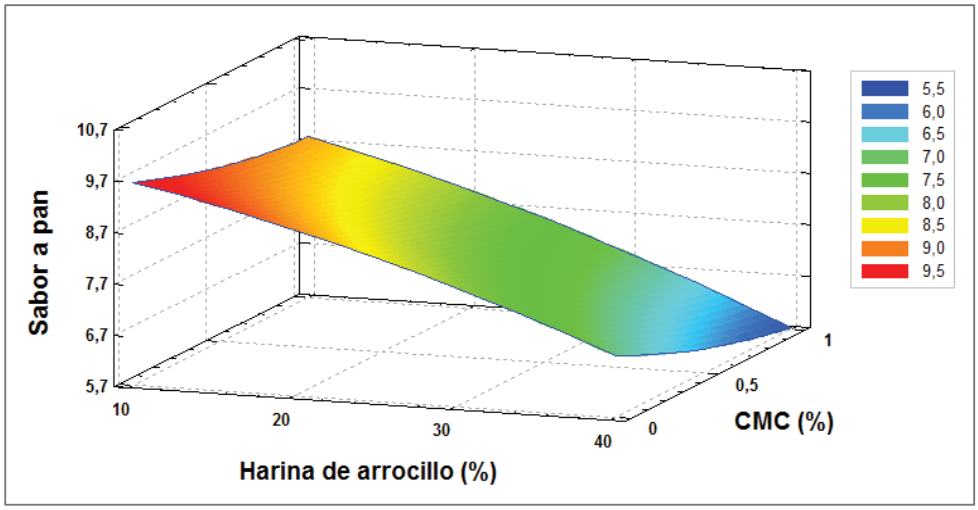


Figura 3.43 Superficie de respuesta para el sabor a pan de la evaluación sensorial

En la Tabla AXII.13 se muestra el análisis ANOVA, para el sabor a pan, y presenta diferencias significativas para las variables (A) y (B). La interacción entre las variables, no presenta diferencias estadísticamente significativas.

En la Figura 3.44 se observa la variación de la presencia de sabores extraños, de tal forma que ésta crece con el incremento del porcentaje de sustitución de harina de arrocillo, y su crecimiento es mayor cuando en la formulación se le adiciona CMC.

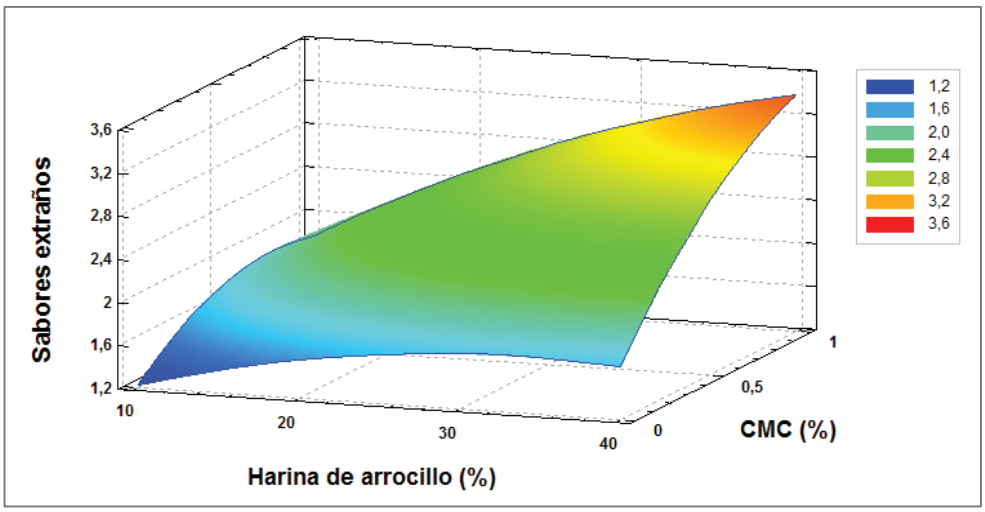


Figura 3.44 Superficie de respuesta para la presencia de sabores extraños de la evaluación sensorial

La presencia de sabores extraños es drástica para los tratamientos T12, con una puntuación de 3,4 puntos. Esto se consigue cuando los porcentajes de sustitución son máximos, tanto para la harina de arrocillo con el 40,0 % y el CMC con el 1,0%.

De la superficie de respuesta se tiene que el valor óptimo para la presencia de sabores extraños, respecto a la variable **(A)** porcentaje de harina de arrocillo: es el 40,0 %, y para la variable **(B)** porcentaje de CMC: es el 1,0 %.

En la Tabla AXII.14 se muestra el análisis ANOVA, para presencia de sabores extraños, y presenta diferencias estadísticamente significativas para: (A), (B) y también para la interacción entre las variables AB.

3.6 DISEÑO DE LA PLANTA DE PANIFICACIÓN

3.6.1 INGENIERÍA CONCEPTUAL

3.6.1.1 Definición del producto

El producto obtenido es pan fresco tipo molde elaborado con una mezcla del 90 % de harina de trigo y 10 % de harina de arrocillo, con las características que se especifican en la Tabla 3.16.

Tabla 3.16. Características finales del producto

Característica	Cantidad
Harina de trigo	90,0 %
Harina de arocillo	10,0 %
Humedad	39,2 %
Masa del molde de pan	600 g
Masa de la rebanada	15 g
No. de rebanadas por molde	40
Tipo de pan	Molde
Empaque	Fundas de polipropileno

3.6.1.2 Capacidad y localización de la planta

- **Capacidad de la planta**

Sobre la base de la proyección realizada en el ANEXO XIII para la población infantil de educación fiscal, fiscomisional y municipal, de la provincia de Pichincha para el período 2015 – 2034. Se estableció una capacidad de 15 t/día, para 200 días laborables al año de acuerdo al calendario escolar.

- **Localización de la planta**

La localización geográfica constituye una de las decisiones más importantes para el proyecto debido a los costos generados en el proceso productivo y la comercialización, ligados a la facilidad de obtención de materias primas, mano de obra, suministros de energía y distribución del producto en el mercado objetivo.

a) Macro localización

Se estableció de acuerdo al mercado objetivo en la Provincia de Pichincha en las cercanías del Cantón Quito, como se visualiza en el ANEXO XVIII. Al tratarse de una producción de pan fresco, se establece que el producto será transportado diariamente a los centros de distribución y consumo. Para lo cual se consideran áreas amplias para recepción, embarque y almacenamiento, por lo que se descarta zonas residenciales y que no posean facilidades industriales.

b) Micro localización

En el ANEXO XVIII, se establece gráficamente tres alternativas en la macro-localización, para establecer el sector idóneo de la planta industrial de panificación, así se tiene: (A) Mitad del Mundo, (B) Tambillo y (C) Pifo.

Los factores considerados para la elección de la localización se detallan y se ponderan según se indica en la Tabla 3.17. Para la elección de la micro-localización se realizó acorde a la alternativa que tenga el mayor puntaje.

Tabla 3.17. Matriz de preferencia para la elección de la microlocalización

Factor relevante	Ponde-ración	A: Mitad del Mundo		B: Tambillo		C: Pifo	
		Califi-cación	Calificación Ponderada	Califi-cación	Calificación Ponderada	Califi-cación	Calificación Ponderada
Disponibilidad de proveedores de materia prima	15	8	120	10	150	9	135
Cercanía al mercado	14	6	84	8	112	7	98
Vías de acceso	14	7	98	9	126	8	112
Disponibilidad de energía	13	7	91	10	130	8	104
Servicios básicos (agua, alcantarrillado y teléfono)	13	8	104	9	117	8	104
Disponibilidad de mano de obra	7	8	56	8	56	7	49
Facilidad de transporte	7	7	49	8	56	6	42
Incentivos y descuentos	5	7	35	8	40	7	35
Costo de la tierra	5	7	35	8	40	5	25
Seguridad	4	6	24	7	28	8	32
Aceptación de la comunidad	3	7	21	9	27	8	24
Total:	**100**		**717**		**882**		**760**

Cada uno de los factores se evalúan como una variable discreta, tomando en cuenta una escala de cumplimiento nulo evaluado con un puntaje de cero y de cumplimiento máximo evaluado con un puntaje de 10.

De los resultados totales obtenidos en la Tabla 3.17, el lugar de mayor puntuación es Tambillo con 882 puntos, por tanto este será el lugar para establecer la planta industrial de panificación. Se ponderó de acuerdo a factores de relevancia, de tal forma que permitan minimizar costos de distribución de la producción, para generar beneficios económicos a lo largo de la vida útil del proyecto.

En el ANEXO XVIII, se muestra la fotografía aérea de la micro localización de la planta, además de las coordenadas geográficas, elevación, área y perímetro.

3.6.2 INGENIERÍA BÁSICA

3.6.2.1 Descripción del alcance del proyecto

El presente proyecto enmarca la producción de pan molde con sustitución parcial de harina de trigo por harina de arrocillo (en relación 90:10), con las especificaciones de la Tabla 3.16. Este abastecerá el consumo de 496 153 niños de la provincia de Pichincha, de acuerdo a la proyección para el año 2034. Por lo tanto, la producción será de 24 816 moldes por día.

El proceso de producción se realizará por lotes, debido al requerimiento del amasado en el cual se maneja 350,8 kg de masa en cada lote. Posterior al amasado, se tiene un proceso continuo pues a partir de la división de la masa todo el lote se desplaza transformándose en el producto hasta el empacado. Los operarios se encargan de sacar de la línea de producción y colocar el pan en la bodega el producto terminado de donde se despachara diariamente.

La operación de la línea de producción de pan molde será de 5 días por semana y se toma en cuenta los días establecidos como vacaciones y feriados de en las instituciones de educación fiscal, en los cuales la planta parará su operación regular. El cronograma de operación regular se muestra en la Tabla 3.18.

Tabla 3.18. Cronograma semanal de operación regular la planta de panificación

DOMINGO	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO
	6 am fin de operación del día 1	6 am fin de operación del día 2	6 am fin de operación del día 3	6 am fin de operación del día 4	6 am fin de operación del día 5	8am-1pm Molienda de arrocillo
6 am inicio de operación del día 1	6 am inicio de operación del día 2	6 am inicio de operación del día 3	6 am inicio de operación del día 4	6 am inicio de operación del día 5	8am-5pm Recepción de materias primas e insumos	

3.6.2.2 Descripción del proceso de producción

Los tiempos y actividades de la línea de producción continua, se pueden observar en el ANEXO XXI, un diagrama de Gantt para el proceso productivo de cada lote.

- **Recepción de la materia prima e insumos**

Las principales materias primas a utilizarse son la harina de trigo y arrocillo. Estas serán receptadas los días viernes al igual que los insumos a partir de las 8 am.

El arrocillo proviene de las piladoras ubicadas en las provincias del Guayas y Los Ríos, y será transportado en camiones tolva que permitan la descarga mediante un sistema de transporte neumático hacía la tolva de arrocillo para molienda.

La harina de trigo se la adquirirá al Grupo Superior, ubicado en la provincia de Pichincha y será transportado al granel con el objetivo de abastecer directamente al silo de almacenamiento, también mediante un sistema de transporte neumático.

En esta etapa se someterá a un control de calidad a los lotes de harina de trigo y de arrocillo que ingresen para la producción, para lo cual se medirá la humedad del producto de tal forma que tenga un valor máximo de 14 %.

También se observará que en el producto no exista la presencia de materia ni olores extraños. Los valores y observaciones deberán ser registrados por cada lote y la hora de análisis, de lo cual se encargará el departamento de control de calidad.

Sin embargo, vale la pena recalcar que para recibir la materia prima, los proveedores deberán entregar un certificado de calidad del lote del producto de un laboratorio acreditado, para el caso de la harina de trigo que cumpla con los requisitos que se especifica en la norma NTE INEN 616 y para el arrocillo las especificaciones de la norma NTE INEN 1236 y 1463.

También se receptará los insumos para panificación, en los cuales se verificará la fecha de elaboración y de expiración, y si el empaque no ha sufrido algún daño solicitando también a los proveedores los certificados de la calidad pertinentes.

Se realizará el control del peso de las materias primas e insumos, verificando las básculas de las tolvas de materia prima, y en el caso de los insumos se pesará de forma aleatoria para controlar que las cantidades recibidas correspondan a las especificadas en las facturas que emiten los proveedores.

- **Almacenamiento de materias primas e insumos**

Previo el control de calidad realizado, el arrocillo será transportado hacia la una tolva con capacidad de 9 m^3, donde permanecerá hasta el siguiente día para la molienda. La harina producida en este proceso será almacenada en un silo con una capacidad de 9 t y 15 m^3. La harina de trigo se almacenará directamente en un silo con capacidad de 120 t y 88 m^3, con control de temperatura y humedad.

Los insumos como el azúcar, sal, grasa y aceite se almacenarán sobre estibas en la bodega de insumos, mientras que la levadura fresca se almacenará en un cuarto frío localizado en dentro de la bodega de insumos, la Tabla 3.19 muestra las presentaciones y cantidades de los insumos a utilizar de forma semanal

Tabla 3.19. Cantidades de insumos utilizados semanalmente

INSUMO	Presentación		Cant. (kg/sem)	Cant. (unid/sem)	Unidades apiladas
Levadura fresca	Caja	25 kg	1 850	75	3
Sal	Saco	50 kg	925	19	6
Azúcar	Saco	50 kg	1 850	38	6
Grasa	Caja	50 kg	1 850	38	3
Aceite	Caneca	20 l	42	3	2
Material de empaque	Paquete	100 fundas		125	10

Todos los insumos detallados serán adquiridos una vez por semana con lo cual se repone este inventario con un nuevo lote.

El agua para la producción se almacenará en un reservorio aéreo de capacidad de 25 m^3. Se repondrá el volumen consumido de forma continua, pues estará conectado a la red de agua potable. Para garantizar la calidad del agua se realizarán pruebas periódicas.

- **Molienda del arrocillo**

El proceso de molienda del arrocillo se realizará los días sábados. Es necesaria la presencia de un operario para el control del proceso, desde la alimentación del arrocillo hasta el sistema de transporte neumático hacia el silo de almacenamiento, donde se controlará la temperatura y humedad.

- **Dosificación de materias primas e insumos**

Las cantidades de los insumos serán pesadas y registradas por el operario encargado de la bodega de insumos. Este entregará a los técnicos de producción, para colocar en el recipiente de amasado junto con el agua, harina de trigo y harina de arrocillo, proporcionadas por las tolvas báscula.

El recipiente de amasado es de tipo removible lo cual facilita la movilización en la zona de dosificación. Para la producción diaria se establece 48 lotes de amasado con intervalo de 30 min entre el inicio de uno y otro.

- **Amasado**

Los ingredientes se mezclarán en la amasadora, de forma que las materias primas e insumos se homogenicen para formar una masa consistente que será la base del proceso de panificación. Se estimó un tiempo de 7,5 min para el amasado, el técnico de producción controlará el desarrollo de la red de gluten previo el retiro del recipiente de amasado.

Este proceso tiene una amasadora de reserva, pues dependen del cumplimiento del tiempo que iniciar cada lote para que el proceso continuo fluya, de tal manera que se alcance el nivel de producción establecido.

- **Elevación y división de masa**

El proceso de elevar la masa consiste en colocar está en la tolva de la divisora de masas. El operario retira el recipiente removible de la amasadora y coloca en la base del elevador, acciona el control de elevación con lo cual se traslada el recipiente hasta la altura necesaria para alcanzar la tolva de la divisora, donde gira el recipiente vaciando el contenido en un tiempo de aproximadamente 2 min.

Una vez colocada la masa en la tolva de la máquina divisora, se da el proceso de división de piezas de masa de 679 g, a una tasa de 1,22 s por cada pieza, con lo cual el lote de masa se divide en alrededor de 10,5 min.

El equipo posee de forma integrada una banda de transporte de 1 m de longitud, que permite depositar la masa en la boleadora para el siguiente proceso.

En la división se hace imprescindible la utilización de 1,4 kg de harina de polveo y 0,18 litros de aceite por cada lote, para facilitar la fluencia de la masa en la tova y evitar se pegue en la banda de salida.

- **Boleado**

En el proceso de boleado utiliza 0,7 kg por lote de harina de polveo, la velocidad de ingreso y salida está es la misma que la velocidad de salida de la divisora, en general se establece que la masa demora 0, 25 min en pasar este equipo y trabaja a una tasa de 1,22 s por cada pieza. La masa sale de la boleadora y cae en el la cámara de reposado.

- **Reposado**

Cada pieza de masa es receptada de la boleadora directamente en la cámara de reposo donde permanece durante 10,5 min. Cada pieza de masa ingresa y sale a una tasa de 1,22 s para cumplir el flujo continuo, por lo tanto todo el lote permanecerá en los contenedores de tela del banco de reposado.

- **Moldeado y laminado**

Las piezas que vienen del reposado se depositan de forma automática en la laminadora que está integrada con la moldeadora, y se utiliza 1,8 kg por lote de harina de polveo. Se establece que 0,25 min es el tiempo que se demora en atravesar la masa y que trabaja a una tasa de 1,22 s por cada pieza, para dar continuidad al proceso del avance de las piezas.

Al finalizar este proceso la masa es depositada en moldes de aluminio, que son trasladados desde el proceso de desmoldado y colocados en la banda de alimentación de moldes en grupos de cinco moldes.

- **Fermentado**

Los moldes con la masa ingresan al fermentador, y de acuerdo a pruebas experimentales, permanecen un tiempo óptimo de fermentación de 71 min. El equipo de fermentación tiene la capacidad de albergar un número piezas superior, al producido en tres lotes, como se puede identificar en el diagrama de Gantt del proceso que se encuentra en el ANEXO XXI.

En la cámara de fermentación se debe controlar que la temperatura sea de 32 ^{o}C y la humedad superior al 85 %, para lo cual se requiere que la alimentación de agua sea de 0,58 kg por cada lote. Una vez concluido este proceso, los moldes son depositados en la banda de ingreso al horno para continuar con el proceso.

- **Horneado**

En este proceso se agruparan en la banda de ingreso al horno 5 grupos de moldes provenientes del fermentador. Esto implica que ingresen 25 moldes a la banda del horno túnel a una velocidad de avance de 0,8 m/min. El horno tiene una capacidad de albergar en su cámara 2 lotes de forma simultánea lo cual permite cumplir con el proceso continuo. Al finalizar el horneado los moldes calientes se trasfieren a la una banda transportadora para trasladarlos al desmoldado.

- **Desmoldado**

Consta de una máquina con un sistema de ventosas con el cual se extrae los panes de los moldes, colocando estos en la banda del equipo de enfriamiento. Los moldes caen sobre una banda que los retira de la línea de producción y son llevados por un operario para alimentar nuevamente al proceso de moldeado. Los moldes serán almacenados en la bodega limpieza, en caso de no ser requeridos o al finalizar cada período semanal de producción.

- **Enfriamiento**

Se utiliza un banco de enfriamiento de tipo espiral con convección libre, donde el tiempo de residencia del producto será de 45 min. Se establece un ancho de banda de 65 cm y una longitud de paso de 180 m para albergar dos lotes de producción, manteniendo una velocidad de avance al momento de la alimentación de 7,5 m/min, para mantener el proceso continuo.

Al finalizar el tiempo de residencia, el pan molde alcanzará una temperatura menor a 40 ^{o}C y una humedad menor al 40 %, con un peso promedio de 600 g. A la salida de este proceso es necesario el control de calidad para cada lote de forma aleatoria. Esto permitirá realizar ajustes en el proceso productivo, en el caso de que exista alguna anomalía.

- **Rebanado**

El pan molde pasa por la banda de ingreso del equipo en forma trasversal al movimiento de avance, esto permite que se realicen 39 cortes para obtener 40 rebanadas con un peso aproximado de 15 g cada una. A continuación pasa cada molde de pan rebanado a la máquina empacadora.

- **Empacado y etiquetado**

Se utiliza fundas de polipropileno de dimensiones 20 x 50 cm para proteger el producto y mantener las características físicas hasta su consumo. Las fundas con el producto serán selladas y etiquetadas de forma automática en el mismo equipo. Seguido se colocaran en gavetas de plástico de 40 x 40 x 60 cm, con capacidad para 18 moldes, lo cual facilitara el almacenamiento y transporte hasta el consumidor. Se establece 11 min para el empacado de todo el lote de producción.

- **Almacenamiento y despacho**

Se almacenará el pan molde empacado en gavetas plásticas, las mismas que serán apiladas hasta cinco niveles sobre estibas. Se trasladan con un montacargas, operado por el responsable de la bodega de almacenamiento de producto terminado, quien también realizará el registro y despacho del producto. Finalizando así el proceso de producción.

3.6.2.3 Balance de masa en cada proceso

Se realizó el balance de masa en cada uno de los procesos con los requerimientos definidos en la Tabla 3.20. Los cálculos del balance de masa se detallan en el ANEXO XIV y los flujos másicos por lote, día y semana se tabulan en el ANEXO XV.

La harina de polveo, el aceite y los porcentajes de pérdidas en cada uno de los procesos, se estimaron a partir de los de resultados presentados en la investigación de Orcés, Paredes, Bermeo y Pincay (2004) en la empresa industrial TIOSA – Supan (pp. 107-109).

Tabla 3.20. Requerimientos de producción para el diseño de planta

Detalle	Cantidad	Unidad
Capacidad de producción diaria	14,88	(t/d)
Moldes diarios a producir	24 816	(moldes/d)

Las cantidades de ingredientes se las calculó a partir características finales del producto que se especifican en la Tabla 3.16 y los requerimientos que se tabulan en la Tabla 3.21.

Tabla 3.21. Balance de masa en el proceso de dosificación

Corrientes / Ingredientes		Porcentaje Panadero (%)	Cantidades Ingredientes (kg/lote)	Cantidades Ingredientes (kg/día)	Cantidades Ingredientes (kg/semanal)
A	Harina de trigo	90,00	173,478	8 326,94	41 634,72
B	Harina de arrocillo	10,00	19,275	925,22	4 626,08
C	Levadura fresca	4,00	7,710	370,09	1 850,43
D	Grasa	4,00	7,710	370,09	1 850,43
E	Azúcar	4,00	7,710	370,09	1 850,43
F	Sal	2,00	3,855	185,04	925,22
G	Agua	68,00	131,072	6 291,47	31 457,35
H	Mezcla de ingredientes	**182,00**	**350,811**	**16 838,93**	**84 194,67**

3.6.2.4 Balance de energía

Se realizan en los procesos de fermentación, horneado y enfriado, debido a que en ellos se presenta un intercambio de energía considerable para transformar el producto. Los cálculos se encuentran detallados en el ANEXO XVI y los resultados se resumen en la Figura 3.45, Figura 3.46 y Figura 3.47.

- **Fermentado**

Figura 3.45 Diagrama de entradas y salidas de flujo de energía en la cámara de fermentación por lote

- **Horneado**

En este proceso el producto se transforma de masa cruda a pan cocido, con la energía necesaria que se visualiza en la Figura 3.46.

Figura 3.46 Diagrama de entradas y salidas de flujo de energía en el horno por lote

- **Enfriado**

El balance de energía se realiza en cada molde de pan y calor perdido por el pan es el calor ganado por el ambiente.

Figura 3.47 Diagrama de la energía perdida en el banco de enfriamiento por lote

En la Tabla 3.22, se presenta el consumo energético en los procesos de la maquinaria utilizada. Se considera las tasas de flujo necesarias para cumplir con la producción objetivo.

Tabla 3.22. Consumo energético semanal por maquinaria en los diferentes procesos

Proceso	Equipos	Potencia (kW)	Tiempo (h/d)	Frec. diaria	Frec. semanal	kWh/ semana
Molienda	Molino de martillos	22,37	8,00	1	1	178,97
Almacena-miento	Tanque de reserva de agua	1,12	1,60	48	5	8,95
Tamizado	Tamiz para harina de trigo	4,10	0,80	48	5	16,41
	Tamiz para harina de arrocillo	1,49	0,80	48	5	5,97
Dosificado	Tanque dosificador de agua	0,02	2,08	48	5	0,25
	Tolva báscula para harina de arrocillo	0,05	0,80	48	5	0,20
	Tolva báscula para harina de trigo	0,05	0,80	48	5	0,20
	Compresor	5,52	8	1	1	44,15
		5,52	0,80	48	5	22,07
	Balanza electrónica	0,006	24,00	48	5	0,72
Amasado	Amasadora	63	6	48	5	1 890,00
	Elevador de Masas	4,47	1,6	48	5	35,79
Dividido	Divisora de masas	2,24	8,8	48	5	98,43
Boleado	Boleadora	1,1	8,8	48	5	48,40
Reposado	Banco de reposo	8,63	24	48	5	1 035,60
Laminado	Laminadora/Moldeadora	1,1	8,8	48	5	48,40
	Banda transportadora	1,1	24	48	5	132,00
Fermentado	Cámara de fermentación	8,63	24	48	5	1 035,60
	Banda transportadora	1,1	24	48	5	132,00
Horneado	Horno túnel	111,9	24	48	5	13 425,98
		5,5	24	48	2	264,00
	Banda transportadora	1,1	24	48	5	132,00
Desmoldeado	Desmoldeadora	18,5	8,8	48	5	814,00
	Banda transportadora	1,1	24	48	5	132,00
Enfriado	Banco de enfriamiento	31	8,8	48	5	1 364,00
Rebanado	Rebanadora	5,87	8,8	48	5	258,28
Empacado	Empacadora etiquetadora	5,5	8,8	48	5	242,00
				Total:		21 766,36

3.6.2.5 Diagrama de bloques del proceso (BFD)

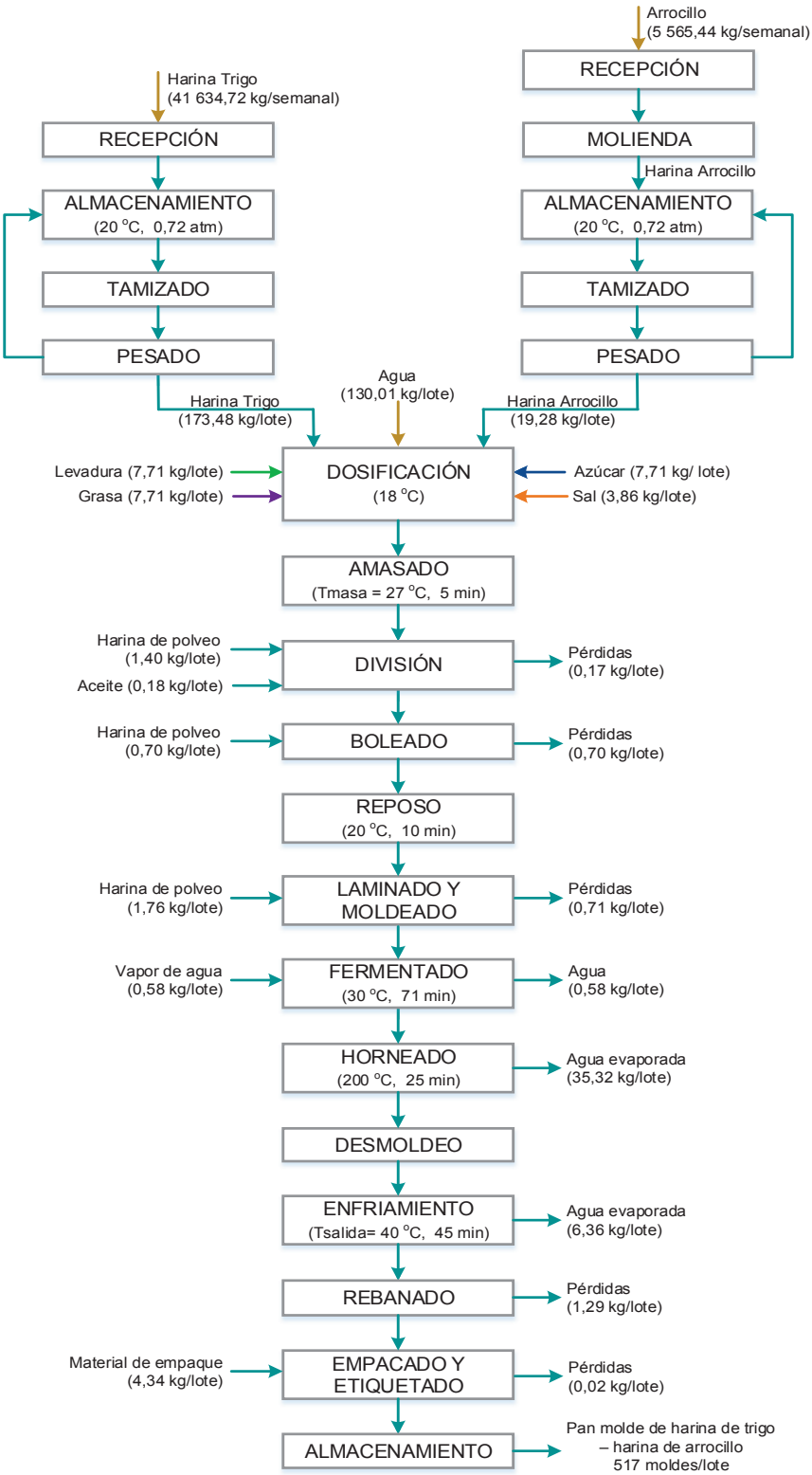


Figura 3.48 Diagrama de bloques propuesto para la elaboración de pan con 90 % de harina de trigo y 10 % de harina de arrocillo

3.6.2.6 Diagrama de flujo del proceso (PFD)

En la Figura 3.49 se detalla la simbología de los equipos utilizados en el PFD, mientras que en el ANEXO XIX.

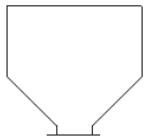
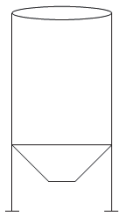
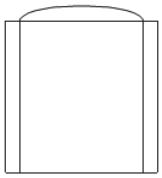
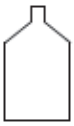
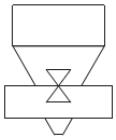
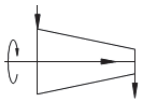
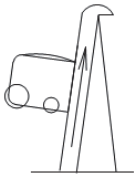
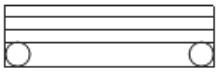
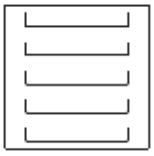
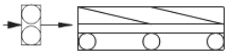
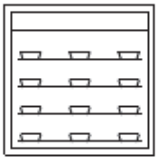
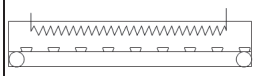
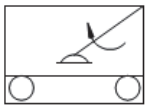
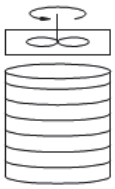
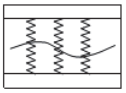
			
Tolva	**Molino de martillos**	**Silo**	**Tanque de reserva**
			
Tamiz	**Tanque dosificador**	**Tolva báscula**	**Compresor**
			
Amasadora	**Elevador de masas**	**Divisora**	**Boleadora**
			
Banco de reposo	**Laminadora/ moldeadora**	**Cámara de Fermentación**	**Horno túnel**
			
Desmoldeadora	**Banco de enfriamiento**	**Rebanadora**	**Empacadora / Etiquetadora**

Figura 3.49 Simbología de los equipos principales utilizados en el PFD

3.6.2.7 Listado de equipos

Los equipos utilizados en los diferentes procesos de la línea de producción de pan se detallan en la Tabla 3.23, codificados de acuerdo al área donde se encuentran.

Tabla 3.23. Equipos utilizados en la planta de producción

Área		Proceso	Equipo	Codificación
1	Materia Prima	Molienda	Tolva de arrocillo	TV-121
			Molino de martillos	M-111
		Almacenamiento	Silo de almacenamiento de harina de trigo con báscula	SB-121
			Silo de almacenamiento de harina de arrocillo con báscula	SB-122
			Tanque de reserva de agua	TK-111
		Tamizado	Tamiz para harina de trigo	TA-121
			Tamiz para harina de arrocillo	TA-122
		Dosificación	Tanque dosificador de agua	TD-111
			Tolva báscula para harina de trigo	TB-121
			Tolva báscula para harina de arrocillo	TB-122
			Compresor	C-111
2	Masa Cruda	Amasado	Amasadora	A-211
			Elevador de masas	EM-211
		División	Divisora de masas	DV-211
		Boleado	Boleadora	B-211
		Reposo	Banco de reposo	RP-211
		Laminado y moldeado	Laminadora / Moldeadora	LM-211
			Banda transportadora	BT-211
		Fermentado	Cámara de fermentación	CF-211
			Banda transportadora	BT-222
3	Producto Horneado	Horneado	Horno túnel	H-311
			Banda transportadora	BT-321
		Desmoldeado	Desmoldeadora	DM-311
			Banda transportadora	BT-322
		Enfriamiento	Banco de enfriamiento	BE-311
4	Producto Terminado	Rebanado	Rebanadora	RB-411
		Empacado	Empacadora / Etiquetadora	EM-411

El dimensionamiento de las tolvas, silos de almacenamiento de harinas y tanque de reserva de agua se encuentra detallado en el ANEXO XVII. La selección de los equipos se realizó sobre la base de las corrientes calculadas en el balance de masa y los requerimientos de producción, y se detallan en el ANEXO XXV.

.

3.6.3 DISEÑO BÁSICO DE LA PLANTA

3.6.3.1 Estimación de áreas de producción

Para estimar las áreas de producción se aplicó el método de Guerchet. Se estableció que en la planta los operarios tendrán una estatura promedio de 173 cm, con lo que se calculó el factor k. En la Tabla 3.24 se tabulan los valores obtenidos y el área total que interviene para cada área de procesamiento.

3.6.3.2 Distribución en planta (Layout)

La distribución en planta se observa en el ANEXO XX. Se realizó en forma de U, pues esta es una organización más compacta y permite optimizar los recorridos y espacios muertos de equipos grandes (cámara de fermentación y el horno túnel).

3.6.3.3 Diagrama de Gantt del proceso de producción

Mediante el diagrama de Gantt se estimaron los tiempos de cada actividad y la secuencia del proceso de producción, analizando la acumulación del producto en cada proceso. Esta herramienta también permitió establecer la capacidad necesaria de los equipos, donde es necesaria la permanencia del producto por mayores períodos de tiempo.

En el ANEXO XXI se puede ver el flujo de tres lotes de producción, con lo cual se pudo identificar las etapas donde el producto se detiene por mayor tiempo.

Tabla 3.24. Estimación del área de producción con la metodología de Guerchet

Área		Equipos	L (m)	A (m)	H (m)	n	k	Ss (m^2)	Sg (m^2)	Se (m^2)	St (m^2)
1	Manejo de materia prima	Tolva de arrocillo para molienda	2,5	2,5	5,3	2,0	0,2	6,3	12,5	3,0	21,8
		Molino de martillos	1,6	0,8	1,5	2,0	0,6	1,3	2,5	2,2	5,9
		Silo de almacenamiento de harina de trigo con báscula	3,0	3,0	17,4	2,0	0,0	9,0	18,0	1,3	28,3
		Silo de almacenamiento de harina de arrocillo con báscula	2,6	2,6	6,5	3,0	0,1	6,5	19,5	3,4	29,5
		Tanque de reserva de agua	4,0	2,5	3,0	2,0	0,3	10,0	20,0	8,6	38,6
		Tamiz para harina de trigo	1,5	0,5	2,0	4,0	0,4	0,8	3,0	1,6	5,4
		Tamiz para harina de arrocillo	1,3	0,4	1,5	4,0	0,6	0,5	2,1	1,5	4,1
		Tanque dosificador de agua	0,6	0,6	3,0	1,0	0,3	0,4	0,4	0,2	0,9
		Tolva báscula para harina de arrocillo	0,9	0,6	0,9	2,0	0,9	0,5	1,0	1,5	3,1
		Tolva báscula para harina de trigo	0,9	0,6	3,0	2,0	0,3	0,5	1,0	0,5	2,0
		Tolva de harina de polveo	1,2	1,0	3,0	1,0	0,3	1,2	1,2	0,7	3,1
		Compresor	1,6	0,8	1,2	2,0	0,7	1,3	2,6	2,8	6,6
		Balanza electrónica	0,3	0,3	0,1	1,0	6,8	0,1	0,1	1,2	1,4
2	Manejo de masa cruda	Amasadora	2,7	1,6	2,7	2,0	0,3	4,4	8,8	4,3	17,4
		Elevador de Masas	2,7	1,6	4,0	3,0	0,2	4,3	13,0	3,7	21,0
		Divisora de masas	1,9	1,8	1,8	2,0	0,5	3,4	6,8	4,8	15,0
		Boleadora	1,5	1,5	1,8	2,0	0,5	2,3	4,5	3,2	10,0
		Banco de reposo	2,8	1,9	2,6	2,0	0,3	5,4	10,8	5,4	21,6
		Laminadora/Moldeadora	3,4	1,0	2,2	2,0	0,4	3,4	6,8	4,1	14,2
		Banda transportadora	2,0	0,7	1,2	1,0	0,7	1,4	1,4	2,0	4,8
		Caldero	1,8	1,8	3,0	4,0	0,3	3,2	13,0	4,6	20,8
		Cámara de fermentación	7,3	1,0	6,0	2,0	0,1	7,0	14,0	3,0	24,0
		Banda transportadora	4,3	1,0	1,2	2,0	0,7	4,3	8,6	9,2	22,1
3	Manejo de producto horneado	Horno túnel	23,1	4,3	3,5	2,0	0,2	99,2	198,5	72,7	370,4
		Banda transportadora	4,3	1,0	1,2	1,0	0,7	4,3	4,3	6,2	14,8
		Desmoldadora	1,3	0,7	2,7	2,0	0,3	0,8	1,7	0,8	3,3
		Banda transportadora	2,0	0,7	1,2	1,0	0,7	1,4	1,4	2,0	4,8
		Banco de enfriamiento	6,8	5,2	4,5	3,0	0,2	35,4	106,1	27,0	168,5
4	Manejo de producto terminado	Rebanadora	2,7	0,8	2,0	2,0	0,4	2,2	4,3	2,8	9,3
		Empacadora etiquetadora	5,3	2,3	1,6	3,0	0,5	12,3	36,9	26,7	75,8
						Area total (m^2)					**968,5**

3.6.3.4 Distribución del personal

En el ANEXO XXII se puede ver la distribución del personal en los turnos establecidos para el funcionamiento de las áreas administrativas, productivas y de servicios generales de la planta, considerando el período de operación diario.

3.7 EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA PRE-FACTIBILIDAD DE INSTALACIÓN DE LA PLANTA DISEÑADA

3.7.1 PARÁMETROS ECONÓMICOS DEL PROYECTO

Para realizar la evaluación económica, se establecen parámetros económicos base como: los costos de adquisición de maquinaria y equipo, las remuneraciones del personal y los costos de insumos y materiales necesarios para la producción.

Los parámetros económicos base para este proyecto se tabulan en la Tabla 3.25 y fueron establecidos tomando como referencia la normativa vigente de tributación y manejo de recursos humanos.

3.7.2 INVERSIÓN DEL PROYECTO

En la Tabla 3.26 se detallan los rubros necesarios para la adquisición del terreno en la zona establecida en la micro localización, así como los costos para las instalaciones necesarias que permitan la operación de la planta.

En la Tabla 3.27 se encuentran detallados los valores necesarios para la adquisición del equipo y mobiliario de oficina, de acuerdo a las necesidades establecidas para la operación y gerencia de la planta.

En la Tabla 3.28 se muestra el detalle de valor necesario para la adquisición de la maquinaria y equipo para la planta de producción.

Tabla 3.25. Parámetros económicos del proyecto

Nombre del parámetro	Unidad	Valor
Producto	-	Pan molde
Capital aportado	USD	**900 000**
Costo de construcción de bodegas y planta de procesamiento	USD/m^2	250
Costo de construcción de oficinas comedor y vestidores	USD/m^2	400
Costo de construcción de áreas verdes, parqueaderos y guardianía	USD/m^3	180
Costo de adecuación de áreas libres y otros	USD/m^2	25
Porcentaje correspondiente al aporte patronal al IESS	%	12,15
Impuesto a la renta sobre utilidades (Marzo 2016)	%	22
Interés bancario por anualidad	%	14
Mantenimiento de maquinaria y equipos	%	5
Mantenimiento de bienes inmuebles	%	2
Costo adicional para instalación de maquinaria y equipos	%	30
Número de máximo de turnos de trabajo	turnos	3
Duración de capital de operación	meses	1
Horas trabajadas en el turno nocturno	horas	8
Tiempo de amortización de edificios	años	20
Tiempo de amortización de maquinaria y equipo	años	10
Tiempo de amortización de muebles y equipo de oficina	años	5
Tiempo de amortización equipo de computación	años	3

Tabla 3.26. Costos de adquisición del terreno y construcciones

Designación	Área (m^2)	(USD/m^2)	Valor total (USD)	Dividendo anual por amortización (USD)
TERRENO	3 090,00	32,00	98 880,00	4 944,00
CONSTRUCCIONES				
Bodegas y planta de procesamiento	1 202,00	250,00	300 500,00	15 025,00
Oficinas comedor y vestidores	390,00	400,00	156 000,00	7 800,00
Áreas verdes, parqueaderos y guardianía	154,00	180,00	27 720,00	1 386,00
Áreas libres y otros	601,00	25,00	15 025,00	751,25
Total construcciones			499 245,00	24 962,25
Total terreno y construcciones			**598 125,00**	**29 906,25**

Tabla 3.27. Costos de adquisición del equipo y mobiliario de oficina

Denominación	Número de unidades	Valor unitario (USD)	Valor total (USD)	Dividendo anual por amortización (USD)
Escritorio ejecutivo	3	400,00	1 200,00	240,00
Escritorio de secretaria	1	350,00	350,00	70,00
Escritorio	7	300,00	2 100,00	420,00
Mesas de reuniones	1	600,00	600,00	120,00
Mesas de trabajo	6	220,00	1 320,00	264,00
Mesas de comedor	5	180,00	900,00	180,00
Sillas para escritorio	8	150,00	1 200,00	240,00
Sillas para secretaria	1	180,00	180,00	36,00
Sillas para trabajo	29	80,00	2 320,00	464,00
Sillas para comedor	20	45,00	900,00	180,00
Sillones de recepción	2	320,00	640,00	128,00
Estantes de archivo	6	300,00	1 800,00	360,00
Repisas	2	160,00	320,00	64,00
Computadores	9	700,00	6 300,00	2 100,00
Impresora laser	1	600,00	600,00	200,00
Impresora	2	200,00	400,00	133,33
Teléfonos fijos	9	250,00	2 250,00	750,00
TOTALES	**112**		**23 380,00**	**5 949,33**

Tabla 3.28. Costos de adquisición del equipo y mobiliario de oficina

Equipo	Unidad productiva	Cant.	Valor unitario (USD)	Valor total (USD)	Dividendo anual por amortización (USD)
Tolva de arrocillo para molienda	Molienda	1	6 000,00	6 000,00	600,00
Molino de martillos	Molienda	1	10 560,00	10 560,00	1 056,00
Silo almacenamiento de harina de trigo con báscula	Almacenamiento	1	21 600,00	21 600,00	2 160,00
Silo almacenamiento de harina de arrocillo con báscula	Almacenamiento	1	15 600,00	15 600,00	1 560,00
Tanque de reserva de agua	Almacenamiento	1	9 360,00	9 360,00	936,00
Tamiz para harina de trigo	Tamizado	1	3 420,00	3 420,00	342,00
Tamiz para harina de arrocillo	Tamizado	1	2 580,00	2 580,00	258,00

Tabla 3.28 Costos de adquisición del equipo y mobiliario de oficina **(continuación…)**

Equipo	Unidad productiva	Cant.	Valor unitario (USD)	Valor total (USD)	Dividendo anual por amortización (USD)
Tanque dosificador de agua	Dosificado	1	1 704,00	1 704,00	170,40
Tolva báscula para harina de arrocillo	Dosificado	1	2 844,00	2 844,00	284,40
Tolva báscula para harina de trigo	Dosificado	1	3 300,00	3 300,00	330,00
Tolva de harina de polveo	Dosificado	1	1 944,00	1 944,00	194,40
Compresor	Dosificado	1	7 560,00	7 560,00	756,00
Balanza electrónica	Dosificado	1	480,00	480,00	48,00
Amasadoras	Amasado	2	15 000,00	30 000,00	3 000,00
Elevador de Masas	Amasado	1	10 200,00	10 200,00	1 020,00
Divisora de masas	Dividido	1	24 000,00	24 000,00	2 400,00
Boleadora	Boleado	1	10 800,00	10 800,00	1 080,00
Banco de reposo	Reposado	1	15 600,00	15 600,00	1 560,00
Laminadora/ Moldeadora	Laminado/ Moldeado	1	6 000,00	6 000,00	600,00
Banda transportadora	Laminado/ Moldeado	1	4 800,00	4 800,00	480,00
Moldes	Laminado/ Moldeado	2500	7,20	18 000,00	1 800,00
Cámara de fermentación	Fermentado	1	24 000,00	24 000,00	2 400,00
Banda transportadora	Fermentado	1	3 600,00	3 600,00	360,00
Horno túnel	Horneado	1	120 000,00	120 000,00	12 000,00
Banda transportadora	Horneado	1	4 800,00	4 800,00	480,00
Desmoldadora	Desmoldado	1	14 400,00	14 400,00	1 440,00
Banda transportadora	Desmoldado	1	3 600,00	3 600,00	360,00
Banco de enfriamiento	Enfriado	1	68 040,00	68 040,00	6 804,00
Rebanadora	Rebanado	1	3 840,00	3 840,00	384,00
Empacadora etiquetadora	Empacado	1	12 000,00	12 000,00	1 200,00
Montacargas	Despacho	1	24 000,00	24 000,00	2 400,00
TOTAL				**484 632,00**	**48 463,20**

La Tabla 3.29 muestra la inversión total necesaria para la instalación de la planta de producción de pan molde con sustitución parcial de harina de arrocillo. Se consideran valores adicionales para la instalación de tuberías y accesorios.

Además se estima una capital de operación del 15 % de la inversión fija, lo cual permitirá arrancar la producción y mantener los costos fijos y variables que se generen hasta lograr ingresos y se supere el punto de equilibrio.

Tabla 3.29. Inversión total para la planta de panificación

Denominación	Valor (USD)	Contribución porcentual (%)
Inversión fija		
Terreno y construcciones	598 125,00	40,74
Maquinaria y equipo	484 632,00	33,01
Instalación de maquinaria y equipos	145 389,60	9,90
Instrumentación	10 000,00	0,68
Tuberías y accesorios	15 000,00	1,02
Equipo y muebles de oficina	23 380,00	1,59
Capital de operación	191 478,99	13,04
TOTAL INVERSIONES	**1 468 005,59**	**100,00**

3.7.3 COSTOS DE PRODUCCIÓN

La Tabla 3.30 muestra los costos de materia prima considerando un periodo anual en el cual la planta operara durante 10 meses.

La Tabla 3.31 muestra los costos de insumos utilizados en la producción considerando un periodo anual en el cual la planta operaría durante 10 meses, se establece los costos unitarios en función del mercado nacional y considerando la entrega en la zona establecida para la construcción de la planta.

Los costos de producción incluyen los generados debido al personal necesario para realizar las actividades normales durante el ciclo productivo, costos de materias primas e insumos, depreciaciones de activo fijo y mobiliario de oficina.

Tabla 3.30. Costos de materia prima para la operación de la planta de panificación

Materia prima	Costo de materia prima (USD/kg)	Cantidad de materia prima (kg / d)	Cantidad de materia prima (kg /semana)	Cantidad de materia prima (kg / mes)	Cantidad de materia prima (kg / año)	Costo de materia prima por año (USD)
Arrocillo	0,63	1 113,09	5 565,44	24 487,94	244 879,36	153 808,73
Harina de trigo	0,89	8 326,94	41 634,72	183 192,77	1 831 927,68	1 631 807,90
Total					**2 076 807**	**1 785 616,63**

También es necesario identificar los costos fijos y variables que se incurren en un periodo productivo para determinar el punto de equilibrio.

En el ANEXO XXIII, se presenta la nómina de personal administrativo y operativo de la planta, donde se detallan los costos de cada puesto de trabajo.

Tabla 3.31. Costos de insumos para la operación de la planta de panificación

Insumo	Costo unitario (USD)	Cantidad (Insumo / d)	Cantidad (Insumo /semana)	Cantidad (Insumo /mes)	Cantidad (Insumo /año)	Costo de insumo por año (USD)
Levadura fresca [kg]	5,710	370,09	1 850,45	7 771,89	77 718,90	443 774,92
Sal [kg]	0,857	185,07	925,35	3 886,47	38 864,70	33 287,62
Azúcar [kg]	0,914	370,09	1 850,45	7 771,89	77 718,90	71 003,99
Grasa [kg]	2,056	370,09	1 850,45	7 771,89	77 718,90	159 758,97
Agua [m^3]	0,822	6,29	31,46	132,12	1 321,21	1 086,35
Material de empaque [paquete 100 unidades]	1,142	248,16	1 240,80	5 211,36	52 113,60	59 513,73
Aceite [kg]	2,284	8,42	42,10	176,82	1 768,20	4 038,57
Energía Eléctrica [kWh]	0,114	4 353,27	21 766,36	91 418,73	914 187,26	104 400,19
Total						**876 864,33**

Se considera para el cálculo lo correspondiente a los beneficios sociales que debe cubrir la empresa de acuerdo al a normativa tributaria y laboral.

La Tabla 3.32 muestra los costos totales anuales de la producción: materiales directos e indirectos, la carga fabril, depreciaciones, valores de mantenimiento e imprevistos considerando para estos un 5 % del subtotal.

Tabla 3.32. Costos totales anuales para la operación de la planta de panificación

Detalle	Valor (USD)	Costos Fijos (USD)	Costos fijos unitarios (USD)	Costos variables unitarios (USD)	Contribución porcentual (%)
Materiales directos	1 785 616,63			0,3426	50,52
Mano de obra directa	446 573,40	446 573,40	0,0857		12,63
CARGA FAFRIL					
Mano de obra indirecta	162 492,00	162 492,00	0,0312		4,60
Materiales indirectos	876 864,33			0,1683	24,81
DEPRECIACIONES					
Construcciones	24 962,25	24 962,25	0,0048		0,71
Maquinaria y Equipo	48 463,20	48 463,20	0,0093		1,37
Muebles y equipos de oficina	5 949,33	5 949,33	0,0011		0,17
Otros Activos	3 000,00	3 000,00	0,0006		0,08
MANTENIMIENTO					
Maquinaria y Equipo	2 423,16	2 423,16	0,0005		0,07
Edificios	9 984,90	9 984,90	0,0019		0,28
SUB-TOTAL COSTOS	**3 366 329,20**	**703 848,24**	**0,1351**		
Imprevistos	168 316,46	168 316,46	0,0323		4,76
TOTAL, COSTOS ANUALES	**3 534 645,66**	**872 164,70**	**0,1674**	**0,5109**	**100,00**

3.7.4 PROYECCIÓN DE VENTAS Y FLUJO DE CAJA

Se estima el valor de ventas considerando un precio de venta al público (PVP) de 0,85 USD por cada molde de pan. Además se considera un mercado estable al estar dirigido el producto para la población infantil de las escuelas fiscales pertenecientes a la provincia de Pichincha.

La Tabla 3.33 muestra la cantidad de productos vendidos y la proyección los ingresos por ventas anuales de la planta.

Una vez establecida la inversión inicial para la construcción, puesta en marcha de la planta, los costos de operación y determinados los ingresos percibidos por ventas del producto. Se realiza el flujo de caja para el periodo de vida del proyecto, el mismo que se muestra en el ANEXO XXIV.

Tabla 3.33. Ingresos por ventas anuales de pan molde

Producto	Cantidad (moldes /día)	Cantidad (moldes /semana)	Cantidad (moldes /mes)	Cantidad (10 meses) (moldes /año)	Precio de venta (USD /molde)	Ingresos anuales (USD)
Pan molde de 600 g	24 816	124 080	521 136	5 211 360	0,85	4 429 656,00
Total ingresos por ventas anuales						**4 169 088,00**

3.7.5 PUNTO DE EQUILIBRIO

Se estableció un periodo de análisis de un año para el cálculo del punto de equilibrio, dentro del cual se consideran los costos fijos y los costos variables, en función del nivel de producción proyectado para establecer los costos totales.

El punto de equilibrio se establece cuando los ingresos totales igualan a los costos totales, es decir la utilidad es igual a cero, a partir de este nivel de producción existiría una utilidad neta con cada producto. La Tabla 3.34 muestra los costos e ingresos para diferentes niveles de producción.

Tabla 3.34. Costos e ingresos para diferentes niveles de producción de pan molde

Unidades Producidas por año (moldes)	Porcentaje respecto a la producción anual	Costos Fijos (USD)	Costos Variables (USD)	Costos Totales (USD)	Ventas Anuales (USD)
0,00	0 %	872 164,70	0,00	872 164,70	0,00
521 136,00	10 %	872 164,70	266 248,10	1 138 412,80	442 965,60
1 042 272,00	20 %	872 164,70	532 496,19	1 404 660,89	885 931,20
1 563 408,00	30 %	872 164,70	798 744,29	1 670 908,99	1 328 896,80
2 084 544,00	40 %	872 164,70	1 064 992,38	1 937 157,09	1 771 862,40
2 605 680,00	50 %	872 164,70	1 331 240,48	2 203 405,18	2 214 828,00
3 126 816,00	60 %	872 164,70	1 597 488,57	2 469 653,28	2 657 793,60
3 647 952,00	70 %	872 164,70	1 863 736,67	2 735 901,37	3 100 759,20
4 169 088,00	80 %	872 164,70	2 129 984,76	3 002 149,47	3 543 724,80
4 690 224,00	90 %	872 164,70	2 396 232,86	3 268 397,56	3 986 690,40
5 211 360,00	100 %	872 164,70	2 662 480,95	3 534 645,66	4 429 656,00

La Figura 3.50 se observan los ingresos totales, los costos totales (costos fijos y variables). El punto de equilibrio se establece cuando el nivel de producción es del 49,4 % respecto del total anual. Con lo esto, se obtiene un ingreso por ventas de 2 156 195 USD, logrando cubrir los costos totales.

Considerando una producción diaria de 24 816 moldes de pan se establece que se alcanzar el punto de equilibrio en 104 días de producción.

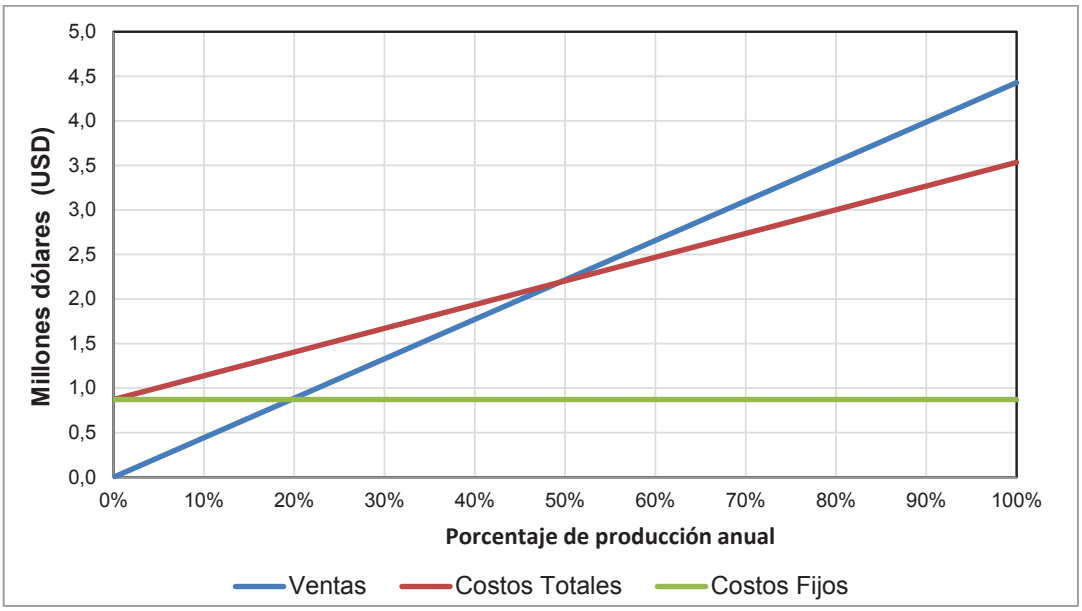


Figura 3.50 Punto de equilibrio de la planta de panificación

3.7.6 ANÁLISIS DE PRE-FACTIBILIDAD

Los indicadores financieros considerados para realizar el análisis de pre-factibilidad, fueron: el tiempo de recuperación de la inversión inicial, la tasa interna de retorno del proyecto y el valor actual neto, además de los valores característicos del punto de equilibrio. Estos permitirían tomar la decisión de viabilidad y posterior ejecución del proyecto.

Los principales parámetros e indicadores financieros del proyecto se resumen en la Tabla 3.35.

Tabla 3.35. Principales parámetros e indicadores financieros del proyecto

Ítem	Indicador	Unidad	Valor
Parámetros generales de proyecto	Precio de venta del producto	USD	0,85
	Cantidad de productos por año	unidades	5 211 360
	Ingresos anuales por ventas	USD	4 429 656,00
	Costos totales anuales (incluye impuestos)	USD	3 888 633,26
	Utilidad anual proyectada	USD	541 022,74
Punto de equilibrio (P.E.)	Unidades necesarias para alcanzar P.E.	Unidades	2 571 994
	Ventas necesarias para alcanzar P.E.	USD	2 186 195
	Número de días en los que se alcanza el P.E.	días	104
Indicadores financieros del proyecto	Tiempo de recuperación de la inversión	días calendario	987
	Premio al Riesgo País (Agosto 2016)	%	8,56
	Tasa Mínima Aceptable de Retorno (TMAR)	%	14,34
	Tasa Interna de Retorno (TIR)	%	36,72
	Valor Actual Neto (VAN)	USD	10 911 967,88

De acuerdo al flujo de caja, el tiempo de recuperación de la inversión para este proyecto es de 2 años 8 meses y 17 días, se obtuvo contabilizando los ingresos netos que obtiene el proyecto a partir de su ejecución.

La tasa interna de retorno del proyecto (TIR) representa una tasa de beneficio que genera el proyecto y se estima de acuerdo a los beneficios futuros obtenidos, el valor para el presente proyecto es de 36,7 %.

El valor actual neto (VAN) representa los ingresos futuros durante toda la vida útil llevados a valor actual en dinero y en este proyecto al tener una vida útil de 20 años posee un VAN de 10 911 967,88 USD.

De acuerdo de a datos oficiales proporcionados por el Banco Central del Ecuador se establece un riesgo país del 8,56 % y una tasa pasiva del 5,78 % con lo cual se tiene una tasa mínima aceptable de retorno (TMAR) del 14,34 %.

Con los índices financieros estimados en función del flujo de caja y condiciones financieras estables, al tener una TIR mayor a la TMAR, un VAN positivo y un periodo de recuperación de la inversión inicial relativamente corto se concluye que el presente proyecto de inversión es factible.

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

1. Los tamaños de partícula de la harina de trigo y harina de arrocillo fueron menores a 180 micras, por tanto cumplen con la normativa ecuatoriana para panificación.

2. La harina de arrocillo respecto a la harina de trigo es superior en carbohidratos (13,50 %) y valor calórico (3,14 %). Sin embargo, disminuyó en proteína (55,61 %), cenizas (79,73 %), fibra cruda (76,0 %) y extracto etéreo (59,15 %).

3. La harina de arrocillo presentó menor contenido de amilosa (18,55 %) respecto a la harina de trigo (26,25 %). Por tanto en las mezclas elaboradas, se evidencia que a medida que aumenta el porcentaje de sustitución, disminuye el contenido de amilosa.

4. Los módulos de almacenamiento y pérdida aumentaron con la sustitución de harina de arrocillo y disminuyeron con la adición de CMC, mientras que la tangente del ángulo de desfase tuvo un comportamiento opuesto. Sin embargo, los módulos de pérdida disminuyeron en 2,5 veces respecto a los módulos de almacenamiento, lo que indica que las masas con mezclas de harina de trigo y harina de arrocillo, se comportan como sólidos elásticos.

5. Las variables de proceso de panificación se vieron afectadas tanto por la adición de harina de arrocillo como del aditivo. La absorción de agua aumentó con el CMC y disminuyó con la harina de arrocillo. El tiempo de amasado aumentó tanto con el CMC como con el porcentaje de harina de arrocillo. Y el tiempo de fermentación disminuyó con la adición de CMC, pero se incrementó con la sustitución de harina de arrocillo.

6. La cinética de fermentación está determinada por la velocidad inicial de crecimiento, y comprende un rango desde 0,978 a 2,01 cm^3/min para todas las mezclas. Se presentaron velocidades de crecimiento mayores para los tratamientos con el 10 % de sustitución de harina de arrocillo.

7. La entalpía de retrogradación se incrementó con el tiempo de almacenamiento para todas las muestras. En los tratamientos con mayor contenido de harina de arrocillo aumentó la retrogradación de almidón; sin embargo, la incorporación de CMC ayudó a que este fenómeno disminuya.

8. La humedad en la miga disminuyó al aumentar el porcentaje de harina de arrocillo y con los días de almacenamiento. Sin embargo, la adición de CMC causó un ligero incremento de este parámetro, pues al incorporar mayor contenido de agua a la estructura de la masa, éste actúa limitando la difusión y la pérdida de agua desde la miga.

9. Los resultados de humedad del pan excedieron el límite para pan blanco (35 %), y se aproximaron al límite para pan integral (40 %), permitidos por la normativa ecuatoriana, siendo ésta más restrictiva. Sin embargo, cumplieron a cabalidad con la normativa internacional, que impone un límite máximo del 40 %.

10. Las características finales del producto como el volumen y la altura máxima del pan disminuyeron con el incremento de arrocillo; sin embargo, la adición de CMC ayudó notablemente a obtener panes con volúmenes y alturas que incrementaron significativamente respecto al pan control (100 % harina de trigo). El peso no presentó diferencias estadísticamente significativas.

11. En la estructura de la miga se obtuvo el aumento del número de alvéolos con el incremento de harina de arrocillo y disminuyó con la adición de CMC, lo cual se reflejó en el crecimiento del volumen del pan cuando las muestras presentaron una menor cantidad de alvéolos.

12. De la evaluación de aptitud panadera los tratamientos aptos para utilizarlos como harinas compuestas para panificación (puntaje mayor a 80 puntos), fueron aquellos que poseen un porcentaje de sustitución de harina de arrocillo del 10 y 20 %, con y sin CMC. La mayor puntuación la presentó el tratamiento con 90 % de harina de trigo, 10 % de harina de arrocillo y 1 % de CMC, con 91,67 puntos.

13. De la evaluación sensorial se obtuvo que el aroma y el sabor a pan disminuyen con el incremento de la harina de arrocillo. Además los panelistas semi-entrenados detectaron una baja presencia de olores y sabores extraños en el pan, agudizándose cuando la dosis del CMC fue del 1 %.

14. Las características de simetría, apariencia externa, estructura y textura de la miga mejoraron con la adición de CMC, de acuerdo al test sensorial realizado por panelistas semi-entrenados. Las muestras con el 10 % de harina de arrocillo y con CMC, fueron las que presentaron las mejores puntuaciones.

15. Se concluye que para cubrir la demanda del Programa de Alimentación Escolar de la provincia de Pichincha con pan fresco tipo molde elaborado con una mezcla del 90 % de harina de trigo y 10 % de harina de arrocillo. Es necesaria la instalación de una planta industrial con capacidad de producción de 15 t/día, que opere 5 días semanales, durante 10 meses al año.

16. La inversión necesaria para la instalación y el arranque de operaciones de la planta de producción es de 1 468 005,59 USD. La energía necesaria para la producción semanal es de 21 766,36 kWh.

17. Del análisis económico, se determinó que el punto de equilibrio se alcanza cuando se logra el 49,4 % de la producción anual en 104 días. Los costos unitarios totales fueron de 0,68 USD, para un nivel de producción de

5 211 360 moldes anuales. Se estableció un precio de venta del producto de 0,85 USD, obteniendo utilidades anuales de 541 022,74 USD.

18. En el presente proyecto se obtuvo una rentabilidad del 36,7 % anual, con una inversión inicial que puede recuperarse en alrededor de 2 años 9 meses y un valor actual neto de 10 911 967,88 USD en una vida útil de 20 años, por tanto el proyecto es factible para su ejecución.

4.2 RECOMENDACIONES

1. Se recomienda implementar a nivel industrial y artesanal, la sustitución de harina de trigo por harina de arrocillo en la elaboración de pan en un porcentaje del 10 %, debido a que las propiedades no se vean afectadas significativamente con esta sustitución.

2. Se recomienda la utilización de harina de arrocillo para polveo en los procesos intermedios de formado, boleado, laminado y moldeo; para cualquier tipo de proceso de panificación ya sea este industrial o artesanal.

3. Realizar el estudio del envejecimiento del pan, utilizando un texturómetro, lo cual permitiría la comparación de resultados con este y otros estudios.

4. Determinar el tiempo de vida útil del producto, pues en el presente estudio fue concebido para ser consumido de forma inmediata (pan fresco).

5. Se recomienda la estimación experimental del calor específico tanto de la masa como del pan, en cada una de sus fases de transformación. Debido a que por medio de un análisis de promedios ponderados de los componentes de la masa cruda resulta un valor similar al del pan horneado. Se presume que este parámetro ayudaría a una mejor estimación de la energía involucrada en los procesos térmicos.

6. Se recomienda la ejecución del presente proyecto, pues se promovería una mayor demanda interna del arrocillo (alrededor de 245 t/año). Con lo cual, se logrará mejorar los ingresos y fuentes de empleo, tanto para los productores como para las personas relacionadas con el proceso de pilado, comercialización y elaboración de productos que contengan este cereal.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AACC-American Association of Cereal Chemists. (1999a). *AACC International Method 54-21.02 – Rheological Behavior of Flour by Farinograph*. St. Paul Minn, U.S.A: AACC.

2. AACC-American Association of Cereal Chemists. (1999b). *AACC International Method 54-10.01 - Extensigraph Method, General.* St. Paul Minn, U.S.A: AACC.

3. AACC-American Association of Cereal Chemists. (1999c). *AACC International Method 61-01.01 – Amylograph Method for Milled Rice.* St. Paul Minn, U.S.A: AACC.

4. AACC-American Association of Cereal Chemists. (1999d). *AACC International Method 89-01.01 – Yeast Activity, Gas Production*. St. Paul Minn, U.S.A: AACC.

5. AAPROTRIGO - Asociación Argentina Pro-Trigo. (2003). *Parámetros industriales de la calidad del trigo.* Recuperado de http://www.roagro.com/upload/varios/Parámetros%20Calidad%20del%20Trigo.doc (Marzo, 2016)

6. AOAC International - Association of Official Analytical Chemists. (2005). *Official Methods of Analysis* (18va ed.). Maryland, U.S.A.: AOAC.

7. Autio, K., Flander, L., Kinnunen, A. y Heinonen, R. (2001). Bread quality relationship with rheological measurements of wheat flour dough. *Cereal Chemistry, 78*(6), 654-657. doi:10.1094/CCHEM.2001.78.6.654

8. Bárcenas, M. y Rosell, C. (2005). Effect of HPMC addition on the microstructure, quality and aging of wheat bread. *Food Hydrocolloids 19*(10), 1037-1043. doi:10.1016/j.foodhy.2005.01.005

9. BCE-Banco Central del Ecuador. (2016). *Comercio Exterior: Consulta de totales por nandina.* Recuperado de https://www.bce.fin.ec/comercioExterior/comercio/consultaTotXNandinaConGrafico.jsp (Febrero, 2016).

10. Belton, P. (2012). The molecular basis of bread dough rheology. En Cauvain S. (Ed.), *Breadmaking* (pp. 337-351). New Delhi, India: Woodhead Publising.

11. BeMiller, J. (2006). Gums and hydrocolloids: analytical aspects. En Elliason A. (Ed.), *Carbohydrates in food* (pp. 209-232). New York, USA: CRC Press.

12. Bhattacharya, K. (2011). *Rice quality: a guide to rice properties and analysis.* (1ra. ed.). New Delhi, India: Woodhead Publishing.

13. Brookhaven Instruments Corporation. (1994). *Instruction Manual for 90Plus/BI-MAS.* (1ra. ed.). New York, U.S.A: Brookhaven Instruments Corporation.

14. Brown, A. (2011). *Understanding food: principles and preparation* (4ta. ed.). Wadswoth, USA: Cencage Learning Inc.

15. Buleon, A. y Coloma, P. (2007). Physicochemical behaviour of starch in food applications. En Belton P. (Ed.), *The chemical physics of food* (pp. 20-67). Oxford, UK: Blackwell Publishing.

16. Carvalho, A., Bassinello, P., Ríos, A., Ferreira, T., Carvalho, R.y Koakuzu, S. (2013). Characterization of pre-gelatinized rice and bean flour. *Food Science and Technology, 33*(2), 245-250. doi:10.1590/S0101-20612013005000049

17. Cauvain, S. (2012). Breadmaking: Improving quality. En Cauvain S. (Ed.), *Breadmaking: an overview* (pp. 9-31). Cambridge, UK: Woodhead Publising.

18. Cauvain, S. y Young, L. (2008). *Bakery food manufacture and quality: Water control and effects* (2da. ed.). Oxford,UK: Wiley-Blackwell.

19. Cochran, W. y Cox, G. (2008). *Diseños Experimentales* (2da. ed.). México D.F., México: Trillas.

20. Correa, M. (2012). *Efecto de celulosas modificadas y pectinas sobre la microestructura y atributos de calidad de la masa panaria.* (Tesis Doctoral). Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina.

21. Ćurić , D., Novotni, D. y Smerdel, B. (2014). Bread making. En Ferreira, R. y Dos-Reis P. (Ed.), *Engineering aspects of cereal and cereal-based products* (1ra. ed., pp. 149-174). New York, USA: CRCPress.

22. Dapčević, T., Pojić, M., Hadnađev, M. y Torbica, A. (2011). The role of empirical rheology in flour quality control. En Akyar I. (Ed.), *Wide spectra of quality control* (1ra. ed., pp. 335-360). Rijeka, Croacia: INTECH Open Access Publisher.

23. De la Hera, E., Martinez, M. y Gómez, M. (2013). Influence of flour particle size on quality of gluten-free rice bread. *LWT - Food Science and Technology, 54*(1), 199-206. doi:10.1016/j.lwt.2013.04.019

24. De Leyn, I. (2006). Functional Additives. En Hui Y. H. (Ed.), *Bakery Products Science and Technology*. (1ra. ed., pp. 233-248). Taipei, China: Blackwell Publishing.

25. Delgado, F. y Sánchez-Lafuente, A. (2012). *Elaboración de productos de panadería. INAF0108* (18va. ed.). Andalucía, España: IC Editorial.

26. Demirkesen, I., Campanella, O., Sumnu, G., Sahin, S. y Hamaker, B. (2014). A study of staling characteristics of gluten-free breads prepared with chestnut and rice flours. *Food and Bioprocess Technology, 7*(3), 806-820. doi:10.1007/s11947-013-1099-3

27. Demirkesen, I., Mert, B., Sumnu, G. y Sahin, S. (2010). Rheological properties of gluten-free bread formulations. *Journal of Food Engineering, 96*(2), 295-303. doi:10.1016/j.jfoodeng.2009.08.004

28. Departamento de Normalización Nacional Mexicano. (1983). *NMX-F-159-S: Alimentos - pan blanco de caja*. México D.F., México.

29. Dirección General de Salud Ambiental. (2010). *Norma sanitaria para la fabricación, elaboración y expendio de productos de panificación, galletería y pastelería* (1ra. ed.). Lima, Perú: JWG Servicios Gráficas.

30. Dobraszczyk, B. J. y Morgenstern, M. P. (2003). Rheology and breadmaking process. *Journal of Cereal Science, 38*(1), 229-245. doi:10.1016/S0733-5210(03)00059-6

31. Dodić, J., Pein , D., Dodić, S. y Popov, J. (2007). Effects of hydrophilic hydrocolloids on dough and bread performance of samples made from frozen doughs. *Journal of Food Science, 72*(4), 235-241. doi:10.1111/j.1750-3841.2007.00337.x

32. Eliasson, A. C. y Gudmundsson, M. (2006). Starch: physicochemicla and functional aspects. En Eliasson A. (Ed.), *Carbohydrates in food* (2da. ed., pp. 391-470). New York, USA: CRC Press.

33. FAOSTAT-Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics Division. (2014). *Food Balance Sheets.* Recuperado de http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/FB/FBS/E (Agosto, 2015).

34. Fredriksson, H., Silverio, J., Andersson, R., Eliasson, A.-C. y Aman, P. (1998). The influence of amylose and amylopectin characteristics on gelatinization and retrogradation properties of different starches. *Carbohydrate Polymers, 35*(1), 119-134. doi:10.1016/S0144-8617(97)00247-6

35. Fu, L., Tian, J. C., Sun, C. L. y Li, C. (2008). RVA and farinograph properties study on blends of resistant starch and wheat flour. Agricultural *Sciences in China, 7*(7), 812-822. doi:10.1016/S1671-2927(08)60118-2

36. Gaden, E. (2000). Fermentation process kinetics. *Biotechnology and bioengineering, 67*(6), 629-634.

37. Ghodke, K. y Laxmi, A. (2006). Influence of additives on rheological characteristics of whole-wheat dough and quality of Chapatti (Indian unleavened flat bread) Part I – hydrocolloids. *Food Hydrocolloids, 21*(1), 110-117. doi: 10.1094/CCHEM.2003.80.6.654

38. Goesaert, H., Gebruers, K., Courtin, C. M., Brijs, K. y Delcour, J. A. (2006). Enzymes in breadmaking. En Hui Y. H. (Ed.), *Bakery Products Science and Technology*. (1ra. ed., pp. 337-364). Taipei, China: Blackwell Publishing.

39. Gómez, M., León, A. y Rosell, C. M. (2007). Trigo. En Edel, A. y. Rosell C. (Ed.), *De tales harinas, tales panes* (pp. 17-71). Córdoba, Argentina: Báez Ediciones.

40. Gray , J. y Bemiller, J. (2003). Bread staling: molecular basis and control. *Comprehensive reviews in food science and food safety, 2*(1), 1-21. doi:10.1111/j.1541-4337.2003.tb00011.x

41. Guarda, A., Rosell, C. M., Benedito, C. y Galotto, M. J. (2004). Different hydrocolloids as bread improvers and antistaling agents. *Food Hydrocolloids, 18*(2), 241-247. doi:10.1016/S0268-005X(03)00080-8

42. Gujral, H. S., Guardiola I., Carbonell J. V. y Rosell, C. M. (2003). Effect of cyclodextrinase on dough rheology and bread quality from rice flour. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 51*(13), 3814-3818. doi:10.1021/jf034112w

43. Gujral, H. S. y Rosell, C. M. (2004). Improvement of breadmaking quality of rice flour by glucose oxidase. *Food Reseaech International, 37*(1), 75-81. doi:10.1016/j.foodres.2003.08.001

44. Gulum, S. y Sakiyan, O. (2014). Confectionary Baking. En Ferreira, R. y Dos-Reis P. (Ed.), *Engineering aspects of cereal and cereal-based products* (1ra. ed., pp. 175-200). New York, USA: CRCPress.

45. Gutierrez, A., Blasco, J. y Moltó, E. (2012). Basics of electronic, nondestructive technologies for the assessment of physical characteristics of foods. En Arana, I. (Ed.), *Physical properties of foods* (1ra.ed., pp. 1-22). New York, USA: CRC Press.

46. Hagenimana, A., Ding, X. y Fang, T. (2006). Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking. *Journal of Cereal Science, 43*(1), 38-46. doi:10.1016/j.jcs.2005.09.003

47. Hizukuri, S., Abe, J. y Hanashiro, I. (2006). Starch: analytical aspects. En. Eliasson A. C (Ed.), *Carbohydrates in food* (2da. ed., pp. 304-390). New York, USA: CRC Press.

48. Hung-Iten, S., Escher, F. y Conde-Petit, B. (2003). Staling of bread: role of amylose and amylopectin and influence of starch-degrading enzymes. *Cereal Chemistry, 80*(6), 654-661. doi:10.1094/CCHEM.2003.80.6.654

49. INEC-Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2014). *Resultados del Censo 2010 de población y vivienda en el Ecuador - Fascículo Provincial Pichincha.* Recuperado de http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manu-lateral/Resultados-provinciales/pichincha.pdf (Agosto, 2015).

50. INEC-Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2016). *Visualizador estadísticas agropecuarias del Ecuador.* Recuperado de http://200.110.88.44/lcds-samples/testdrive-remoteobject/main.html#app=dbb7&a24-electedIndex=1 (Febrero, 2016).

51. INEN-Instituto Ecuatoriano de Normalización. (1980). *INEN 530: Harina de trigo - Ensayo de panificación*. Quito, Ecuador: INEN.

52. INEN-Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2012). *INEN 95: Pan común - Requisitos*. Quito, Ecuador: INEN.

53. INEN-Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2013). *INEN 530: Harina de trigo - Ensayo de panificación*. Quito, Ecuador: INEN.

54. INEN-Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2015). *INEN 616: Harina de trigo - Requisitos*. Quito, Ecuador: INEN.

55. Juárez, Z. N., Bárcenas-Pozos, M. E. y Hernández, L. R. (2014). El grano de trigo: características generales y algunas problemáticas y soluciones a su almacenamiento. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos, 8*(1), 79-93. Recuperado de http://web.udlap.mx/tsia/files/2015/05/TSIA-81-Juarez-et-al-2014.pdf (Febrero, 2016).

56. Jung, D. y Eun, J. (2003). Rheological properties of dough added with black rice flour. *Korean Journal of Food Science and Technology, 35*(1), 38-43. Recuperado de http://www.koreascience.or.kr/search/articlepdf_ocean.jsp?url=http://ocean.kisti.re.kr/downfile/volume/ksfst1/SPGHB5/

2003/v35n1/SPGHB5_2003_v35n1_38.pdf&admNo=SPGHB5_2003_v35n1_38 (Febrero, 2016).

57. Karim, A., Norziah, M. H. y Seow, C. (2000). Methods for the study of starch retrogradation. *Food Chemistry, 71*(1), 9-36. doi:0308-8146/00/$

58. KOVICLEY. (2011). Estudio preparado para el Consejo de Desarrollo del Pueblo Montubio de la Costa Ecuatoriana y Zonas Subtropicales de la Región Litoral - CODEPMOC. Recuperado de https://comexteriolaica 2012.wikispaces.com/file/view/ESTUDIO+DE+MERCADO+ARROZ+ ORGANICO+MONTUBIO.pdf (Agosto, 2015).

59. Lai, H. M. y Lin, T. C. (2006). Bakery Products: Science and Technology. En Hui Y. H. (Ed.), *Bakery Products Science and Technology*. (1ra. ed., pp. 3-65). Taipei, China: Blackwell Publishing.

60. Lazaridou, A., Duta, D., Papageorgiou, M., Belc, N. y Biliaderis, C. G. (2007). Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of Food Engineering, 79*(10), 1033-1047. doi:10.1016/j.jfoodeng.2006.03.032

61. Lezcano, E. (2011). *Análisis de productos panificados - Alimentos argentinos.* Recuperado de http://www.alimentosargentinos.gov.ar/ contenido/sectores/farinaceos/Productos/ProductosPanificados_2011 _04Abr.pdf (Agosto, 2015).

62. Linlaud, N. E., Puppo, M. C. y Ferrero, C. (2009). Effect of hydrocolloids on water absorption of wheat flour and farinograph and textural characteristics of dough. *Cereal Chemistry, 86*(4), 376-382. doi:10.1094/CCHEM-86-4-0376

63. Lutz, M. y Edel, A. (2009). Introducción. In Lutz, M. y Edel A. (Ed.), *Aspectos nutricionales y saludables de los productos de panificación (*1ra. ed., pp. 14-16). Valparaíso, Chile: Universidad de Valparaíso.

64. Magaña-Barajas, E., Ramírez-Wong, B., Platt-Lucero, L. C., López-Ahumada, G. A., Torres, P. I. y Sánchez-Machado, D. I. (2009). Caracterización viscoelástica de masas de variedades de trigos suaves. *Tecnología, Ciencia, Educación, 24*(1), 12-22. Recuperado de http://redalyc.org/articulo.oa?id=48212169004 (Agosto, 2015).

65. MAGAP-Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. (2016). *Comercio Exterior: Importaciones y Exportaciones BCE*. Recuperado de http://sinagap.agricultura.gob.ec/importaciones-y-exportaciones-bce (Febrero, 2016).

66. Maleki, G. y Milani, M. (2013). Effect of guar gum, xanthan gum, CMC and HPMC on dough rheology and physical properties of barbari bread. *Food Science and Technology Research, 19*(3), 353-358. doi:10.3136/fstr.19.353

67. Marchán, K. (2003). *La competitividad de la industria panificadora ecuatoriana a finales del siglo XX.* (Disertación previa a la obtención del título de Economista), Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador.

68. Méndez, M., Núñez, M. y Solorza, J. (2001). *Introducción a la reología*. México D.F., México: Instituto Politécnico Nacional.

69. Mestres, C., Matencio, F., Pons, B., Yadij, M. y Flliedel, G. (1996). A rapid method for determination of amylose content by using differential scanning calorimetry. *Starch, 48*(1), 2-6. doi:10.1002/star. 19960480103

70. Miri, T. (2011). Viscosity and oscillatory rheology. En Norton, I., Spyropoulos, F. y Cox P. (Ed.), *Practical food rheology: an interpretive approach* (1ra. ed., pp. 2-28). New Delhi, India: Willey-Blackwell.

71. Molina, L. y Guzmán, C. (2012). *El mercado de materias primas agrícolas en el Ecuador: El caso del trigo.* Recuperado de http://es.slideshare.net/natalytorres7547/mercado-de-materias-primas-agrcolas-en-el-ecuador-caso-del-trigo (Agosto, 2015).

72. Momčilović, B., Nikolić, N., Mastilović, J., Sakač, M., Todorović, Z. y Lazic, M. (2008). Lipid composition analysis of dough with various rice flour shares. *Food Processing Quality and Safety, 35*(1), 41-46. Recuperado de http://fins.uns.ac.rs/e-journal/uploads/Magazines/magazine_62/lipid-composition-analysis-of-dough-with-various-rice-flour-shares.pdf (Febrero, 2016).

73. Murray, J. (2009). Cellulosics. En Phillips, G. y Williams P. (Ed.), *Handbook of hydrocolloids* (2da. ed., pp. 710-723). New Delhi, India: CRC Press.

74. Orcés , E., Paredes, C., Bermeo, M. y Pincay, G. (2004). Aplicación de la metodolog[ia de producción más limpia en una empresa alimenticia. *Revista Tecnológica ESPOL, 17*(1), 105-117. Recuperado de http://uniciencia.ambientalex.info/infoCT/Aplmetprolimempalicu.pdf (Agosto, 2015).

75. Pacheco de Delahaye, E., Peña, J. y Jiménez, P. (2009). Efecto del salvado de arroz sobre las propiedades físico-químicas y sensoriales de panes de trigo. *Revista de la Facultad de Agronomía, 26*(4), 583-598. Recuperado de http://www.scielo.org.ve/pdf/rfaz/v26n4/art07.pdf (Marzo, 2016).

76. Pinciroli, M. (2010). P*roteínas de arroz: propiedades estructurales y funcionales.* Buenos Aires: CIDCA.

77. Prasad, K., Singh, Y. y Anil, A. (2012). Effects of grinding methods on the characteristics of Pusa 1121 rice flour. *Journal of Tropical Agriculture and Food Science, 40*(2), 193-201. Recuperado de http://ejtafs. mardi.gov.my/jtafs/40-2/Rice%fluor.pdf (Marzo, 2015).

78. Pruska-Kędzior, A., Kędzior, Z., Gorący, M., Pietrowska, K., Przybylska, A. y Spychalska, K. (2008). Comparison of rheological, fermentative and baking properties of gluten-free dough formulations. *European Food Research and Technology, 227*(5), 1523-1536. doi:10.1007/s002217-008-0875-1

79. Ribotta, P., Pérez, G., Añón, M. y León, A. (2010). Optimization of additive combination for improved soy-wheat bread quality. *Food Bioprocess Technology 19*(3), 395-405. doi:10.1007/s11947-008-0080-z

80. Ribotta, P., Pessoa, P. y Tadini, C. (2009). Masas congeladas. En Ribotta, P. y Tadini C. (Ed.), *Alternativas tecnológicas para la elaboración y conservación de productos panificado*s (1ra. ed., pp. 13-59). Córdoba, Argentina: Báez Ediciones.

81. Romano, A., Toraldo, G., Cavella, S. y Masi, P. (2007). Description of leaving of bread dough with mathematical modelling. *Journal of Food Engineering, 83*(1), 142-148. doi:10.1016/j.jfoodeng.2007.02.014

82. Rosell, C. M., Brites, C., Pérez, E. y Gularte, M. (2007). Arroz. En León, A. y Rosell C. M. (Ed.), *De tales harinas, tales panes* (1ra. ed., pp. 123-159). Córdoba, Argentina: Báez Ediciones.

83. Rosell, C. M., Rojas, J. A. y Benedito de Barber, C. (2001). Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality. *Food Hydrocolloids, 15*(1), 75-81. doi:10.1016/S0268-005X(00)00054-0

84. Rouillé, J., Della Valle, G., Devaux, M., Marion, D. y Dubreil, L. (2005). French bread loaf volume variations and digital image analysis of crumb grain changes induced by the minor components of wheat flour. *Cereal Chemistry, 82*(1), 20-27. doi:10.1094/CC-82-0020

85. Sabanis, D. y Tzia, C. (2007). Effect of rice, corn and soy flour addition on characteristics of bread produced from different wheat cultivers. *Food Bioprocess Technology 2*(1), 68-79. doi:10.1007/s11947-007-0037-7

86. Santa Cruz, W. (2011). Hydrocolloids in bakery products. En Laaman T. (Ed.), *Hydrocolloids in food processing* (1ra. ed., pp. 51-66). New Delhi, India: Wiley-Blackwell.

87. Sciarini, L., Ribotta, P., León, A. y Pérez, G. (2010). Influence of gluten-free flours and their mixtures on batter properties and bread quality. *Food and Bioprocess Technology, 3*(4), 577-585. doi:10.1007/s11947-008-0098-2

88. SCRLA - Sociedad Calificadora de Riesgo Latinoamericana. (2013). *Actualización de la calificación de riesgo a la primera, segunda emisión de obligaciones y emisión de papel comercial de la Compañía Ecuatoriana de Granos S.A. ECUAGRAN.* Recuperado de http://www.scrla.fin.ec/Base%20datos/PDF/Mercado%20de%20valores/Ecuagran-EO01-02-PC01-(2013-08)-LG.pdf (Agosto, 2015).

89. Singh, N., Singh, S. y Shevkani, K. (2011). Maize: composition, bioactive constituents and unleavened bread. En Preedy, V., Ross, R. y V. Patel (Ed.), *Flour and breads and their fortification in health and disease prevention* (1ra. ed., pp. 89-100). Oxford, UK: Elsevier.

90. Sivaramakrishnan, H., Senge, B. y Chattopadhyay, P. (2004). Rheological properties of rice dough for making rice bread. *Journal of Food Engineering, 62*(1), 37-45. doi:10.1016/S0260-8774(03)00169-9

91. Song, Y. y Zheng, Q. (2007). Dyamic rheological properties of wheat flour dough and proteins. *Trends in Food Science & Technology, 18*(3), 132-138. doi:10.1016/j.tifs.2006.11.003

92. Torbica, A., Hadnadev, M. y Dapčević, T. (2010). Rheological, textural and sensory properties of gluten-free bread formulations based on rice and buckwheat flour. *Food Hydrocolloids, 24(*6), 626-632. doi:10.1016/ j.foodhyd.2010.03.004

93. Viturawong, Y., Achayuthakan, P. y Suphantharika, M. (2008). Gelatinization and rheological properties of rice starch/xanthan mixtures: effects of molecular weight of xanthan and different salts. *Food Chemistry, 111(*1), 106-114. doi:10.1016/j.foodchem.2008.03.041

94. Williams, P. y Philips, G. (2009). Introduction to food hydrocolloids. En Phillips, G. y Williams P. (Ed.), Handbook of hydrocolloids (2da. ed., pp. 1-22). New Delhi, India: CRC Press.

95. Wu, Y., Chen, Z., Li, X. y Wan, Z. (2010). Retrogradation properties of high amylose rice flour and rice star by physical modification. *LWT - Food Science and Technology, 43*(3), 492-497. doi:10.1016/ j.lwt.2009.09.017

96. Yang, C. H. (2006). Fermentation. En Hui Y. H. (Ed.), *Bakery Products Science and Technology*. (1ra. ed., pp. 260-271). Taipei, China: Blackwell Publishing.

97. Ziobro, R., Korus, J., Witczak, M. y Juszczak, L. (2012). Influence of modified starches on properties of gluten-free dough and bread. *Food Hydrocolloids, 29*(1), 68-74. doi:10.1016/j.foodhyd.2012.02.009

ANEXOS

ANEXO I

DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULAS DE HARINAS

A. MÉTODO FÍSICO

Materiales

- Brocha de pelo suave

Equipos

- Tamices NEWARK, mallas No. 80, 100, 140, 200 y 230.
- Fondo recolector y tapa
- Brazo agitador de tamices TYLE, modelo RX-29
- Balanza analítica Mettler Toledo, modelo AG 204, 210 g, 0,01 mg

Procedimiento

1. Seleccionar los tamices a utilizar en el análisis.
2. Formar una columna de tamices, colocando el fondo recolector como base y ubicar uno encima de otro en orden decreciente.
3. Pesar 100 g de la muestra (harina).
4. Colocar la muestra en el tamiz superior y cubrir con la tapa.
5. Poner la columna de tamices en el brazo agitador de tal forma que quede totalmente fija.
6. Encender el equipo y en la plantilla digital regular el tiempo en cinco min.
7. Desmontar los tamices uno por uno.
8. Pesar la harina retenida en cada tamiz.

REFERENCIA

- INEN-Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2013). *INEN 517: Harina de Origen Vegetal – Determinación del tamaño de partículas*. Quito, Ecuador: INEN.

B. MÉTODO DLS (Dispersión de luz dinámica)

Equipos

- Analizador de tamaño de partícula Brookhaven, modelo 90 Plus
- Sonicador Misonix, modelo S-4000
- Balanza analítica Mettler Toledo, modelo AG 204, 210 g, 0,01 mg

Procedimiento

1. Pesar 0,05 g de las muestras (harinas de trigo y arrocillo).
2. Diluir la muestra con 7 ml de agua destilada.
3. Colocar las soluciones en las celdas de análisis.
4. Sonicar las celdas a una frecuencia de 20 Hz durante 4 min, para agitar las partículas de la muestra.
5. Colocar las celdas sonicadas en el analizador de tamaño de partículas, cuya prueba se realizó a una temperatura de 25 ^{o}C y con una duración de 5 min cada corrida.

REFERENCIA

Brookhaven Instruments Corporation. (1994). *Instruction Manual for 90Plus/BI-MAS.* New York, USA: Brookhaven Instruments Corporation

ANEXO II

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AMILOSA

Materiales

- Vaso de precipitación
- Celdas de acero inoxidable de mediana presión de capacidad 70 μl.
- Micropipeta

Equipos

- Equipo de barrido calorimétrico diferencial Perkin Elmer, modelo DSC7.
- Balanza analítica BOECO, modelo CE 990111, 210 g, 0,01 mg

Reactivos

- L-α-Lysophoshatidylcholina (LPC) de yema de huevo
- Amilosa de papa (grado analítico)

PROCEDIMIENTO

Preparación de las muestras

- Preparar una solución de LPC al 3 % p/p en agua.
- Pesar las celdas de acero de inoxidable vacías.
- Pesar 20 mg muestra en la celda.
- Añadir 60 mg de la solución de LPC sobre la muestra.
- Cerrar herméticamente las celdas con un sellador
- Almacenar por una hora la muestra antes del análisis.

Determinación de las entalpías

- Correr la línea base en el DSC con dos celdas de agua desionizada (cada una de 50 mg).
- Colocar una celda de agua desionizada como referencia en el equipo.
- Correr el programa establecido, con los siguientes pasos:

- Calentamiento: desde 20 ^{o}C hasta 165 ^{o}C a 10 ^{o}C/min
- Enfriamiento: desde 165 ^{o}C hasta 35 ^{o}C a 10 ^{o}C/min
- Calentamiento: desde 35 ^{o}C hasta 165 ^{o}C a 10 ^{o}C/min

CÁLCULOS

Para calcular el contenido de amilosa se utiliza la siguiente ecuación:

$$\%\,Amilosa = \frac{\Delta H_m \times peso\ estandar\ (amilosa\ de\ papa)}{\Delta H_{st} \times peso\ muestra} \times 100 \qquad [A.II.1]$$

Donde:

$\Delta H_m =$ entalpía de la muestra, en $\left[\frac{J}{g}\right]$

$\Delta H_{st} =$ entalpía del estándar (amilosa de papa), en $\left[\frac{J}{g}\right]$

REFERENCIA

- Mestres, C.; Matencio, F.; Pons, B., Yadij, M. y Flliedel, G. (1996). A rapid method for the determination of amylose content by using differential scanning calorimetry. *Starch*, *48*(1), 2-6. doi: 10.1002/star.19960480103.

ANEXO III

MÉTODO PARA LA OBTENCIÓN DE FARINOGRAMAS

OBJETIVO

El farinógrafo mide y registra la resistencia de la masa al mezclado. Se utiliza para evaluar las características de la masa durante el mezclado.

MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

- Farinógrafo BRABENDER, modelo DUISBURG, capacidad de 300 g
- Balanza analítica Mettler Toledo, modelo AG 204, 210 g, 0,01 mg
- Bureta graduada

PROCEDIMIENTO

1. Encender el baño termostático y estabilizar la temperatura a 30 ^{o}C.
2. Pesar 300 g de muestra, corrigiendo la humedad.
3. Verificar con un termómetro que la temperatura del equipo sea 30 ^{o}C.
4. Colocar la muestra en el recipiente.
5. Añadir agua destilada (T = 30 ^{o}C) hasta que se llene toda la bureta.
6. Encender el farinógrafo y añadir el agua destilada, de tal forma que la gráfica alcance los 500 UB.

REFERENCIA

- AACC-American Association of Cereal Chemists. (1999b). *AACC International Method 54-21.02 – Rheological Behavior of Flour by Farinograph*. St. Paul Minn, U.S.A.: AACC.

ANEXO IV

MÉTODO PARA LA OBTENCIÓN DE EXTENSOGRAMAS

OBJETIVO

El extensógrafo registra una curva fuerza vs. tiempo donde se observa el comportamiento de la extensibilidad de la masa hasta su rotura y permite además evaluar la calidad de la harina y la influencia de los agentes mejoradores.

MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

Materiales

- Bureta graduada
- Termómetro

Equipos

- Farinógrafo BRABENDER, modelo D-4100 DUISBURG con caja de mezclado de 300 g
- Extensógrafo BRABENDER, modelo D-4100 DUISBURG
- Balanza analítica Mettler Toledo, modelo AG 204, 210 g, 0,01 mg

Reactivos

- Agua destilada
- Cloruro de sodio

PROCEDIMIENTO

Previamente realizar farinogramas para determinar el porcentaje de absorción de agua y el tiempo de desarrollo para cada muestra (harina de trigo, harina de arrocillo y mezclas) según el procedimiento descrito en el ANEXO III.

Preparación de las masas

1. Encender el farinógrafo y estabilizar la temperatura del equipo a 30 ^{o}C.
2. Llenar la bureta con agua destilada (temperatura de 30 ^{o}C).
3. Pesar 300 g de harina si la humedad corresponde al 14 % (caso contrario realizar la respectiva corrección) y colocar en la caja mezcladora.
4. Pesar 6 g de cloruro de sodio y disolver en parte del agua, que ha sido previamente colocada en la bureta.
5. Añadir el volumen remante de agua, teniendo en cuenta que al porcentaje de absorción del farinograma hay que restarle el 2 % (por la presencia de agua en el cloruro de sodio).
6. Mezclar los ingredientes por 1 min a alta velocidad y dejar en reposo durante 5 min.
7. Reanudar el mezclado de tal forma que se complete el tiempo de desarrollo farinográfico.

Preparación de las piezas de prueba

1. Encender el baño termostático y estabilizar el equipo a una temperatura de 30 ^{o}C.
2. Humidificar las cámaras de fermentación del extensógrafo colocando agua en el interior de las mismas.
3. Dividir la masa en porciones de 150 g.
4. Bolear cada porción de masa en la parte circular del extensógrafo a 20 revoluciones.
5. Laminar las masas haciéndolas pasar por el tambor del extensógrafo, dándole forma cilíndrica.
6. Colocar las piezas de pruebas en los soportes e introducirlas en la cámara de fermentación.
7. Dejar en reposo las masas durante 45 min.

Prueba de carga – extensión para la obtención de las curvas

1. Sacar el soporte con la pieza de prueba de la cámara de fermentación y colocarla en el brazo del extensógrafo.
2. Iniciar la prueba, dejando que el gancho atraviese la masa mientras se grafica la curva fuerza – tiempo.
3. Retirar la masa, moldearla nuevamente, colocarla en el soporte e introducirla nuevamente en la cámara de fermentación para que repose 45 min.
4. Realizar las pruebas a 45, 90 y 135 min.

REFERENCIA

- AACC-American Association of Cereal Chemists. (1999b). *AACC International Method 54-10.01 – Rheological Behavior of Flour by Farinograph: Constant Flour Weight Procedure*. St. Paul Minn, U.S.A.: AACC.

ANEXO V

MÉTODO PARA LA OBTENCIÓN DE FERMENTOGRAMAS

OBJETIVO

El fermentógrafo mide y registra la producción total de dióxido de carbono (en milímetros) producido durante el proceso fermentativo en las masas.

MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

Materiales

- Bureta graduada
- Termómetro

Equipos

- Farinógrafo BRABENDER, modelo D-4100 DUISBURG con caja de mezclado de 300 g
- Fermentógrafo BRABENDER, modelo D-4100 DUISBURG con baño termostático
- Balanza analítica Mettler Toledo, modelo AG 204, 210 g, 0,01 mg

Reactivos

- Agua destilada
- Cloruro de sodio
- Levadura fresca

PROCEDIMIENTO

Previamente encender el equipo, colocar agua y dejar que se tempere a 30 ^{o}C.

Preparación de las masas

1. La formulación a utilizar es: 300 g de harina, 8 g de levadura fresca, 5 g de cloruro de sodio y la absorción de agua correspondiente para cada mezcla.
2. Pesar la harina (con la respectiva corrección por humedad) y el resto de los ingredientes.
3. Disolver la levadura y el cloruro de sodio con parte del agua, que ha sido previamente colocada en la bureta, en recipientes separados.
4. Añadir el volumen remante de agua y mezclar los ingredientes por 1 min a alta velocidad y dejar en reposo durante 5 min.
5. Reanudar el mezclado de tal forma que se complete el tiempo de desarrollo farinográfico.

Determinación de la producción de gas

1. Poner la masa preparada en la bolsa de caucho y cerrarla herméticamente.
2. Colocar la bolsa de caucho dentro del baño termostático y conectarla a una aguja que marca el incremento de gas en la parte interna.
3. Transcurrida una hora de fermentación, sacar la bolsa de caucho y desgasificar la masa.
4. Repetir el procedimiento durante cinco horas.

REFERENCIA

- AACC-American Association of Cereal Chemists. (1999b). *AACC International Method 89-01.01 – Yeast activity, gas production*. St. Paul Minn, U.S.A.: AACC.

ANEXO VI

MÉTODO PARA LA OBTENCIÓN DE AMILOGRAMAS

OBJETIVO

El amilógrafo mide y registra los cambios de viscosidad que ocurren durante las etapas de calentamiento, mantenimiento y enfriamiento de la mezcla harina-agua.

MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

Materiales

- Bureta graduada
- Termómetro

Equipos

- Amilógrafo de BRABENDER, modelo D-4100 DUISBURG.
- Balanza analítica Mettler Toledo, modelo AG 204, 210 g, 0,01 mg
- Licuadora Oster

Reactivos

- Agua destilada

PROCEDIMIENTO

1. Medir 450 ml de agua destilada en una probeta y pesar 50 g de la harina (o mezclas de la harina de trigo y harina de arrocillo) realizando la respectiva corrección por la humedad.
2. Colocar en el vaso de licuadora alrededor de 300 ml de agua destilada con la harina, y mezclar a velocidad media por 2 min.

3. Transferir la mezcla al recipiente del amilógrafo y enjuagar con el agua destilada restante el vaso de la licuadora y verter en el mismo recipiente.
4. Colocar y ajustar el recipiente en el amilógrafo.
5. Establecer en el equipo las condiciones de trabajos para las siguientes etapas.

Tabla AVI.1 Parámetros fijados en el amilógrafo para los ensayos

Pasos	Parámetros en el equipo			
1. Calentamiento	Temperatura inicial (°C)	22	Temperatura máxima (°C)	90
	Gradiente de temperatura de calentamiento (°C/min)		1,5	
2. Mantenimiento	Tiempo (min)	20	Temperatura (°C)	90
3. Enfriamiento	Temperatura inicial (°C)	90	Temperatura final (°C)	50
	Gradiente de temperatura de calentamiento (°C/min)		1,5	

REFERENCIA

- AACC-American Association of Cereal Chemists. (1999b). *AACC International Method 54-21.02 – Rheological Behavior of Flour by Farinograph: Constant Flour Weight Procedure*. St. Paul Minn, U.S.A.: AACC.

ANEXO VII

FORMATO DE ENCUESTA PARA LA EVALUACIÓN SENSORIAL

DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA

TEST DE EVALUACIÓN SENSORIAL

Producto: PAN CON MEZCLA DE TRIGO – ARROCILLO

Panelista: _____

Fecha: _____ **Hora:** _____

A continuación Ud. dispone de cuatro rebanadas de pan codificadas, debe registrarlas en la ficha y examinarlas de izquierda a derecha. La prueba consiste en evaluar los siguientes atributos de aptitud panadera, para lo cual debe marcar con una raya vertical en cada escala, teniendo en cuenta que el lado izquierdo representa el 0 % y el lado derecho el 100 %.

1. SIMETRÍA Y APARIENCIA EXTERNA

Código de la muestra	No uniforme	Uniforme
_____	├──────────┼──────────┤	
_____	├──────────┼──────────┤	
_____	├──────────┼──────────┤	
_____	├──────────┼──────────┤	

2. ESTRUCTURA DE LA MIGA

Código de la muestra	Celdas heterogéneas	Celdas uniformes
_____	├──────────┼──────────┤	
_____	├──────────┼──────────┤	
_____	├──────────┼──────────┤	
_____	├──────────┼──────────┤	

3. COLOR DE LA CORTEZA

Código de la muestra	Café claro		Café oscuro
_____	├──────────┼──────────┤		
_____	├──────────┼──────────┤		
_____	├──────────┼──────────┤		
_____	├──────────┼──────────┤		

4. COLOR DE LA MIGA

Código de la muestra	Gris opaco		Blanco brillante
_____	├──────────┼──────────┤		
_____	├──────────┼──────────┤		
_____	├──────────┼──────────┤		
_____	├──────────┼──────────┤		

5. AROMA A PAN

Código de la muestra	Imperceptible		Intenso
_____	├──────────┼──────────┤		
_____	├──────────┼──────────┤		
_____	├──────────┼──────────┤		
_____	├──────────┼──────────┤		

6. PRESENCIA DE OLORES EXTRAÑOS

Código de la muestra	Imperceptible		Intenso
_____	├──────────┼──────────┤		
_____	├──────────┼──────────┤		
_____	├──────────┼──────────┤		
_____	├──────────┼──────────┤		

7. TEXTURA DE LA MIGA

Código de la muestra	Compacta áspera		Elástica suave
_____	├	┼	┤
_____	├	┼	┤
_____	├	┼	┤
_____	├	┼	┤

8. TEXTURA CORTEZA

Código de la muestra	Muy dura		Suave
_____	├	┼	┤
_____	├	┼	┤
_____	├	┼	┤
_____	├	┼	┤

9. SABOR A PAN

Código de la muestra	Imperceptible		Intenso
_____	├	┼	┤
_____	├	┼	┤
_____	├	┼	┤
_____	├	┼	┤

10. PRESENCIA DE SABORES EXTRAÑOS

Código de la muestra	Imperceptible		Intenso
_____	├	┼	┤
_____	├	┼	┤
_____	├	┼	┤
_____	├	┼	┤

Elija por favor la mejor muestra: ……

Observaciones:

…….
…….
……..

¡Muchas gracias por su colaboración!

GM/JR

ANEXO VIII

FORMATO DE ENCUESTA PARA LA EVALUACIÓN DE APTITUD PANADERA

DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA

TEST DE EVALUACIÓN DE APTITUD PANADERA SEGÚN NTE INEN 530:2013

Producto: PAN CON MEZCLA DE TRIGO - ARROCILLO

Panelista: _____ **Fecha:** _____ **Hora:** _____

A continuación Ud. dispone de 13 muestras de pan codificadas, por favor registre en la ficha el código de cada muestra y evalué los atributos de aptitud panadera de acuerdo al rango de calificación que se especifica en la siguiente tabla.

ATRIBUTO	Calificación (puntos)	Códigos de las muestras												
Volumen	0 - 30													
Estructura de la miga	0 - 20													
Simetría	0 - 15													
Aroma	0 - 15													
Corteza	0 - 10													
Color de la miga	0 - 5													
Textura de la miga	0 - 5													

GM/JR

¡Muchas gracias por su colaboración!

ANEXO IX

RESULTADOS DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DE LA HARINA DE ARROCILLO Y HARINA DE TRIGO

1. RESULTADOS DEL MÉTODO DE TAMIZADO

Los datos experimentales obtenidos para la harina de arrocillo y de trigo se encuentran tabulados en la Tabla AIX.1 y la Tabla AIX.2 , respectivamente. Los resultados parciales de las cantidades retenidas y pasadas (tanto individuales como acumuladas) en cada tamiz, se han calculado con las siguientes ecuaciones:

$$\%\,\boldsymbol{Retenido_i} = \left(\frac{Peso\ retenido_i}{Peso\ retenido\ total}\right) \times 100 \qquad [A.IX.1]$$

$$\%\,\boldsymbol{Retenido\ acumulado_i} = \%\,Retenido\ acumulado_{i-1} + \%\,Retenido\ acumulado_i \qquad [A.IX.2]$$

$$\%\,\boldsymbol{Pasado\ acumulado_i} = 100 - \%\,Retenido\ acumulado_i \qquad [A.IX.3]$$

Tabla AIX.1 Datos experimentales y resultados parciales obtenidos de la distribución granulométrica de la harina de arrocillo

# Tamices	Abertura del tamiz (um)	Peso retenido Repetición 1 P1 (g)	Peso retenido Repetición 2 P2 (g)	% Retenido promedio	% Retenido Acumulado promedio	% Pasado Acumulado promedio
80	180	16,74	16,73	16,73	16,73	83,27
100	150	13,92	13,78	13,84	30,57	69,43
140	106	33,96	34,37	34,15	64,72	35,28
200	75	30,53	30,80	30,65	95,37	4,63

Tabla AIX.1 Datos experimentales y resultados parciales obtenidos de la distribución granulométrica de la harina de arrocillo (continuación…)

# Tamices	Abertura del tamiz (um)	Peso retenido Repetición 1 P1 (g)	Peso retenido Repetición 2 P2 (g)	% Retenido promedio	% Retenido Acumulado promedio	% Pasado Acumulado promedio
230	63	4,75	4,24	4,53	99,91	0,09
270	53	0,09	0,08	0,08	99,99	0,01
Fondo	-	0,01	0,01	0,01	100,00	0,00
Total:		100,00	100,01			

Tabla AIX.2 Datos experimentales y resultados parciales obtenidos de la distribución granulométrica de la harina de trigo

# Tamices	Abertura del tamiz (um)	Peso retenido Repetición 1 P1 (g)	Peso retenido Repetición 2 P2 (g)	% Retenido promedio	% Retenido Acumulado promedio	% Pasado Acumulado promedio
80	180	0,69	0,63	0,66	0,66	99,34
100	150	7,81	7,94	7,87	8,53	91,47
140	106	42,58	42,62	42,59	51,13	48,87
200	75	39,30	39,36	39,32	90,45	9,55
230	63	9,22	9,11	9,16	99,62	0,38
270	53	0,42	0,35	0,38	100,00	0,00
Fondo	-	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00
Total:		100,02	100,01			

Tabla AIX.3 Tamaño de partícula de la harina de trigo y harina de arrocillo

Diámetro de partícula	Unidad	Harina de trigo	Harina de arrocillo
$\mathbf{d_{50}}$	μm	$115{,}48^{b} \pm 0{,}42$	$124{,}97^{a} \pm 0{,}39$
$\mathbf{d_{80}}$	μm	$138{,}17^{b} \pm 0{,}18$	$172{,}92^{a} \pm 0{,}09$

2. GRÁFICAS DEL MÉTODO DE DISPERSIÓN DE LUZ LÁSER (DLS)

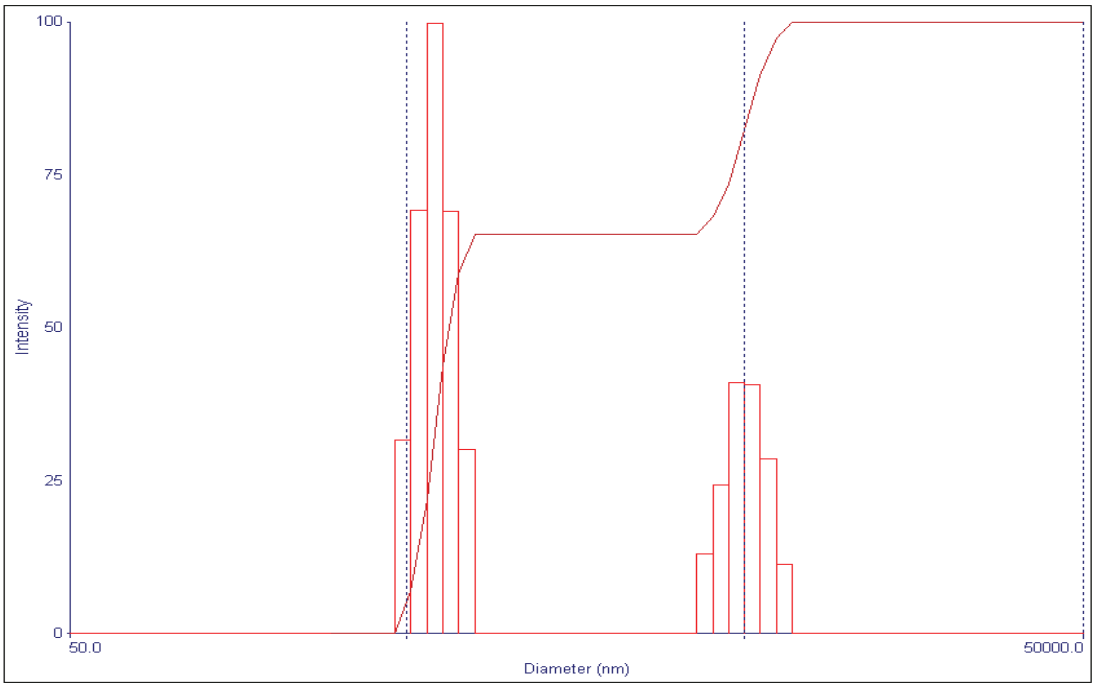


Figura AIX.1 LSD de la harina de arrocillo

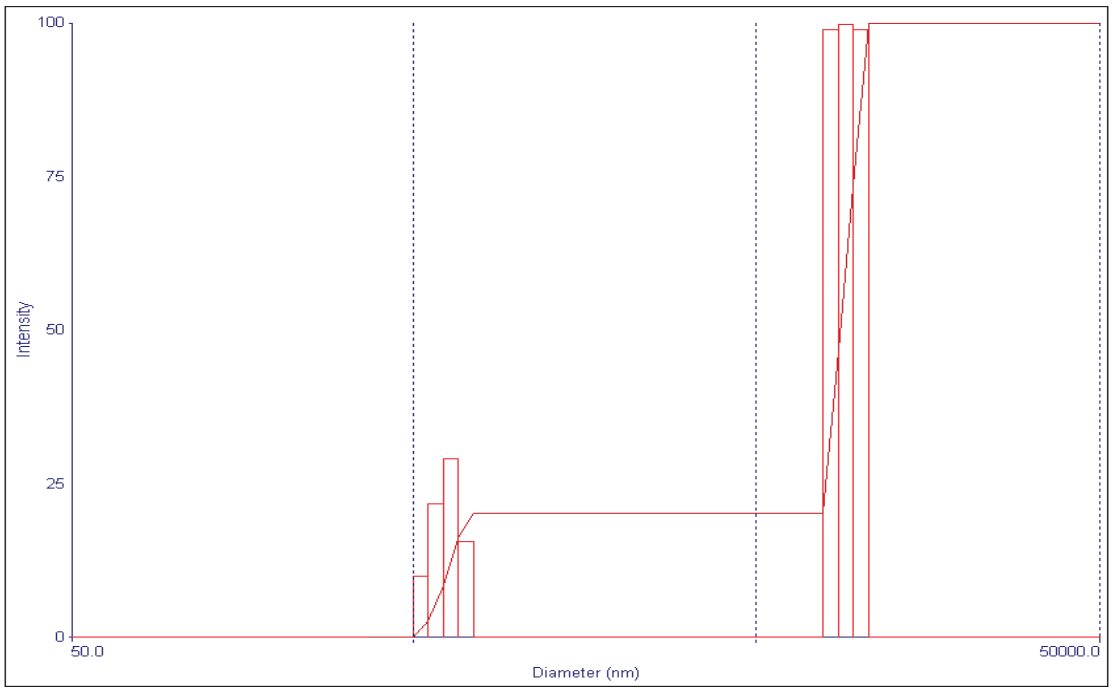


Figura AIX.2 LSD de la harina de trigo

ANEXO X

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS FARINOLÓGICAS

1. FARINOGRAMAS

Tabla AX.1 Resultados obtenidos de los farinogramas

Muestra	Absorción (%)	Tiempo (min)			Índice de Tolerancia (UB)	Valor Valori-métrico
		Llegada	Amasado	Estabilidad		
M0: 100 % Trigo	$69{,}2^{d} \pm 0{,}60$	$2{,}03^{b} \pm 0{,}25$	$5{,}00^{a} \pm 0{,}00$	$8{,}00^{c} \pm 0{,}00$	$40{,}00^{c} \pm 0{,}00$	$69{,}33^{c} \pm 1{,}53$
M1: 90 % Trigo 10 % Arrocillo	$68{,}0^{d} \pm 0{,}20$	$1{,}53^{a} \pm 0{,}15$	$5{,}03^{a} \pm 0{,}06$	$8{,}03^{c} \pm 0{,}25$	$36{,}67^{bc} \pm 1{,}15$	$68{,}00^{bc} \pm 2{,}00$
M2: 80 % Trigo 20 % Arrocillo	$66{,}5^{c} \pm 0{,}30$	$1{,}47^{a} \pm 0{,}12$	$5{,}03^{a} \pm 0{,}06$	$8{,}00^{c} \pm 0{,}10$	$32{,}67^{ab} \pm 2{,}52$	$66{,}33^{abc} \pm 1{,}15$
M3: 70 % Trigo 30 % Arrocillo	$65{,}0^{b} \pm 0{,}20$	$1{,}50^{a} \pm 0{,}10$	$5{,}00^{a} \pm 0{,}00$	$7{,}00^{b} \pm 0{,}20$	$29{,}00^{a} \pm 1{,}73$	$64{,}67^{ab} \pm 1{,}53$
M4: 60 % Trigo 40 % Arrocillo	$63{,}0^{a} \pm 0{,}80$	$1{,}47^{a} \pm 0{,}15$	$5{,}50^{a} \pm 0{,}20$	$6{,}00^{a} \pm 0{,}20$	$28{,}67^{a} \pm 2{,}31$	$63{,}33^{a} \pm 2{,}08$

Valores expresados en base seca. $\bar{x} \pm \sigma$ (n = 3). Valores con letras diferentes en las columnas, presentan diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0{,}05$) de acuerdo al test de Tukey HDS.

2. EXTENSOGRAMAS

Tabla AX.2 Resultados obtenidos de los extensogramas 135 min

Muestra	Extensibilidad (mm) (a)	Resistencia Extensibilidad (UB)		Energía (cm^2)	Relación (a/b)
		A 50 mm (b)	Máxima		
M0: 100 % Trigo	$161{,}33^{c} \pm 10{,}07$	$355{,}00^{a} \pm 27{,}84$	$400{,}00^{c} \pm 30{,}00$	$131{,}00^{c} \pm 6{,}56$	0,45
M1: 90 % Trigo 10 % Arrocillo	$144{,}00^{b} \pm 6{,}00$	$340{,}00^{a} \pm 26{,}46$	$380{,}00^{bc} \pm 20{,}00$	$103{,}00^{b} \pm 8{,}19$	0,42
M2: 80 % Trigo 20 % Arrocillo	$121{,}33^{a} \pm 3{,}21$	$318{,}00^{a} \pm 20{,}30$	$340{,}00^{ab} \pm 20{,}00$	$87{,}00^{b} \pm 6{,}25$	0,38
M3: 70 % Trigo 30 % Arrocillo	$105{,}33^{a} \pm 5{,}03$	$300{,}00^{a} \pm 30{,}00$	$316{,}00^{a} \pm 12{,}17$	$64{,}00^{a} \pm 3{,}61$	0,35
Para las muestra **M4,** no se pudo moldear la masa después de 45 min de reposo, por lo cual no se pudo obtener los resultados de la prueba.					

Valores expresados en base seca. $\bar{x} \pm \sigma$ (n = 3). Valores con letras diferentes en las columnas, presentan diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0{,}05$) de acuerdo al test de Tukey HDS.

3. AMILOGRAMAS

Tabla AX.3 Resultados obtenidos de los amilogramas

Muestra	Inicio a 22 ºC	Inicio de Gelificación		A 90 ºC	20 min 90 ºC	A 50 ºC
	(UB)	(UB)	(ºC)	(UB)	(UB)	(UB)
M0A: 100 % Arrocillo	20,00^{a} ± 00,00	40,00^{a} ± 00,00	76,00^{a} ± 6,00	520,00^{d} ± 43,59	960,00^{e} ± 10,00	1600,00^{b} ± 100,00
M0T: 100 % Trigo	20,00^{a} ± 00,00	40,00^{a} ± 00,00	81,00^{a} ± 3,61	160,00^{abc} ± 10,44	350,00^{a} ± 26,46	460,00^{a} ± 20,00
M1: 90 % Trigo 10 % Arrocillo	30,00^{a} ± 00,00	40,00^{a} ± 00,00	80,00^{a} ± 5,00	220,00^{c} ± 18,03	370,00^{ab} ± 18,03	500,00^{a} ± 26,46
M2: 80 % Trigo 20 % Arrocillo	30,00^{a} ± 00,00	40,00^{a} ± 00,00	80,00^{a} ± 2,00	200,00^{bc} ± 20,00	410,00^{bc} ± 10,00	550,00^{a} ± 10,00
M3: 70 % Trigo 30 % Arrocillo	20,00^{a} ± 00,00	40,00^{a} ± 00,00	80,00^{a} ± 3,61	140,00^{ab} ± 10,00	440,00^{cd} ± 21,80	490,00^{a} ± 26,46
M4: 60 % Trigo 40 % Arrocillo	20,00^{a} ± 00,00	40,00^{a} ± 00,00	80,00^{a} ± 4,58	120,00^{a} ± 10,00	480,00^{d} ± 20,00	520,00^{a} ± 10,00

Valores expresados en base seca. $\bar{x} \pm \sigma$ (n = 3). Valores con letras diferentes en las columnas, presentan diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) de acuerdo al test de Tukey HDS.

4. FERMENTOGRAMAS

Tabla AX.4 Resultados obtenidos de los fermentogramas

Muestras	Tiempo para la producción de 1000 cm^3 de CO_2 (min)				
	Primero período	Segundo período	Tercero período	Cuarto período	Quinto período
M0A: 100 % Arrocillo	56,0^{a} ± 4,00	53,0^{b} ± 2,00	57,0^{b} ± 3,00	61,0^{b} ± 3,61	64,0^{b} ± 3,00
M0T: 100 % Trigo	57,0^{a} ± 3,00	43,0^{a} ± 3,61	40,0^{a} ± 2,00	39,0^{a} ± 2,65	40,0^{a} ± 2,00
M1: 90 % Trigo 10 % Arrocillo	53,0^{a} ± 3,00	43,0^{a} ± 1,73	40,0^{a} ± 3,00	38,0^{a} ± 3,00	43,0^{a} ± 3,00
M2: 80 % Trigo 20 % Arrocillo	51,0^{a} ± 2,65	40,0^{a} ± 4,00	40,0^{a} ± 4,00	41,0^{a} ± 2,65	45,0^{a} ± 3,61
M3: 70 % Trigo 30 % Arrocillo	50,0^{a} ± 3,00	40,0^{a} ± 3,00	40,0^{a} ± 2,00	38,0^{a} ± 2,00	47,0^{a} ± 3,61
M4: 60 % Trigo 40 % Arrocillo	50,0^{a} ± 4,00	39,0^{a} ± 3,61	39,0^{a} ± 2,00	41,0^{a} ± 4,00	45,0^{a} ± 3,00

Valores expresados en base seca. $\bar{x} \pm \sigma$ (n = 3). Valores con letras diferentes en las columnas, presentan diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) de acuerdo al test de Tukey HDS.

ANEXO XI

PARÁMETROS DEL MODELO MATEMÁTICO DE LA CINÉTICA DE FERMENTACIÓN Y RESULTADOS EXPERIMENTALES OBTENIDOS PARA LAS MASAS DE PANIFICACIÓN

1. MODELO MATEMÁTICO DE LA CINÉTICA DE FERMENTACIÓN

Del modelo matemático planteado en el acápite 3.3.3, donde la variación del volumen varía en función del tiempo, como se planteó en la ecuación 3.1 de forma sigmoidea.

Se detalla a continuación el cálculo de los parámetros de la cinética de fermentación para las muestras de masas de panificación sin CMC y con 0,5 y 1,0 % de CMC

$$\Delta \boldsymbol{V} = a_f \times [1 - e^{-b_f \times t_f}]^{c_f} \qquad \text{[A.XI.1]}$$

Donde:

ΔV: incremento del volumen

t_f : tiempo de fermentación (min)

a_f, b_f, c_f : parámetros estadísticos a ser ajustados

1.1. DETERMINACIÓN DE $\boldsymbol{a_f}$

Correa (2012) encontró que el término a_f corresponde al volumen máximo alcanzado por la masa de panificación durante el ensayo (p. 142).

$$\boldsymbol{a_f} = \Delta V_{máximo} \qquad \text{[A.XI.2]}$$

1.2. DETERMINACIÓN DE b_f

Primero se linealizó la ecuación [A.IX.3] para lo cual se aplica logaritmos naturales teniendo:

$$\ln(\Delta V) = \ln\left(a_f\right) + c_f \cdot \ln\left(1 - e^{-b_f \times t_f}\right) \qquad \text{[A.XI.3]}$$

Teniendo en cuenta que la ecuación general de la recta es:

$$y = A + B \cdot x \qquad \text{[A.XI.4]}$$

Se relaciona los términos de las ecuaciones [A.IX.3] y [A.IX.4] se tiene:

$y \rightarrow \ln(\Delta V)$
$A \rightarrow \ln\left(a_f\right)$
$B \rightarrow c_f$
$x \rightarrow \ln\left(1 - e^{-b_f \times t_f}\right)$

Para determinar el parámetro b_f se utilizó un proceso iterativo donde se asignó un valor inicial y se calculó el coeficiente de correlación (R) con la ecuación [A.IX.5] utilizando el método de mínimos cuadrados hasta que dicho valor converja en el máximo valor de R.

$$R = \frac{n \cdot (\sum x_i \cdot y_i) - (\sum x_i) \cdot (\sum y_i)}{\sqrt{[n \cdot (\sum {x_i}^2) \cdot (\sum x_i)^2]\,[n \cdot (\sum {y_i}^2) \cdot (\sum y_i)^2]}} \qquad \text{[A.XI.5]}$$

1.3. DETERMINACIÓN DE c_f

Una vez encontrado el valor de b_f se calcula el valor de c_f con la ecuación [A.IX.6].

$$\boldsymbol{c_f} = \frac{n \cdot (\sum x_i \cdot y_i) - (\sum x_i) \cdot (\sum y_i)}{n \cdot (\sum {x_i}^2) \cdot (\sum x_i)^2} \qquad \text{[A.XI.6]}$$

1.4. DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FERMENTACIÓN ($\boldsymbol{t_f}$)

Correa (2012) en base a resultados experimentales estableció que el tiempo de fermentación corresponde a los tres cuartos del máximo volumen alcanzado por la masa de panificación durante el ensayo (p. 142)

$$\Delta V_{óptimo} = \frac{3}{4} a_f \qquad \text{[A.XI.7]}$$

Reemplazando las ecuaciones se tiene:

$$\boldsymbol{t_f} = -\frac{1}{b_f} \cdot \ln\left[1 - e^{\frac{\ln\left(\frac{3}{4}\right)}{c_f}}\right] \qquad \text{[A.XI.8]}$$

2. RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES

En los ensayos experimentales se midió la variación de la altura, variable que se utilizó para el cálculo del volumen con la ecuación A.VI.8, cuyos valores se enlistan en las siguientes tablas.

$$\Delta V_{experimental} = \pi \cdot r^2 \cdot h_f \qquad \text{[A.XI.8]}$$

Donde:

r: radio del recipiente cilíndrico

h_f : Incremento de la altura [cm]

Tabla AXI.1 Datos experimentales de volúmenes para el tratamiento T0 (muestra control)

Tiempo (min)	Incremento de Volumen (cm^3)			
	T13: 100 % Trigo			
	(1)	(2)	(3)	Promedio
10	31,70	33,21	36,23	33,71
20	55,85	55,85	60,38	57,36
30	76,99	80,01	78,50	78,50
40	83,02	87,55	89,06	86,55
50	86,04	90,57	92,08	89,57
60	90,57	96,61	95,10	94,09
70	95,10	98,12	96,61	96,61
80	101,14	104,16	99,63	101,64
90	108,69	110,20	104,16	107,68
100	116,23	113,22	108,69	112,71
110	119,25	119,25	113,22	117,24
120	117,74	123,78	117,74	119,76
130	116,23	122,27	116,23	118,25
140	128,31	129,82	125,29	127,81
150	122,27	129,82	122,27	124,79
160	120,76	134,35	125,29	126,80
170	120,76	128,31	128,31	125,79
180	122,27	131,33	126,80	126,80
190	120,76	129,82	129,82	126,80
200	125,29	134,35	135,86	131,83
210	129,82	138,88	132,84	133,85
220	135,86	138,88	129,82	134,85
230	132,84	138,88	135,86	135,86
240	128,31	134,35	131,33	131,33
250	131,33	141,90	135,86	136,36
260	138,88	132,84	129,82	133,85
270	138,88	140,39	131,33	136,86
280	135,86	138,88	129,82	134,85
290	132,84	132,84	131,33	132,34
300	129,82	138,88	132,84	133,85
310	135,86	141,90	131,33	136,36
320	138,88	132,84	135,86	135,86
330	140,39	141,90	135,86	139,38
340	143,41	141,90	131,33	138,88
350	140,39	137,37	131,33	136,36
360	138,88	135,86	131,33	135,35
370	134,35	131,33	126,80	130,83
380	134,35	137,37	128,31	133,34
390	135,86	137,37	131,33	134,85
400	132,84	137,37	131,33	133,85
410	132,84	135,86	126,80	131,83
420	132,84	135,86	125,29	131,33
430	132,84	132,84	125,29	130,32
440	132,84	132,84	125,29	130,32
450	132,84	132,84	125,29	130,32
460	132,84	138,88	128,31	133,34
470	132,84	135,86	128,31	132,34
480	132,84	138,88	128,31	133,34
MAX:	143,41	141,90	135,86	122,01

***(1)** Repetición 1, **(2)** Repetición 2, **(3)** Repetición 3

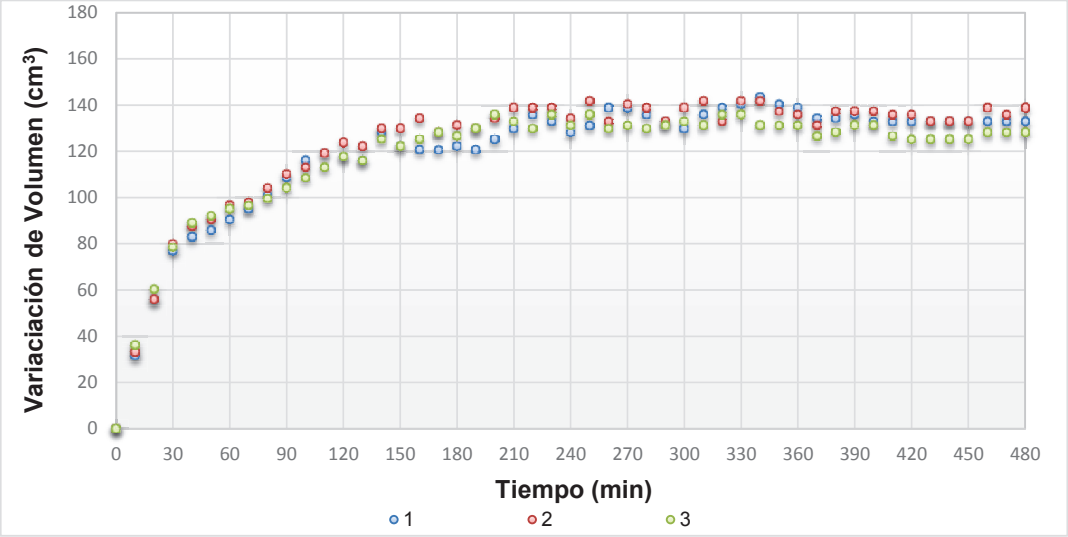


Figura AXI.1 Curvas experimentales de fermentación para T0

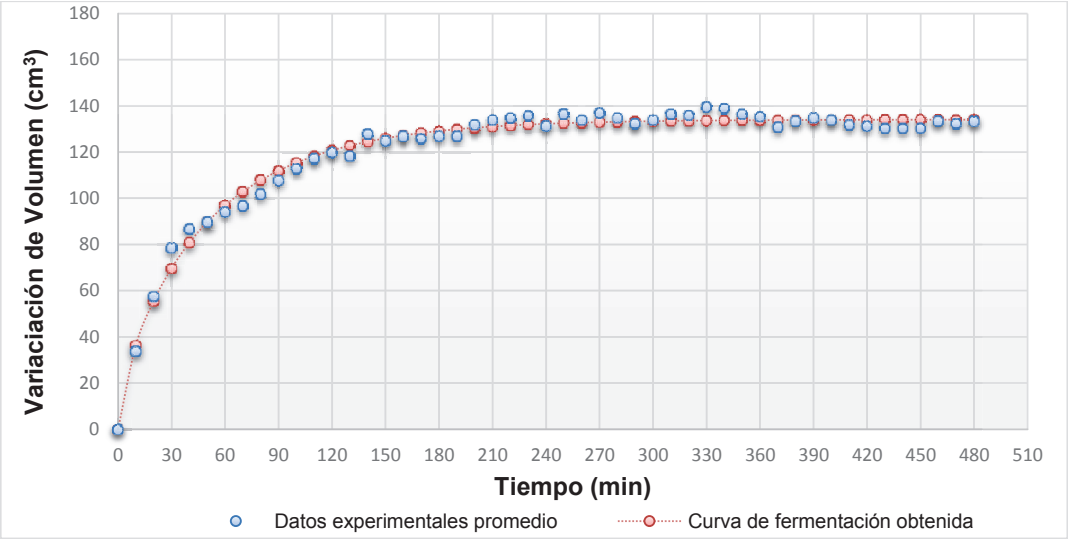


Figura AXI.2 Curvas experimental promedio y teórica de fermentación para T0

Tabla AXI.2 Parámetros de las curvas de fermentación para T0

PARÁMETROS DELA CURVA DE FERMENTACIÓN	Repeticiones			Promedio	Desv. Est.	% Error
	1	2	3			
Af (cm^3)	134,64	136,99	130,48	134,04	3,2959	2,46
Bf (min)	0,0150	0,0170	0,0170	0,0163	0,0012	7,07
Cf	0,6867	0,7312	0,6549	0,6909	0,0383	5,55
R^2	0,9767	0,9816	0,9741	0,9774	0,0038	0,39
Tiempo fermentación (min)	71,48	66,07	60,84	66,13	5,3231	8,05
Velocidad inicial (cm^3/min)	1,5095	1,6102	1,5850	1,5682	0,0524	3,34

Tabla AXI.3 Datos experimentales de volúmenes para los tratamientos T1, T2 y T3

Tiempo (min)	Incremento de Volumen (cm^3)											
	T1: 90 % Trigo – 10 % Arrocillo				T2: 90 % Trigo – 10 % Arrocillo – 0,5 % CMC				T3: 90 % Trigo – 10 % Arrocillo – 1,0% CMC			
	(1)	(2)	(3)	Promedio	(1)	(2)	(3)	Promedio	(1)	(2)	(3)	Promedio
10	30,19	30,19	28,68	29,69	30,19	27,17	31,70	29,69	36,23	40,76	34,72	37,24
20	52,83	55,85	54,34	54,34	60,38	58,87	63,40	60,88	61,89	66,42	64,91	64,41
30	66,42	67,93	67,93	67,43	76,99	72,46	78,50	75,98	83,02	81,51	78,50	81,01
40	73,97	76,99	75,48	75,48	89,06	84,53	87,55	87,05	96,61	98,12	93,59	96,11
50	81,51	81,51	84,53	82,52	98,12	98,12	101,14	99,13	110,20	108,69	105,67	108,18
60	87,55	90,57	87,55	88,56	108,69	107,18	111,71	109,19	122,27	122,27	117,74	120,76
70	90,57	98,12	93,59	94,09	117,74	110,20	116,23	114,72	131,33	129,82	126,80	129,32
80	98,12	105,67	99,63	101,14	120,76	119,25	123,78	121,27	137,37	134,35	132,84	134,85
90	104,16	110,20	104,16	106,17	125,29	122,27	128,31	125,29	141,90	140,39	135,86	139,38
100	110,20	116,23	111,71	112,71	129,82	126,80	134,35	130,32	141,90	146,42	140,39	142,90
110	111,71	120,76	116,23	116,23	135,86	129,82	137,37	134,35	146,42	147,93	144,92	146,42
120	111,71	123,78	117,74	117,74	137,37	132,84	138,88	136,36	147,93	150,95	149,44	149,44
130	113,22	125,29	114,72	117,74	141,90	134,35	141,90	139,38	152,46	150,95	152,46	151,96
140	119,25	125,29	119,25	121,27	138,88	137,37	144,92	140,39	156,99	153,97	152,46	154,48
150	119,25	125,29	120,76	121,77	141,90	140,39	143,41	141,90	158,50	152,46	153,97	154,98
160	116,23	131,33	119,25	122,27	149,44	141,90	146,42	145,92	156,99	160,01	156,99	158,00
170	117,74	126,80	120,76	121,77	150,95	143,41	147,93	147,43	160,01	161,52	155,48	159,00
180	122,27	131,33	120,76	124,79	149,44	144,92	149,44	147,93	160,01	161,52	155,48	159,00
190	126,80	134,35	123,78	128,31	147,93	144,92	153,97	148,94	161,52	160,01	156,99	159,51
200	125,29	137,37	125,29	129,32	152,46	144,92	149,44	148,94	163,03	161,52	160,01	161,52
210	122,27	132,84	125,29	126,80	146,42	146,42	149,44	147,43	161,52	169,07	161,52	164,04
220	122,27	134,35	132,84	129,82	152,46	146,42	155,48	151,46	163,03	166,05	161,52	163,53
230	120,76	132,84	125,29	126,30	153,97	147,03	152,46	151,15	161,52	167,56	160,01	163,03
240	122,27	131,33	131,33	128,31	156,99	147,93	150,95	151,96	167,56	169,07	161,52	166,05
250	122,27	134,35	126,80	127,81	158,50	147,93	152,46	152,97	163,03	170,58	160,01	164,54
260	123,78	135,86	131,33	130,32	152,46	146,42	155,48	151,46	160,01	169,07	158,50	162,53
270	122,27	135,86	129,82	129,32	158,50	147,93	158,50	154,98	166,05	172,09	163,03	167,06
280	123,78	134,35	125,29	127,81	155,48	144,92	155,48	151,96	169,07	167,56	160,01	165,55
290	120,76	134,35	122,27	125,79	158,50	147,93	149,44	151,96	170,58	166,05	163,03	166,55
300	122,27	134,35	123,78	126,80	161,52	150,95	155,48	155,99	170,58	166,05	164,54	167,06
310	120,76	132,84	123,78	125,79	161,52	150,95	152,46	154,98	167,56	169,07	167,56	168,06
320	125,29	131,33	125,29	127,30	161,52	150,95	152,46	154,98	167,56	166,05	167,56	167,06
330	128,31	132,84	129,82	130,32	155,48	149,44	150,95	151,96	166,05	167,56	164,54	166,05
340	128,31	135,86	126,80	130,32	158,50	149,44	149.44	152,46	166,05	170,58	161,52	166,05
350	125,29	135,86	126,80	129,32	161,52	152,46	150,95	154,98	169,07	166,05	164,54	166,55
360	126,80	135,86	128,31	130,32	161,52	158,50	152,46	157,49	169,07	170,58	164,54	168,06
370	128,31	134,35	138,88	133,85	161,52	152,46	149,44	154,48	170,58	164,54	167,56	167,56
380	134,35	135,86	132,84	134,35	163,03	155,48	149,44	155,99	166,05	163,03	164,54	164,54
390	132,84	134,35	126,80	131,33	161,52	152,46	149,44	154,48	166,05	164,54	164,54	165,04
400	135,86	135,86	126,80	132,84	163,03	155,48	149,44	155,99	163,03	160,01	163,03	162,02
410	134,35	132,84	129,82	132,34	161,52	158,50	152,46	157,49	169,07	166,05	161,52	165,55
420	135,86	135,86	132,84	134,85	163,03	161,52	152,46	159,00	163,03	166,05	160,01	163,03
430	128,31	132,84	129,82	130,32	160,01	158,50	155,48	158,00	166,05	160,01	164,54	163,53
440	131,33	132,84	129,82	131,33	155,48	155,48	155,48	155,48	169,07	160,01	161,52	163,53
450	128,31	135,86	129,82	131,33	161,52	152,46	158,50	157,49	167,56	163,03	160,01	163,53
460	131,33	135,86	129,82	132,34	158,50	146,42	155,48	153,47	166,05	160,01	161,52	162,53
470	129,82	135,86	129,82	131,83	152,46	143,41	155,48	150,45	163,03	158,50	163,03	161,52
480	128,31	135,86	129,82	131,33	152,46	143,41	155,48	150,45	161,52	158,50	164,54	161,52
MAX:	**135,86**	**137,37**	**138,88**	**118,20**	**163,03**	**161,52**	**158,50**	**139,50**	**170,58**	**172,09**	**167,56**	**150,50**

***(1)** Repetición 1, **(2)** Repetición 2, **(3)** Repetición 3

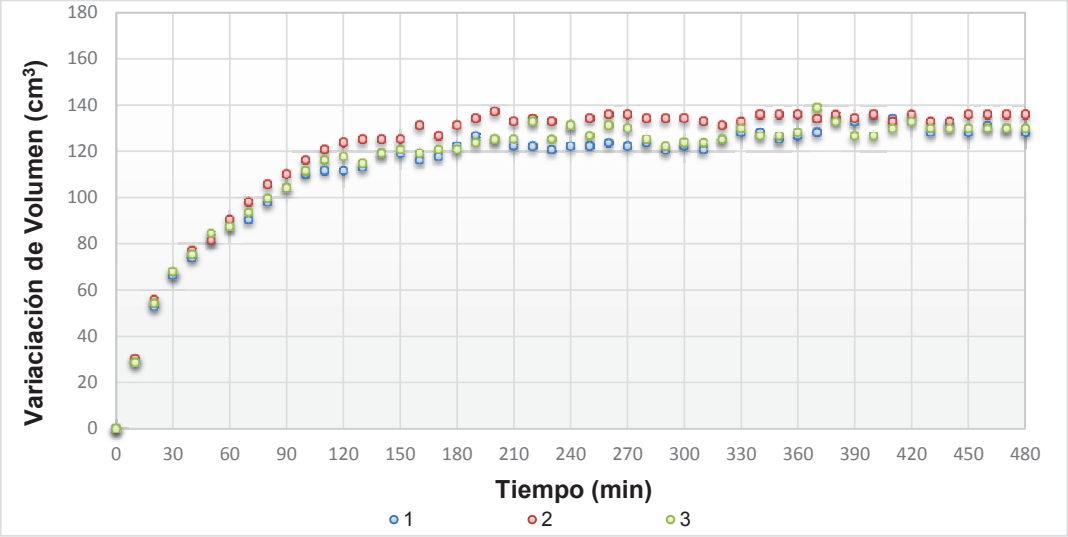


Figura AXI.3 Curvas experimentales de fermentación para T1

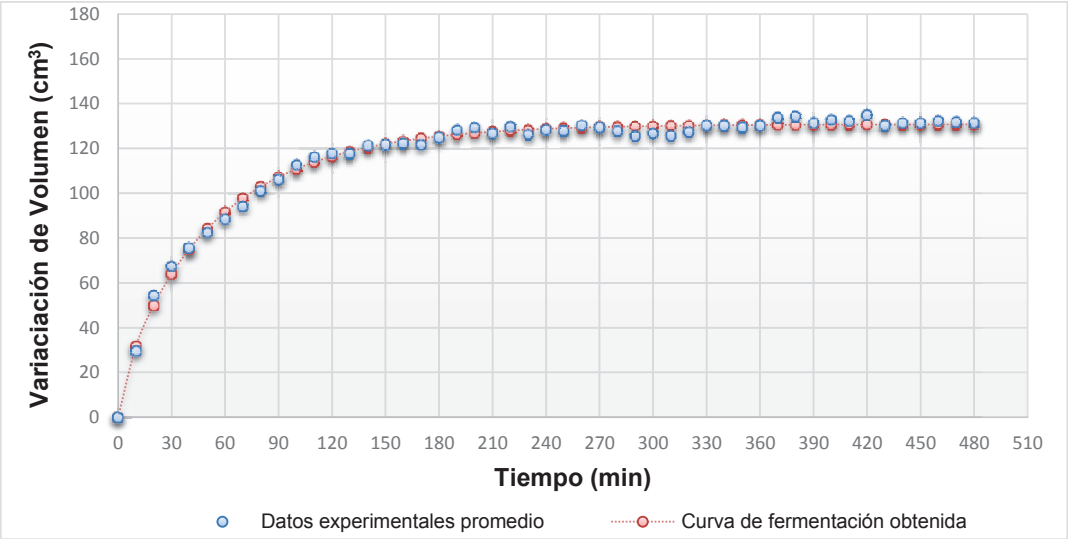


Figura AXI.4 Curvas experimental promedio y teórica de fermentación para T1

Tabla AXI.4 Parámetros de las curvas de fermentación para T1

PARÁMETROS DELA CURVA DE FERMENTACIÓN	Repeticiones			Promedio	Desv. Est.	% Error
	1	2	3			
Af (cm^3)	128,06	135,51	128,79	130,79	4,1061	3,14
Bf (min)	0,0150	0,0165	0,0170	0,0162	0,0010	6,44
Cf	0,7024	0,7718	0,7686	0,7476	0,0392	5,24
R^2	0,9867	0,9925	0,9868	0,9887	0,0033	0,33
Tiempo fermentación (min)	72,69	70,76	68,47	70,64	2,1145	2,99
Velocidad inicial (cm^3/min)	1,4592	1,5095	1,4592	1,4760	0,0291	1,97

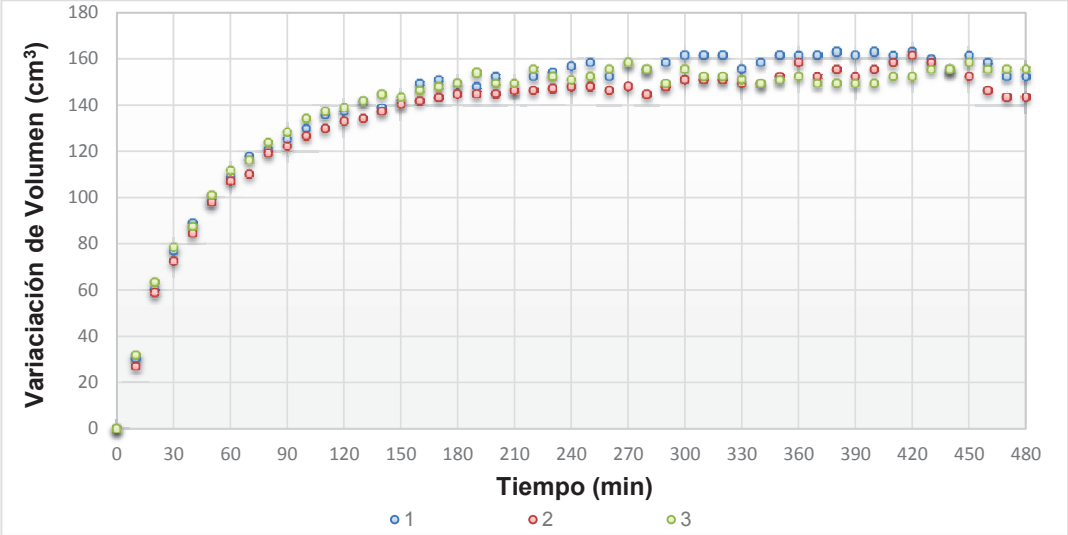


Figura AXI.5 Curvas experimentales de fermentación para T2

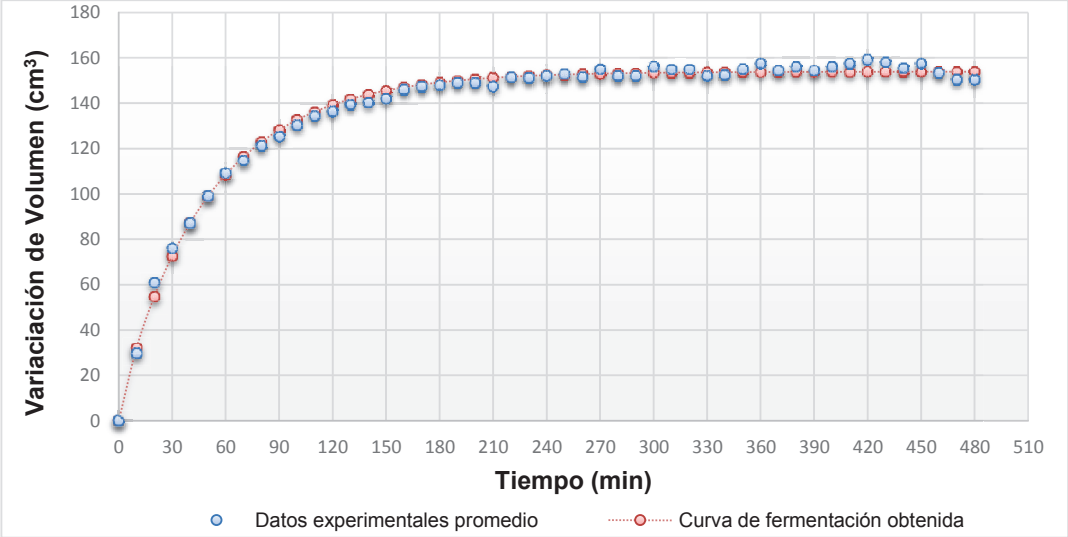


Figura AXI.6 Curvas experimental promedio y teórica de fermentación para T2

Tabla AXI.5 Parámetros de las curvas de fermentación para T2

PARÁMETROS DELA CURVA DE FERMENTACIÓN	Repeticiones			Promedio	Desv. Est.	% Error
	1	2	3			
Af (cm^3)	158,14	150,44	153,05	153,88	3,9120	2,54
Bf (min)	0,0170	0,0190	0,0200	0,0187	0,0015	8,18
Cf	0,8476	0,9224	0,8857	0,8852	0,0374	4,23
R^2	0,9901	0,9871	0,9925	0,9899	0,0027	0,27
Tiempo fermentación (min)	73,26	69,32	64,13	68,90	4,5824	6,65
Velocidad inicial (cm^3/min)	1,8114	1,7863	1,8618	1,8198	0,0384	2,11

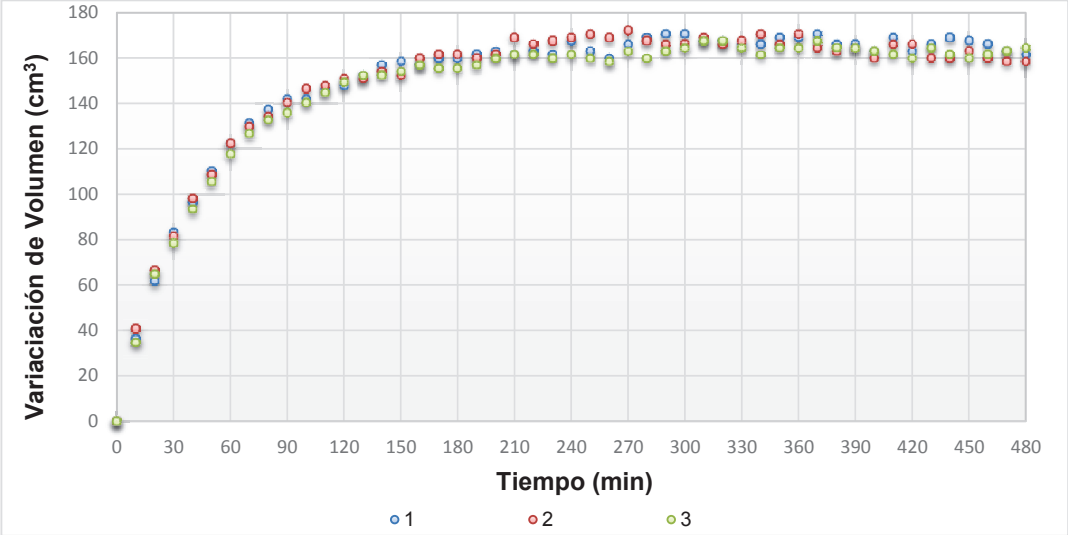


Figura AXI.7 Curvas experimentales de fermentación para T3

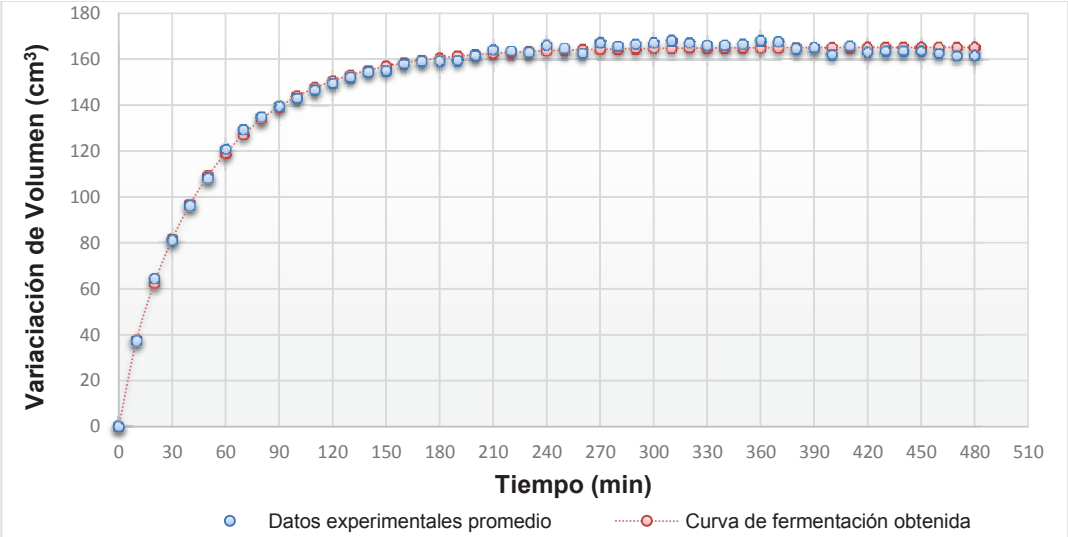


Figura AXI.8 Curvas experimental promedio y teórica de fermentación para T3

Tabla AXI.6 Parámetros de las curvas de fermentación para T3

PARÁMETROS DELA CURVA DE FERMENTACIÓN	Repeticiones			Promedio	Desv. Est.	% Error
	1	2	3			
Af (cm^3)	166,18	166,02	163,14	165,11	1,7068	1,03
Bf (min)	0,0195	0,0180	0,0190	0,0188	0,0008	4,06
Cf	0,8738	0,7798	0,8623	0,8387	0,0513	6,11
R^2	0,9968	0,9932	0,9965	0,9955	0,0020	0,20
Tiempo fermentación (min)	65,19	65,33	66,31	65,61	0,6128	0,93
Velocidad inicial (cm^3/min)	2,0379	2,0379	1,9624	2,0127	0,0436	2,17

Tabla AXI.7 Datos experimentales de volúmenes para los tratamientos T4, T5 y T6

Tiempo (min)	Incremento de Volumen (cm^3)											
	T4: 80 % Trigo – 20 % Arrocillo				T5: 80 % Trigo – 20 % Arrocillo – 0,5 % CMC				T6: 80 % Trigo – 20 % Arrocillo – 1,0 % CMC			
	1	2	3	Promedio	1	2	3	Promedio	1	2	3	Promedio
10	40,76	39,25	42,27	40,76	31,70	34,72	36,23	34,22	28,68	33,21	34,72	32,20
20	55,85	55,85	54,34	55,35	64,91	63,40	60,38	62,90	57,36	58,87	57,36	57,87
30	66,42	64,91	64,91	65,41	75,48	72,46	73,97	73,97	73,97	72,46	73,97	73,46
40	73,97	70,95	70,95	71,95	83,02	84,53	80,01	82,52	86,04	86,04	89,06	87,05
50	78,50	78,50	75,48	77,49	89,06	92,08	89,06	90,07	96,61	99,63	101,14	99,13
60	84,53	83,02	80,01	82,52	96,61	99,63	98,12	98,12	107,18	107,18	110,20	108,18
70	90,57	89,06	86,04	88,56	102,65	101,14	104,16	102,65	119,25	116,23	114,72	116,74
80	95,10	92,08	89,06	92,08	107,18	105,67	108,69	107,18	125,29	122,27	122,27	123,28
90	98,12	96,61	92,08	95,60	111,71	111,71	113,22	112,21	128,31	131,33	128,31	129,32
100	101,14	99,63	96,61	99,13	113,22	114,72	119,25	115,73	137,37	135,86	132,84	135,35
110	102,65	102,65	98,12	101,14	117,74	117,74	123,78	119,76	140,39	140,39	134,35	138,37
120	105,67	104,16	99,63	103,15	119,25	122,27	129,82	123,78	144,92	143,41	135,86	141,39
130	107,18	108,69	101,14	105,67	125,29	125,29	132,84	127,81	144,92	146,42	138,88	143,41
140	107,18	111,71	104,16	107,68	128,31	128,31	134,35	130,32	147,93	147,93	143,41	146,42
150	108,69	111,71	104,16	108,18	129,82	135,86	138,88	134,85	149,44	150,95	141,90	147,43
160	113,22	110,20	107,18	110,20	134,35	134,35	141,90	136,86	156,99	150,95	143,41	150,45
170	114,72	111,71	108,69	111,71	134,35	137,37	143,41	138,37	150,95	152,46	144,92	149,44
180	113,22	117,74	110,20	113,72	132,84	134,35	143,41	136,86	161,52	152,46	147,93	153,97
190	114,72	116,23	113,22	114,72	132,84	140,39	146,42	139,88	160,01	155,48	150,95	155,48
200	116,23	119,25	111,71	115,73	140,39	141,90	141,90	141,39	158,50	152,46	149,44	153,47
210	114,72	122,27	113,22	116,74	138,88	143,41	143,41	141,90	160,01	153,97	149,44	154,48
220	114,72	120,76	114,72	116,74	137,37	140,39	144,92	140,89	161,52	153,97	146,42	153,97
230	117,74	120,76	117,74	118,75	138,88	140,39	147,93	142,40	155,48	153,97	149,44	152,97
240	117,74	120,76	113,22	117,24	146,42	143,41	149,44	146,42	153,97	150,95	149,44	151,46
250	120,76	119,25	116,23	118,75	138,88	143,41	144,92	142,40	150,95	152,46	146,42	149,95
260	119,25	119,25	116,23	118,25	138,88	143,41	141,90	141,39	155,48	155,48	146,42	152,46
270	117,74	120,76	114,72	117,74	138,88	135,86	138,88	137,87	158,50	153,97	144,92	152,46
280	120,76	123,78	116,23	120,26	138,88	138,88	143,41	140,39	156,99	153,97	146,42	152,46
290	116,23	123,78	116,23	118,75	135,86	135,86	144,92	138,88	155,48	155,48	146,42	152,46
300	117,74	120,76	117,74	118,75	135,86	141,90	144,92	140,89	158,50	156,99	141,90	152,46
310	120,76	122,27	116,23	119,76	134,35	141,90	143,41	139,88	156,99	153,97	144,92	151,96
320	116,23	123,78	116,23	118,75	138,88	146,42	147,93	144,41	155,48	156,99	146,42	152,97
330	117,74	123,78	116,23	119,25	140,39	147,93	149,44	145,92	156,99	156,99	143,41	152,46
340	120,76	123,78	114,72	119,76	138,88	143,41	149,44	143,91	155,48	156,99	146,42	152,97
350	122,27	125,29	114,72	120,76	138,88	143,41	146,42	142,90	150,95	153,97	143,41	149,44
360	122,27	123,78	114,72	120,26	138,88	141,90	146,42	142,40	149,44	150,95	143,41	147,93
370	122,27	123,78	114,72	120,26	138,88	143,41	143,41	141,90	149,44	150,95	146,42	148,94
380	122,27	122,27	116,23	120,26	138,88	141,90	141,90	140,89	149,44	153,97	146,42	149,95
390	122,27	125,29	116,23	121,27	140,39	141,90	141,90	141,39	152,46	153,97	143,41	149,95
400	120,76	120,76	116,23	119,25	138,88	143,41	138,88	140,39	149,44	150,95	140,39	146,93
410	120,76	122,27	116,23	119,76	137,37	143,41	138,88	139,88	146,42	147,93	140,39	144,92
420	117,74	122,27	116,23	118,75	134,35	146,42	141,90	140,89	149,44	147,93	141,90	146,42
430	120,76	123,78	116,23	120,26	134,35	143,41	143,41	140,39	143,41	147,93	143,41	144,92
440	120,76	123,78	116,23	120,26	138,88	140,39	141,90	140,39	149,44	147,93	137,37	144,92
450	120,76	125,29	116,23	120,76	134,35	140,39	144,92	139,88	143,41	153,97	138,88	145,42
460	120,76	120,76	116,23	119,25	134,35	141,90	141,90	139,38	146,42	150,95	143,41	146,93
470	117,74	123,78	113,22	118,25	131,33	140,39	138,88	136,86	144,92	153,97	140,39	146,42
480	117,74	126,80	113,22	119,25	131,33	138,88	141,90	137,37	150,95	152,46	146,42	149,95
MAX:	122,27	126,80	117,74	108,31	146,42	147,93	149,44	128,37	161,52	156,99	150,95	138,35

***(1)** Repetición 1, **(2)** Repetición 2, **(3)** Repetición 3

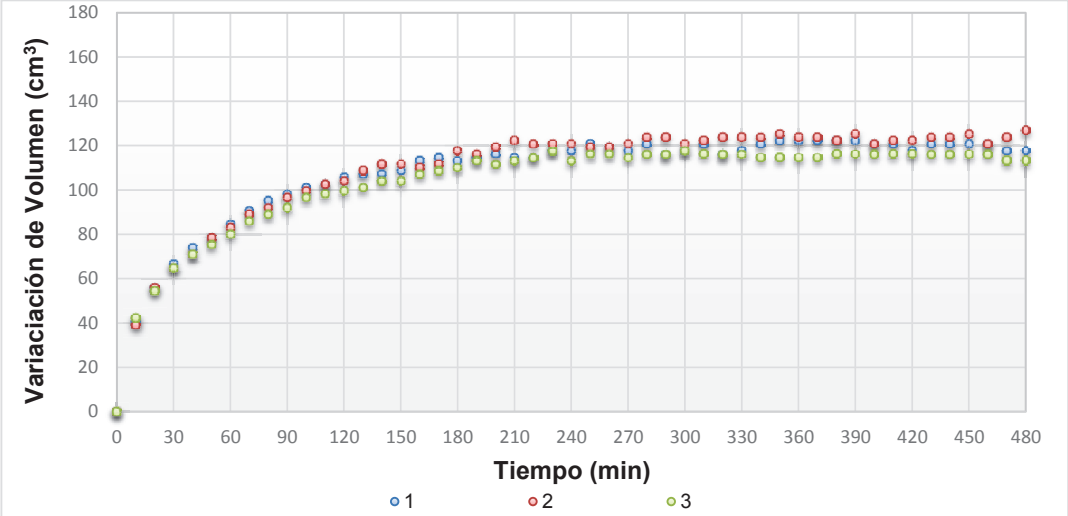


Figura AXI.9 Curvas experimentales de fermentación para T4

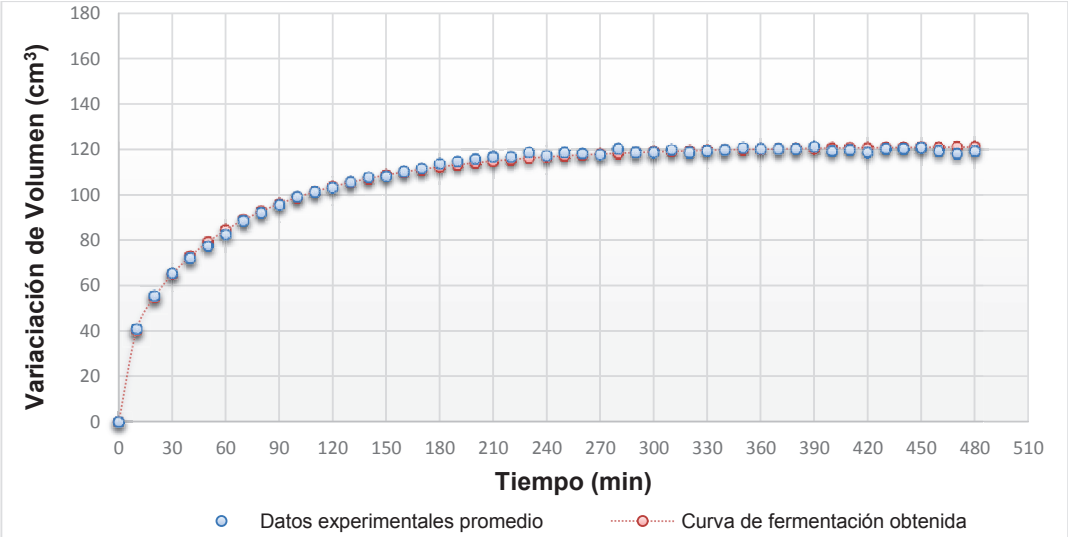


Figura AXI.10 Curvas experimental promedio y teórica de fermentación para T4

Tabla AXI.8 Parámetros de las curvas de fermentación para T4

PARÁMETROS DELA CURVA DE FERMENTACIÓN	Repeticiones			Promedio	Desv. Est.	% Error
	1	2	3			
Af (cm^3)	121,15	125,42	117,82	121,46	3,8057	3,13
Bf (min)	0,0115	0,0100	0,0100	0,0105	0,0009	8,25
Cf	0,4924	0,4920	0,4475	0,4773	0,0258	5,40
R^2	0,9960	0,9956	0,9936	0,9951	0,0013	0,13
Tiempo fermentación (min)	70,90	81,47	74,61	75,66	5,3654	7,09
Velocidad inicial (cm^3/min)	1,4089	1,3837	1,3334	1,3754	0,0384	2,79

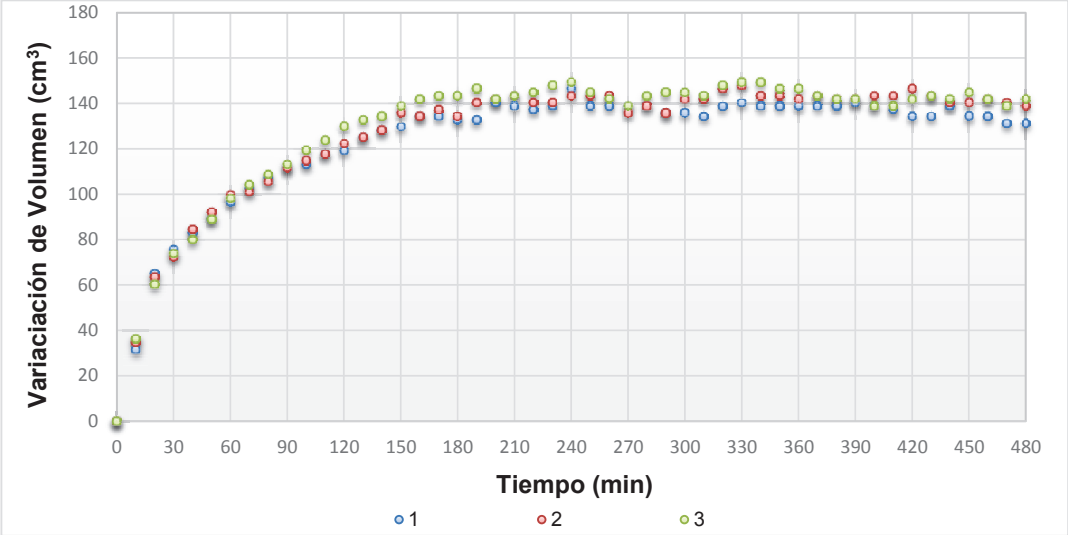


Figura AXI.11 Curvas experimentales de fermentación para T5

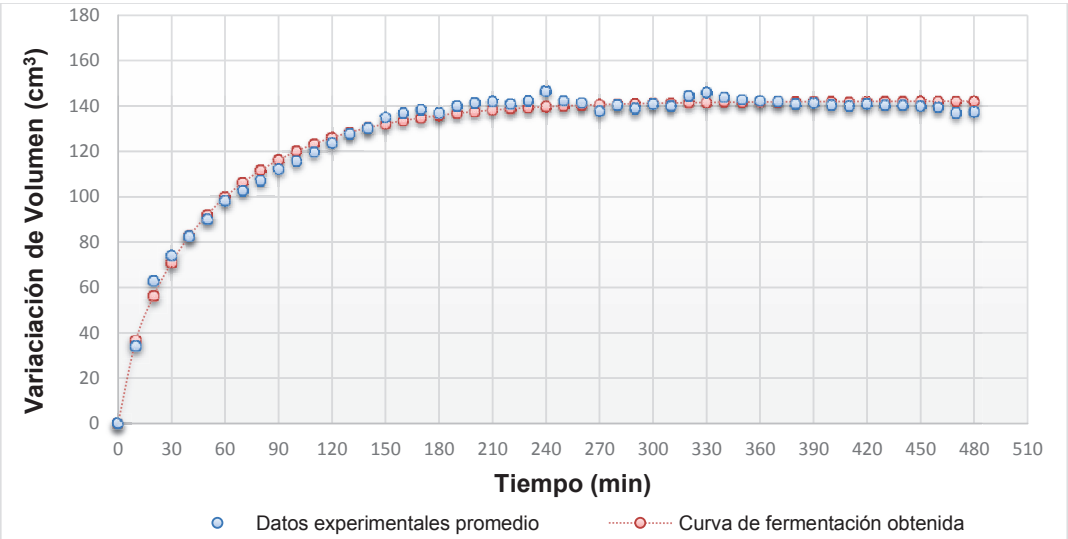


Figura AXI.12 Curvas experimental promedio y teórica de fermentación para T5

Tabla AXI.9 Parámetros de las curvas de fermentación para T5

PARÁMETROS DELA CURVA DE FERMENTACIÓN	Repeticiones			Promedio	Desv. Est.	% Error
	1	2	3			
Af (cm^3)	137,83	143,29	145,34	142,15	3,8824	2,73
Bf (min)	0,0170	0,0140	0,0150	0,0153	0,0015	9,96
Cf	0,7337	0,6581	0,6983	0,6967	0,0378	5,42
R^2	0,9780	0,9869	0,9877	0,9842	0,0054	0,55
Tiempo fermentación (min)	66,23	74,16	72,38	70,92	4,1614	5,87
Velocidad inicial (cm^3/min)	1,6102	1,6605	1,6353	1,6353	0,0252	1,54

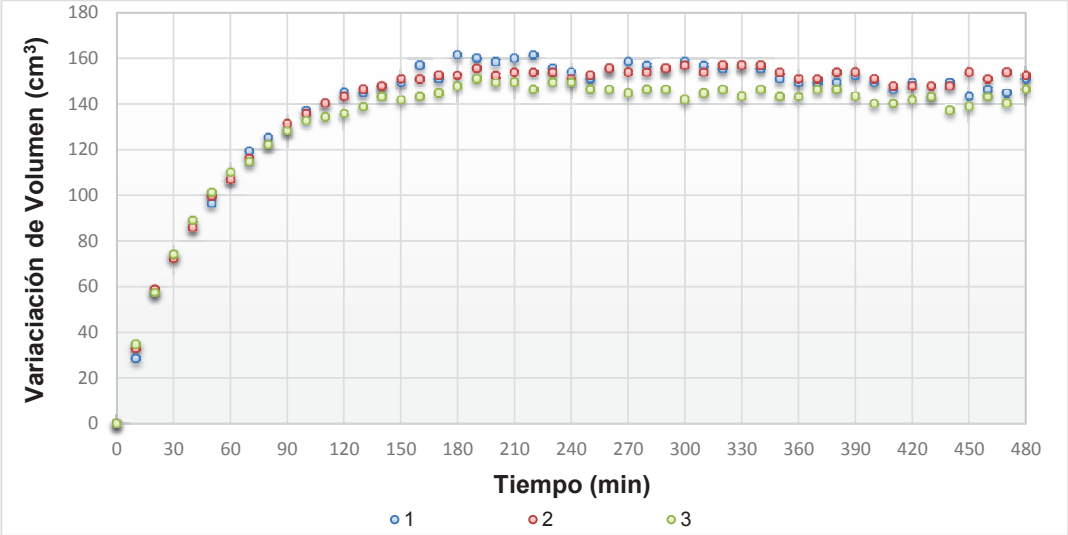


Figura AXI.13 Curvas experimentales de fermentación para T6

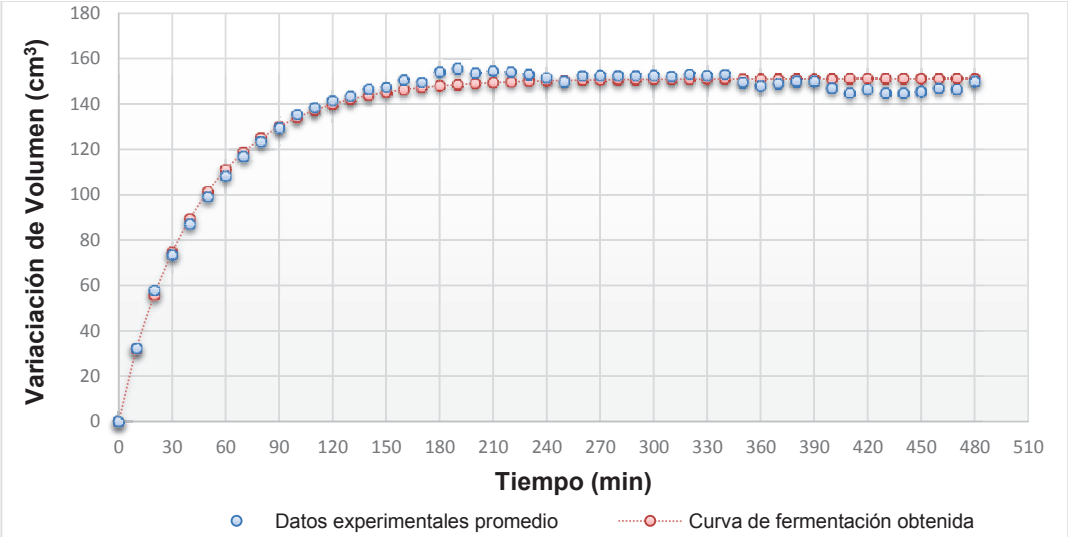


Figura AXI.14 Curvas experimental promedio y teórica de fermentación para T6

Tabla AXI.10 Parámetros de las curvas de fermentación para T6

PARÁMETROS DELA CURVA DE FERMENTACIÓN	Repeticiones			Promedio	Desv. Est.	% Error
	1	2	3			
Af (cm^3)	153,59	154,09	145,48	151,05	4,8309	3,20
Bf (min)	0,0220	0,0195	0,0220	0,0212	0,0014	6,82
Cf	1,0217	0,8903	0,8946	0,9355	0,0747	7,98
R^2	0,9868	0,9945	0,9929	0,9914	0,0040	0,41
Tiempo fermentación (min)	63,86	65,99	58,68	62,84	3,7600	5,98
Velocidad inicial (cm^3/min)	1,7863	1,7863	1,8366	1,8031	0,0291	1,61

Tabla AXI.11 Datos experimentales de volúmenes para los tratamientos T7, T8 y T9

Tiempo (min)	Incremento de Volumen (cm^3)											
	T7: 70 % Trigo – 30 % Arrocillo				T8: 70 % Trigo – 30 % Arrocillo – 0,5 % CMC				T9: 70 % Trigo – 30 % Arrocillo – 1,0 % CMC			
	1	2	3	Promedio	1	2	3	Promedio	1	2	3	Promedio
10	24,15	24,15	24,15	24,15	27,17	27,17	27,17	27,17	30,19	33,21	31,70	31,70
20	40,76	43,78	39,25	41,26	43,78	46,80	42,27	44,28	57,36	60,38	54,34	57,36
30	51,32	54,34	49,81	51,83	54,34	57,36	52,83	54,85	70,95	69,44	67,93	69,44
40	60,38	57,36	55,85	57,87	66,42	63,40	61,89	63,90	80,01	72,46	75,48	75,98
50	64,91	63,40	61,89	63,40	73,97	72,46	69,44	71,95	84,53	83,02	80,01	82,52
60	66,42	67,93	64,91	66,42	80,01	81,51	78,50	80,01	92,08	90,57	87,55	90,07
70	70,95	73,97	70,95	71,95	84,53	87,55	84,53	85,54	98,12	95,10	93,59	95,60
80	78,50	78,50	75,48	77,49	92,08	93,59	89,06	91,58	105,67	98,12	99,63	101,14
90	81,51	83,02	80,01	81,51	95,10	98,12	93,59	95,60	108,69	102,65	102,65	104,66
100	83,02	87,55	86,04	85,54	98,12	102,65	98,12	99,63	111,71	104,16	110,20	108,69
110	89,06	90,57	87,55	89,06	102,65	104,16	101,14	102,65	116,23	110,20	113,22	113,22
120	90,57	92,08	90,57	91,08	104,16	105,67	104,16	104,66	119,25	111,71	117,74	116,23
130	96,61	95,10	95,10	95,60	108,69	107,18	107,18	107,68	122,27	114,72	116,23	117,74
140	96,61	96,61	98,12	97,11	108,69	105,67	110,20	108,18	123,78	120,76	116,23	120,26
150	98,12	98,12	101,14	99,13	108,69	108,69	111,71	109,69	129,82	119,25	120,76	123,28
160	99,63	101,14	102,65	101,14	110,20	111,71	113,22	111,71	132,84	120,76	126,80	126,80
170	102,65	102,65	104,16	103,15	113,22	117,74	110,20	113,72	132,84	125,29	129,82	129,32
180	99,63	104,16	102,65	102,15	110,20	114,72	113,22	112,71	132,84	126,80	128,31	129,32
190	101,14	105,67	102,65	103,15	111,71	120,76	113,22	115,23	134,35	129,82	128,31	130,83
200	99,63	105,67	107,18	104,16	110,20	116,23	117,74	114,72	134,35	125,29	131,33	130,32
210	102,65	108,69	105,67	105,67	113,22	120,76	116,23	116,74	137,37	128,31	134,35	133,34
220	104,16	108,69	104,16	105,67	114,72	119,25	114,72	116,23	135,86	128,31	132,84	132,34
230	105,67	110,20	101,14	105,67	116,23	120,76	111,71	116,23	138,88	132,84	135,86	135,86
240	108,69	111,71	104,16	108,18	119,25	122,27	114,72	118,75	138,88	128,31	131,33	132,84
250	104,16	111,71	104,16	106,67	116,23	123,78	116,23	118,75	140,39	129,82	132,84	134,35
260	104,16	110,20	104,16	106,17	116,23	122,27	116,23	118,25	138,88	134,35	131,33	134,85
270	105,67	110,20	105,67	107,18	117,74	122,27	117,74	119,25	141,90	138,88	135,86	138,88
280	104,16	107,18	110,20	107,18	116,23	119,25	122,27	119,25	138,88	134,35	132,84	135,35
290	104,16	107,18	105,67	105,67	116,23	119,25	117,74	117,74	138,88	134,35	132,84	135,35
300	101,14	108,69	107,18	105,67	113,22	120,76	119,25	117,74	140,39	134,35	131,33	135,35
310	105,67	108,69	101,14	105,16	117,74	120,76	113,22	117,24	138,88	129,82	128,31	132,34
320	107,18	113,22	102,65	107,68	119,25	125,29	114,72	119,76	135,86	132,84	125,29	131,33
330	105,67	107,18	107,18	106,67	117,74	119,25	119,25	118,75	132,84	128,31	125,29	128,81
340	105,67	107,18	104,16	105,67	117,74	119,25	116,23	117,74	138,88	131,33	126,80	132,34
350	107,18	107,18	104,16	106,17	119,25	119,25	116,23	118,25	132,84	135,86	126,80	131,83
360	99,63	110,20	107,18	105,67	111,71	122,27	119,25	117,74	132,84	135,86	122,27	130,32
370	102,65	111,71	104,16	106,17	114,72	123,78	116,23	118,25	132,84	129,82	123,78	128,81
380	102,65	111,71	110,20	108,18	114,72	123,78	122,27	120,26	132,84	128,31	123,78	128,31
390	105,67	111,71	104,16	107,18	117,74	123,78	116,23	119,25	129,82	128,31	126,80	128,31
400	102,65	108,69	105,67	105,67	114,72	120,76	117,74	117,74	129,82	120,76	125,29	125,29
410	104,16	108,69	108,69	107,18	116,23	120,76	120,76	119,25	131,33	126,80	125,29	127,81
420	104,16	111,71	105,67	107,18	116,23	123,78	117,74	119,25	132,84	123,78	122,27	126,30
430	102,65	105,67	107,18	105,16	114,72	117,74	119,25	117,24	132,84	122,27	123,78	126,30
440	101,14	107,18	107,18	105,16	113,22	119,25	119,25	117,24	129,82	123,78	122,27	125,29
450	102,65	110,20	107,18	106,67	114,72	122,27	119,25	118,75	132,84	123,78	122,27	126,30
460	101,14	110,20	107,18	106,17	113,22	122,27	119,25	118,25	129,82	123,78	122,27	125,29
470	101,14	110,20	107,18	106,17	113,22	122,27	119,25	118,25	129,82	122,27	122,27	124,79
480	101,14	108,69	107,18	105,67	113,22	120,76	119,25	117,74	132,84	126,80	128,31	129,32
MAX:	108,69	113,22	110,20	95,51	119,25	125,29	122,27	106,78	141,90	138,88	135,86	119,00

***(1)** Repetición 1, **(2)** Repetición 2, **(3)** Repetición 3

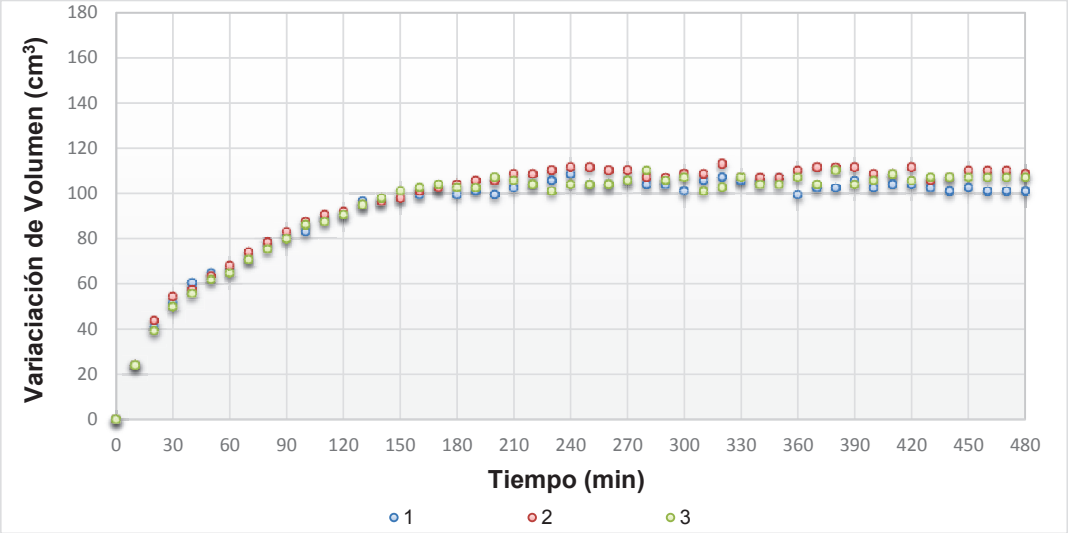


Figura AXI.15 Curvas experimentales de fermentación para T7

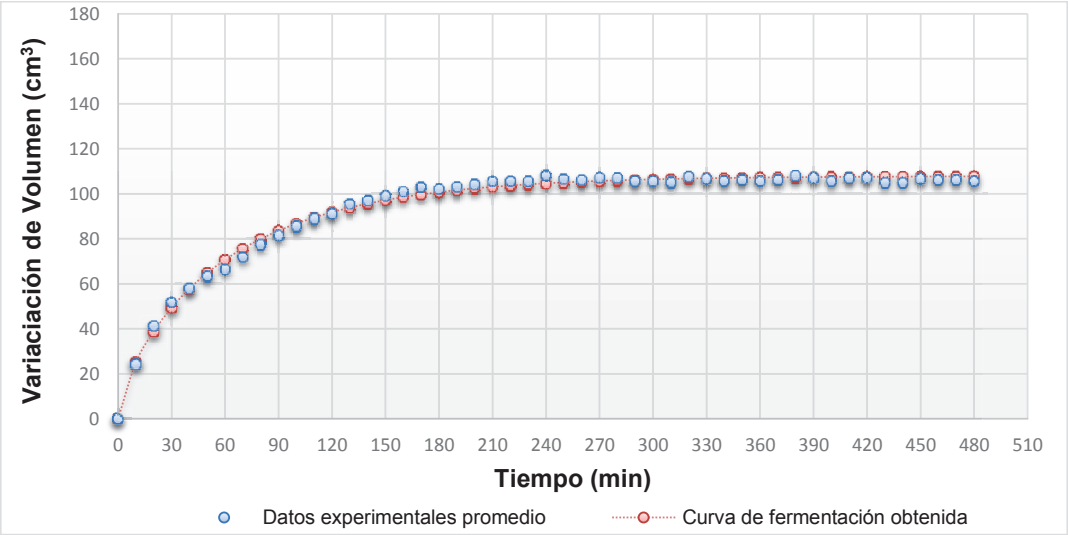


Figura AXI.16 Curvas experimental promedio y teórica de fermentación para T7

Tabla AXI.12 Parámetros de las curvas de fermentación para T7

PARÁMETROS DELA CURVA DE FERMENTACIÓN	Repeticiones			Promedio	Desv. Est.	% Error
	1	2	3			
Af (cm^3)	104,80	110,84	107,96	107,86	3,0253	2,80
Bf (min)	0,0145	0,0125	0,0125	0,0132	0,0012	8,77
Cf	0,7180	0,6830	0,6951	0,6987	0,0178	2,55
R^2	0,9894	0,9892	0,9910	0,9899	0,0010	0,10
Tiempo fermentación (min)	76,44	85,43	86,57	82,81	5,5491	6,70
Velocidad inicial (cm^3/min)	1,1070	1,1322	1,0818	1,1070	0,0252	2,27

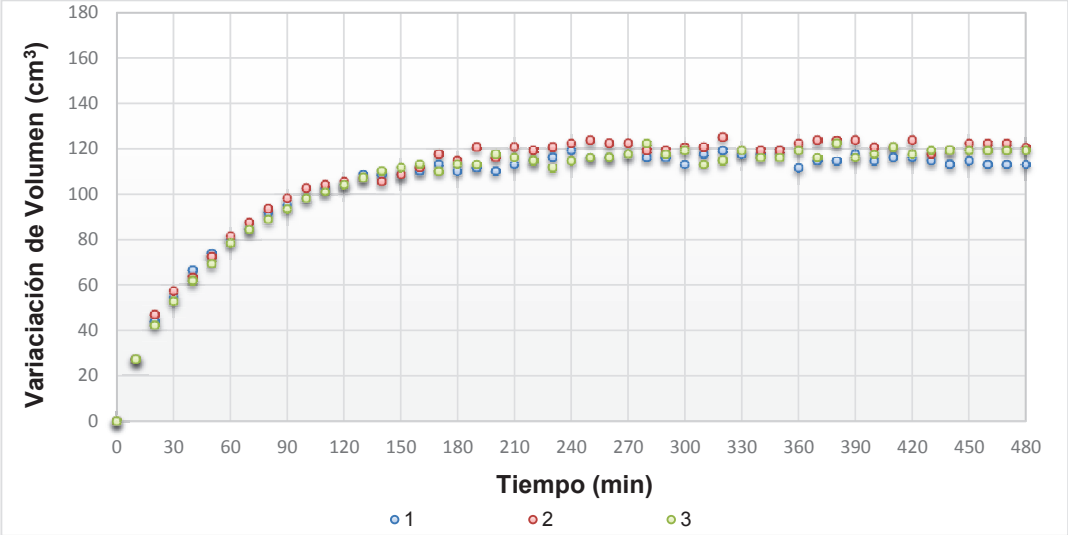


Figura AXI.17 Curvas experimentales de fermentación para T8

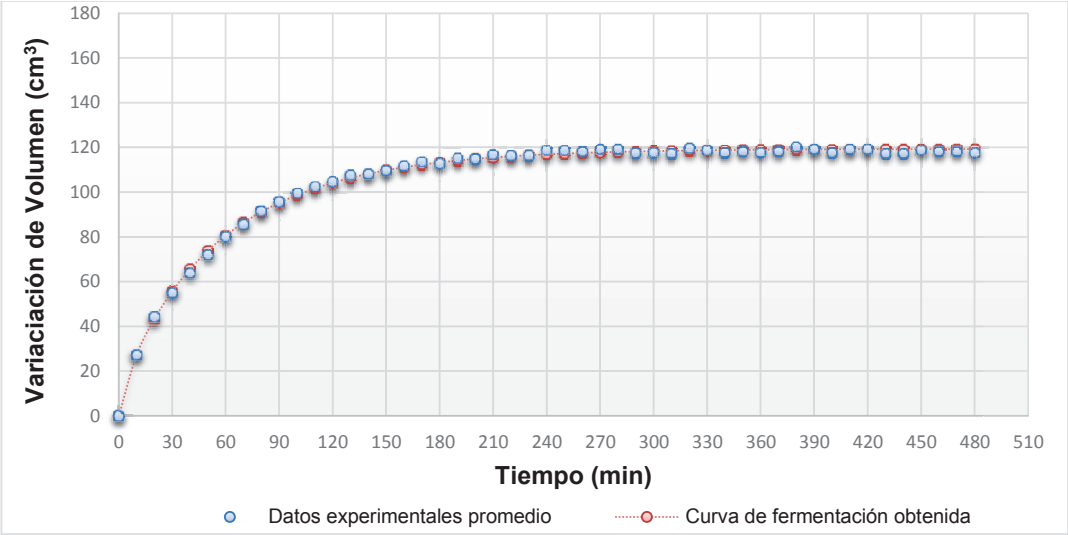


Figura AXI.18 Curvas experimental promedio y teórica de fermentación para T8

Tabla AXI.13 Parámetros de las curvas de fermentación para T8

PARÁMETROS DELA CURVA DE FERMENTACIÓN	Repeticiones			Promedio	Desv. Est.	% Error
	1	2	3			
Af (cm^3)	116,32	122,33	119,36	119,34	3,0030	2,52
Bf (min)	0,0165	0,0145	0,0140	0,0150	0,0013	8,82
Cf	0,7776	0,7405	0,7383	0,7521	0,0221	2,93
R^2	0,9959	0,9944	0,9957	0,9953	0,0008	0,08
Tiempo fermentación (min)	71,13	78,17	80,79	76,70	4,9957	6,51
Velocidad inicial (cm^3/min)	1,3334	1,3586	1,3083	1,3334	0,0252	1,89

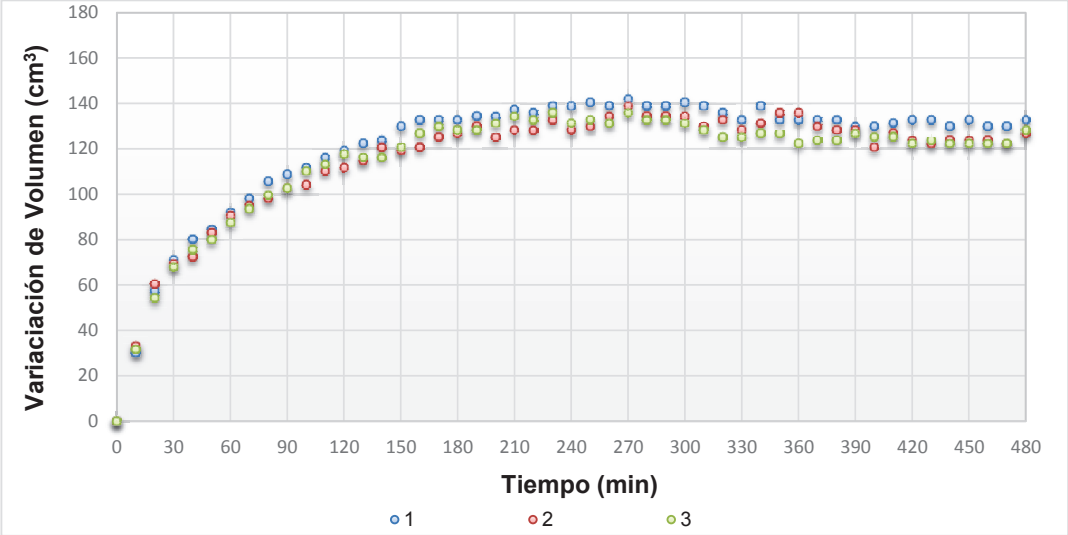


Figura AXI.19 Curvas experimentales de fermentación para T9

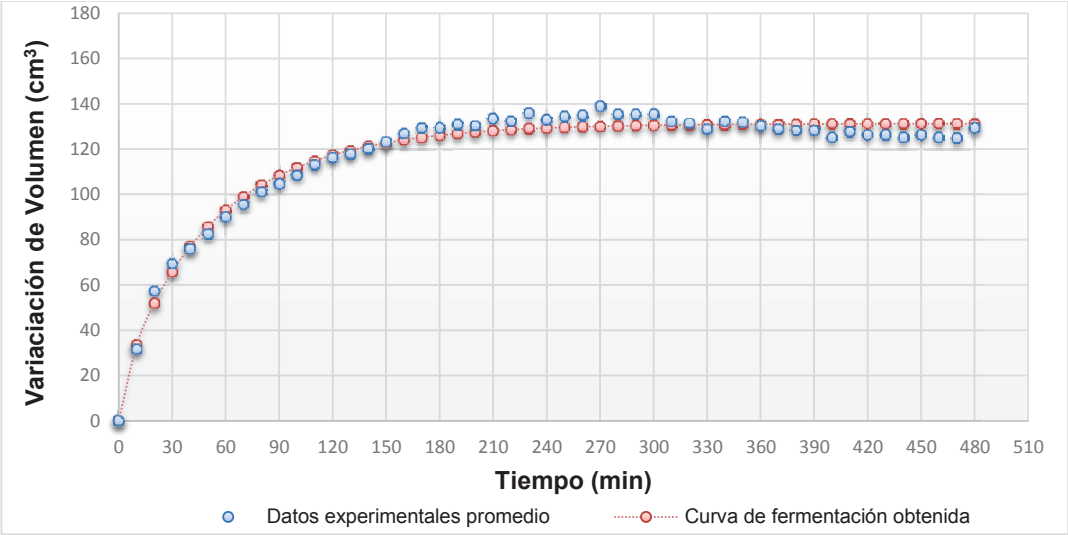


Figura AXI.20 Curvas experimental promedio y teórica de fermentación para T9

Tabla AXI.14 Parámetros de las curvas de fermentación para T9

PARÁMETROS DELA CURVA DE FERMENTACIÓN	Repeticiones			Promedio	Desv. Est.	% Error
	1	2	3			
Af (cm^3)	135,47	129,90	128,33	131,23	3,7523	2,86
Bf (min)	0,0170	0,0145	0,0170	0,0162	0,0014	8,93
Cf	0,7729	0,6486	0,7422	0,7212	0,0647	8,98
R^2	0,9833	0,9740	0,9785	0,9786	0,0046	0,47
Tiempo fermentación (min)	68,74	70,80	66,78	68,77	2,0066	2,92
Velocidad inicial (cm^3/min)	1,5347	1,5095	1,4592	1,5011	0,0384	2,56

Tabla AXI.15 Datos experimentales de volúmenes para los tratamientos T10, T11 y T12

Tiempo (min)	Incremento de Volumen (cm^3)											
	T10: 60 % Trigo – 40 % Arrocillo				T11: 60 % Trigo – 40 % Arrocillo – 0,5 % CMC				T12: 60 % Trigo – 40 % Arrocillo – 1,0 % CMC			
	1	2	3	Promedio	1	2	3	Promedio	1	2	3	Promedio
10	28,68	30,19	27,17	28,68	34,72	34,72	37,74	35,73	31,70	33,21	31,70	32,20
20	36,23	37,74	37,74	37,24	48,31	49,81	51,32	49,81	57,36	54,34	52,83	54,85
30	42,27	42,27	42,27	42,27	54,34	55,85	57,36	55,85	61,89	61,89	60,38	61,39
40	49,81	48,31	46,80	48,31	58,87	58,87	61,89	59,88	66,42	67,93	66,42	66,92
50	54,34	54,34	51,32	53,34	64,91	64,91	67,93	65,92	73,97	72,46	70,95	72,46
60	60,38	57,36	57,36	58,37	69,44	69,44	72,46	70,44	76,99	75,48	73,97	75,48
70	63,40	60,38	60,38	61,39	73,97	75,48	76,99	75,48	81,51	80,01	78,50	80,01
80	64,91	66,42	63,40	64,91	78,50	75,48	76,99	76,99	86,04	84,53	83,02	84,53
90	70,95	69,44	67,93	69,44	83,02	78,50	78,50	80,01	92,08	89,06	89,06	90,07
100	73,97	72,46	70,95	72,46	83,02	80,01	83,02	82,02	95,10	89,06	93,59	92,58
110	76,99	76,99	73,97	75,98	87,55	83,02	83,02	84,53	98,12	93,59	96,61	96,11
120	80,01	80,01	76,99	79,00	89,06	86,04	86,04	87,05	99,63	95,10	98,12	97,62
130	83,02	80,01	80,01	81,01	89,06	89,06	87,55	88,56	101,14	98,12	96,61	98,62
140	84,53	81,51	83,02	83,02	92,08	89,06	90,57	90,57	104,16	98,12	101,14	101,14
150	84,53	84,53	84,53	84,53	93,59	92,08	90,57	92,08	108,69	101,14	104,16	104,66
160	86,04	87,55	83,02	85,54	98,12	92,08	93,59	94,60	102,65	101,14	107,18	103,65
170	86,04	89,06	84,53	86,55	95,10	95,10	95,10	95,10	110,20	104,16	110,20	108,18
180	89,06	87,55	86,04	87,55	98,12	96,61	93,59	96,11	111,71	105,67	107,18	108,18
190	90,57	90,57	87,55	89,57	102,65	95,10	96,61	98,12	110,20	107,18	114,72	110,70
200	92,08	89,06	87,55	89,57	101,14	96,61	99,63	99,13	108,69	108,69	111,71	109,69
210	93,59	92,08	87,55	91,08	99,63	96,61	102,65	99,63	116,23	108,69	107,18	110,70
220	92,08	93,59	89,06	91,58	104,16	96,61	105,67	102,15	117,74	110,20	110,20	112,71
230	93,59	92,08	90,57	92,08	104,16	98,12	105,67	102,65	113,22	113,22	110,20	112,21
240	95,10	93,59	89,06	92,58	99,63	99,63	98,12	99,13	116,23	108,69	114,72	113,22
250	95,10	93,59	89,06	92,58	101,14	102,65	101,14	101,64	119,25	110,20	113,22	114,22
260	95,10	92,08	89,06	92,08	102,65	104,16	99,63	102,15	117,74	108,69	111,71	112,71
270	96,61	92,08	89,06	92,58	104,16	101,14	104,16	103,15	116,23	113,22	116,23	115,23
280	93,59	89,06	90,57	91,08	104,16	99,63	99,63	101,14	116,23	114,72	117,74	116,23
290	93,59	92,08	90,57	92,08	107,18	98,12	102,65	102,65	117,74	111,71	113,22	114,22
300	95,10	93,59	90,57	93,09	108,69	104,16	104,16	105,67	116,23	113,22	116,23	115,23
310	93,59	90,57	90,57	91,58	108,69	101,14	105,67	105,16	114,72	117,74	116,23	116,23
320	90,57	95,10	92,08	92,58	108,69	98,12	98,12	101,64	114,72	116,23	113,22	114,72
330	90,57	93,59	92,08	92,08	108,69	98,12	99,63	102,15	111,71	114,72	108,69	111,71
340	90,57	89,06	90,57	90,07	107,18	104,16	102,65	104,66	113,22	114,72	108,69	112,21
350	90,57	90,57	90,57	90,57	101,14	102,65	101,14	101,64	113,22	114,72	113,22	113,72
360	89,06	90,57	89,06	89,57	101,14	105,67	105,67	104,16	113,22	114,72	116,23	114,72
370	89,06	92,08	89,06	90,07	101,14	105,67	104,16	103,65	113,22	117,74	116,23	115,73
380	90,57	92,08	87,55	90,07	107,18	102,65	104,16	104,66	114,72	117,74	113,22	115,23
390	90,57	93,59	89,06	91,08	107,18	101,14	102,65	103,65	116,23	119,25	111,71	115,73
400	90,57	92,08	89,06	90,57	108,69	102,65	104,16	105,16	114,72	119,25	113,22	115,73
410	92,08	90,57	87,55	90,07	107,18	104,16	105,67	105,67	114,72	108,69	110,20	111,20
420	90,57	92,08	87,55	90,07	107,18	101,14	105,67	104,66	114,72	113,22	110,20	112,71
430	90,57	93,59	86,04	90,07	102,65	101,14	102,65	102,15	114,72	114,72	110,20	113,22
440	92,08	93,59	86,04	90,57	105,67	98,12	99,63	101,14	114,72	114,72	110,20	113,22
450	90,57	89,06	86,04	88,56	102,65	96,61	99,63	99,63	108,69	107,18	110,20	108,69
460	92,08	92,08	86,04	90,07	105,67	99,63	102,65	102,65	105,67	102,65	104,16	104,16
470	92,08	89,06	87,55	89,57	105,67	95,10	96,61	99,13	111,71	102,65	104,16	106,17
480	92,08	89,06	87,55	89,57	105,67	95,10	95,10	98,62	111,71	102,65	104,16	106,17
MAX:	96,61	95,10	92,08	81,80	108,69	105,67	105,67	92,67	119,25	119,25	117,74	102,23

***(1)** Repetición 1, **(2)** Repetición 2, **(3)** Repetición 3

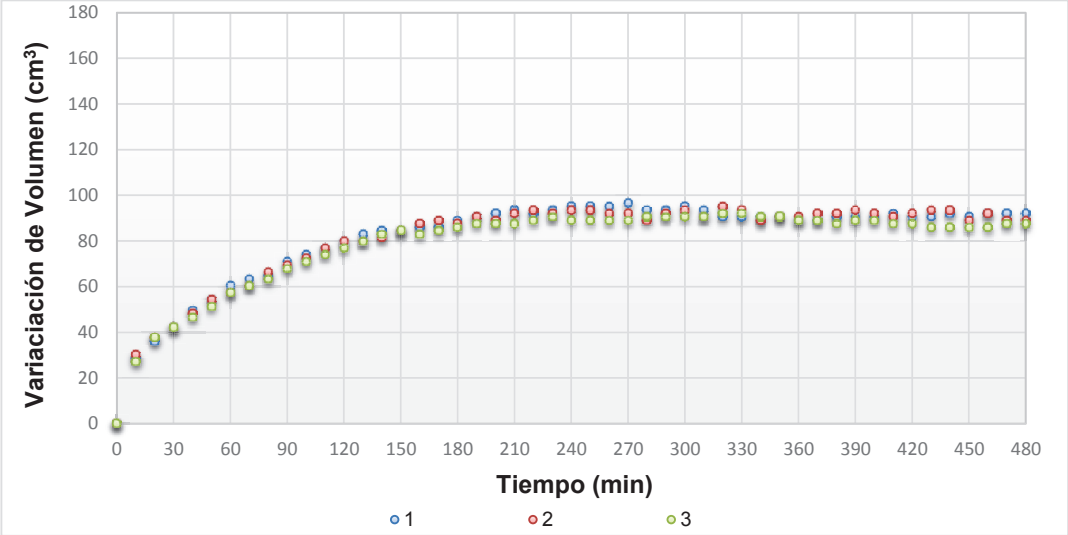


Figura AXI.21 Curvas experimentales de fermentación para T10

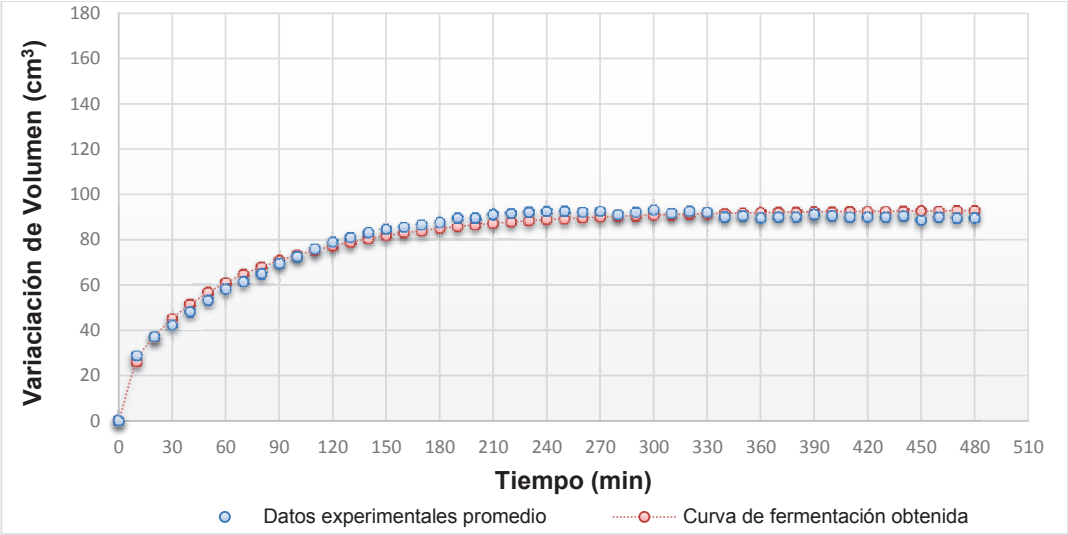


Figura AXI.22 Curvas experimental promedio y teórica de fermentación para T10

Tabla AXI.16 Parámetros de las curvas de fermentación para T10

PARÁMETROS DELA CURVA DE FERMENTACIÓN	Repeticiones			Promedio	Desv. Est.	% Error
	1	2	3			
Af (cm^3)	135,47	129,90	128,33	131,23	3,7523	2,86
Bf (min)	0,0170	0,0145	0,0170	0,0162	0,0014	8,93
Cf	0,7729	0,6486	0,7422	0,7212	0,0647	8,98
R^2	0,9833	0,9740	0,9785	0,9786	0,0046	0,47
Tiempo fermentación (min)	68,74	70,80	66,78	68,77	2,0066	2,92
Velocidad inicial (cm^3/min)	1,5347	1,5095	1,4592	1,5011	0,0384	2,56

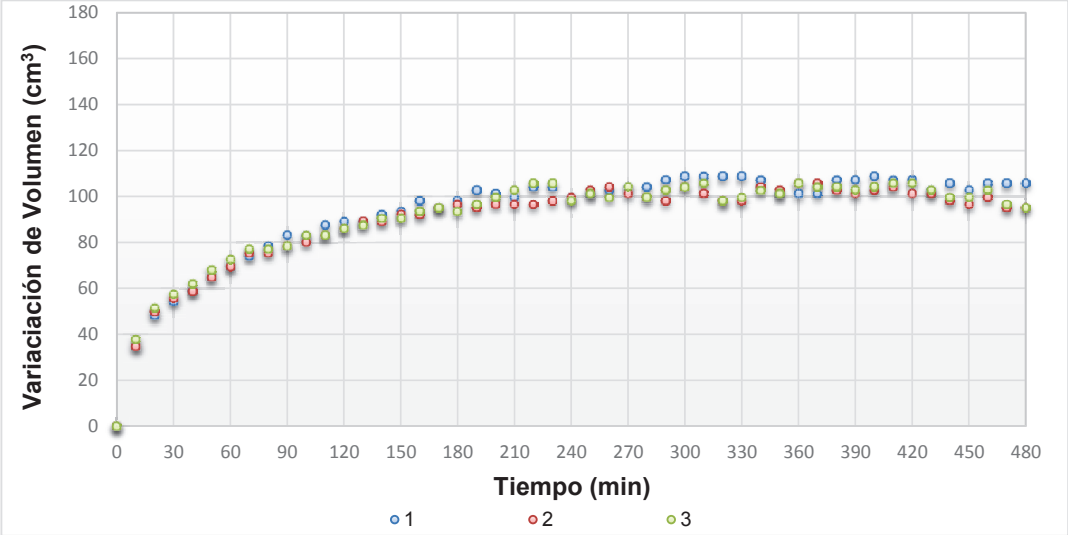


Figura AXI.23 Curvas experimentales de fermentación para T11

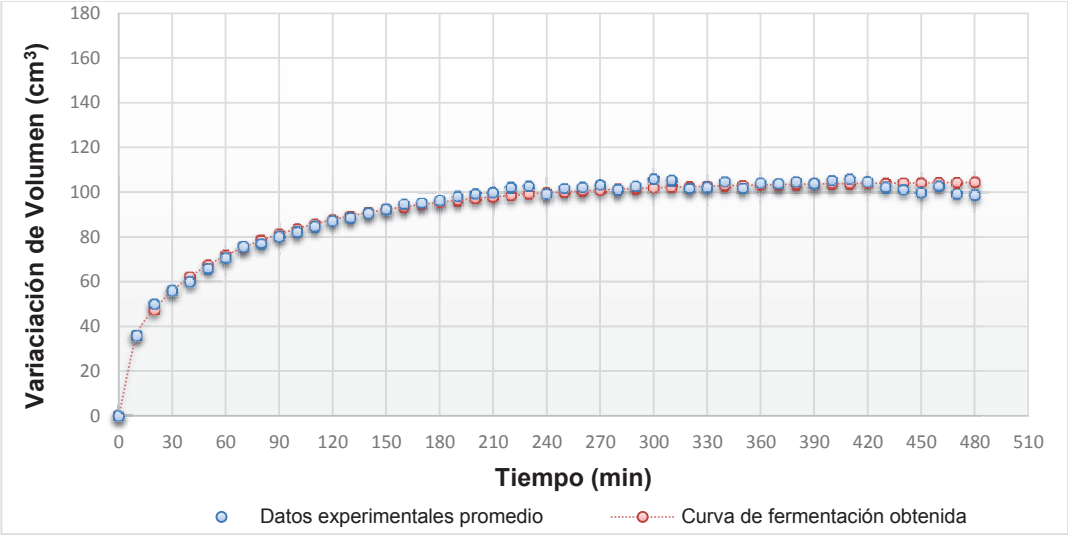


Figura AXI.24 Curvas experimental promedio y teórica de fermentación para T11

Tabla AXI.17 Parámetros de las curvas de fermentación para T11

PARÁMETROS DELA CURVA DE FERMENTACIÓN	Repeticiones			Promedio	Desv. Est.	% Error
	1	2	3			
Af (cm^3)	107,87	102,71	104,21	104,93	2,6581	2,53
Bf (min)	0,0090	0,0095	0,0090	0,0092	0,0003	3,15
Cf	0,4690	0,4468	0,4144	0,4434	0,0274	6,19
R^2	0,9884	0,9822	0,9782	0,9829	0,0051	0,52
Tiempo fermentación (min)	86,65	78,42	76,90	80,66	5,2433	6,50
Velocidad inicial (cm^3/min)	1,1573	1,1573	1,2076	1,1741	0,0291	2,47

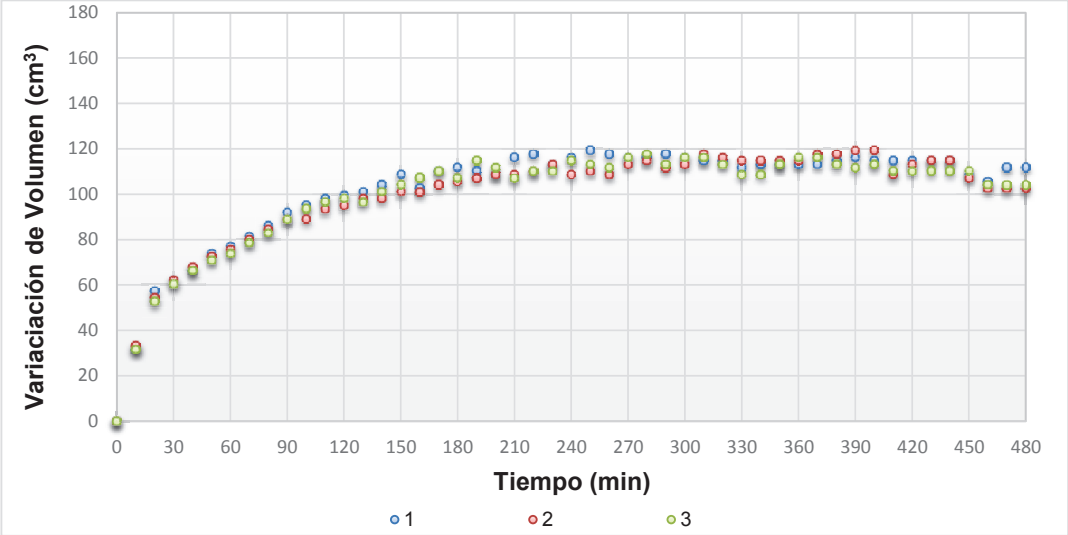


Figura AXI.25 Curvas experimentales de fermentación para T12

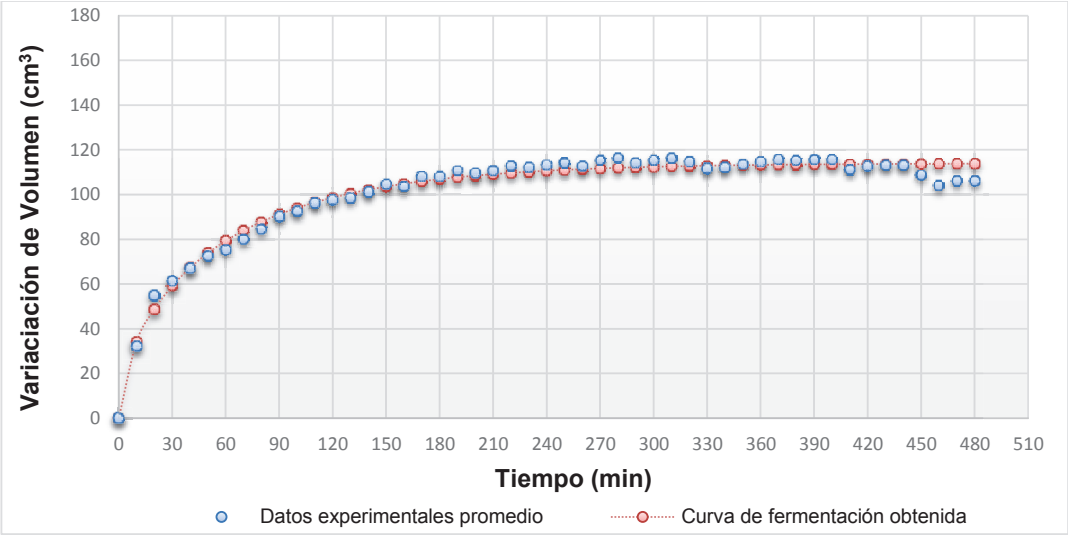


Figura AXI.26 Curvas experimental promedio y teórica de fermentación para T12

Tabla AXI.18 Parámetros de las curvas de fermentación para T12

PARÁMETROS DELA CURVA DE FERMENTACIÓN	Repeticiones			Promedio	Desv. Est.	% Error
	1	2	3			
Af (cm^3)	115,28	113,77	112,84	113,96	1,2280	1,08
Bf (min)	0,0130	0,0110	0,0130	0,0123	0,0012	9,36
Cf	0,5781	0,5157	0,5845	0,5594	0,0380	6,79
R^2	0,9750	0,9718	0,9746	0,9738	0,0017	0,18
Tiempo fermentación (min)	72,03	77,25	72,68	73,99	2,8435	3,84
Velocidad inicial (cm^3/min)	1,2831	1,2579	1,2328	1,2579	0,0252	2,00

ANEXO XII

ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)

1. REOLOGÍA

Tabla AXII.1 ANOVA - Módulo de almacenamiento

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P*
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Porcentaje harina de arrocillo	4,69533E8	3	1,56511E8	17,32	0,0000
B:Porcentaje de CMC	2,31064E8	2	1,15532E8	12,78	0,0002
INTERACCIONES					
AB	6,27022E6	6	1,04504E6	0,12	0,9936
Residuos	2,16918E8	24	9,03824E6		
Total (corregido)	9,23784E8	35			

*Valores en color rojo en la columna presentan diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$).

Tabla AXII.2 ANOVA - Módulo de pérdida

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P*
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Porcentaje harina de arrocillo	2,47482E7	3	8,24939E6	8,82	0,0004
B:Porcentaje de CMC	8,51143E6	2	4,25572E6	4,55	0,0211
INTERACCIONES					
AB	470276,0	6	78379,3	0,08	0,9973
Residuos	2,24499E7	24	935413,0		
Total (corregido)	5,61798E7	35			

*Valores en color rojo en la columna presentan diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$).

Tabla AXII.3 ANOVA - Tangente del ángulo de desfase

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P*
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Porcentaje harina de arrocillo	0,00709722	3	0,00236574	2,40	0,0928
B:Porcentaje de CMC	0,00657222	2	0,00328611	3,33	0,0528
INTERACCIONES					
AB	0,00109444	6	0,000182407	0,18	0,9782
Residuos	0,0236667	24	0,000986111		
Total (corregido)	0,0384306	35			

*Valores en color rojo en la columna presentan diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$).

2. HUMEDAD

Tabla AXII.4 ANOVA – Humedad de la miga

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P*
A:Porcentaje harina de arrocillo	47,5127	3	15,8376	25,96	0,0000
B:Porcentaje de CMC	59,1085	2	29,5543	48,45	0,0000
C: Días	2403,65	3	801,218	1313,37	0,0000
AB	27,6306	6	4,6051	7,55	0,0000
AB	5,44335	9	0,604816	0,99	0,4512
BC	8,30994	6	1,38499	2,27	0,0416
RESIDUOS	69,5455	114	0,610048		
Total (corregido)	2621,2	143			

*Valores en color rojo en la columna presentan diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$).

3. ANÁLISIS SENSORIAL

Tabla AXII.5 ANOVA - Simetría y apariencia externa del pan

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P*
A:Porcentaje harina de arrocillo	28,7121	1	28,7121	66,19	0,0000
B:Porcentaje de CMC	10,2704	1	10,2704	23,68	0,0000
C: Días	0,697225	1	0,697225	1,61	0,2153
AA	3,11052	1	3,11052	7,17	0,0123
AB	1,9208	1	1,9208	4,43	0,0445
BB	0,206667	2	0,103333	0,24	0,7896
RESIDUOS	12,146	28	0,433785		
Total (corregido)	57,0637	35			

*Valores en color rojo en la columna presentan diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$).

Tabla AXII.6 ANOVA - Estructura de la miga del pan

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P*
A:Porcentaje harina de arrocillo	47,988	1	47,988	237,37	0,0000
B:Porcentaje de CMC	11,6204	1	11,6204	57,48	0,0000
C: Días	3,03921	1	3,03921	15,03	0,0006
AA	0,853453	1	0,853453	4,22	0,0494
AB	0,00268889	1	0,00268889	0,01	0,9090
BB	0,190339	2	0,0951694	0,47	0,6294
RESIDUOS	5,66063	28	0,202165		
Total (corregido)	69,3548	35			

*Valores en color rojo en la columna presentan diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$).

Tabla AXII.7 ANOVA - Color de la corteza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P*
A:Porcentaje harina de arrocillo	0,582542	1	0,582542	1,80	0,1909
B:Porcentaje de CMC	0,67335	1	0,67335	2,08	0,1607
C: Días	2,9241	1	2,9241	9,02	0,0056
AA	1,04907	1	1,04907	3,24	0,0829
AB	0,160556	1	0,160556	0,50	0,4875
BB	0,792156	2	0,396078	1,22	0,3100
RESIDUOS	9,07948	28	0,324267		
Total (corregido)	15,2613	35			

*Valores en color rojo en la columna presentan diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$).

Tabla AXII.8 ANOVA - Color de la miga

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P*
A:Porcentaje harina de arrocillo	0,128	1	0,128	0,58	0,4514
B:Porcentaje de CMC	0,0672042	1	0,0672042	0,31	0,5844
C: Días	1,3689	1	1,3689	6,24	0,0186
AA	0,508301	1	0,508301	2,32	0,1392
AB	0,0445014	1	0,0445014	0,20	0,6559
BB	0,549206	2	0,274603	1,25	0,3016
RESIDUOS	6,14394	28	0,219427		
Total (corregido)	8,81006	35			

*Valores en color rojo en la columna presentan diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$).

Tabla AXII.9 ANOVA - Aroma a pan

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P*
A:Porcentaje harina de arrocillo	30,2498	1	30,2498	136,94	0,0000
B:Porcentaje de CMC	8,89384	1	8,89384	40,26	0,0000
C: Días	0,861803	1	0,861803	3,90	0,0582
AA	0,359707	1	0,359707	1,63	0,2124
AB	0,394568	1	0,394568	1,79	0,1922
BB	0,0603722	2	0,0301861	0,14	0,8729
RESIDUOS	6,18528	28	0,220903		
Total (corregido)	47,0054	35			

*Valores en color rojo en la columna presentan diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$).

Tabla AXII.10 ANOVA - Presencia de olores extraños

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P*
A:Porcentaje harina de arrocillo	0,00600889	1	0,00600889	0,12	0,7339
B:Porcentaje de CMC	0,567338	1	0,567338	11,13	0,0024
C: Días	0,0009	1	0,0009	0,02	0,8952
AA	0,0357075	1	0,0357075	0,70	0,4096
AB	0,0387347	1	0,0387347	0,76	0,3907
BB	0,0386722	2	0,0193361	0,38	0,6877
RESIDUOS	1,42669	28	0,0509534		
Total (corregido)	2,11406	35			

*Valores en color rojo en la columna presentan diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$).

Tabla AXII.11 ANOVA - Textura de la miga

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P*
A:Porcentaje harina de arrocillo	9,20725	1	9,20725	57,82	0,0000
B:Porcentaje de CMC	0,745538	1	0,745538	4,68	0,0392
C: Días	0,175003	1	0,175003	1,10	0,3035
AA	0,769601	1	0,769601	4,83	0,0364
AB	0,864612	1	0,864612	5,43	0,0272
BB	0,30285	2	0,151425	0,95	0,3985
RESIDUOS	4,45903	28	0,159251		
Total (corregido)	16,5239	35			

*Valores en color rojo en la columna presentan diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$).

Tabla AXII.12 ANOVA - Textura de la corteza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P*
A:Porcentaje harina de arrocillo	0,241267	1	0,241267	2,24	0,1455
B:Porcentaje de CMC	0,312817	1	0,312817	2,91	0,0993
C: Días	0,0250694	1	0,0250694	0,23	0,6331
AA	0,234083	1	0,234083	2,18	0,1514
AB	0,17405	1	0,17405	1,62	0,2139
BB	0,277517	2	0,138758	1,29	0,2913
RESIDUOS	3,01307	28	0,10761		
Total (corregido)	4,27787	35			

*Valores en color rojo en la columna presentan diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$).

Tabla AXII.13 ANOVA - Sabor a pan

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P*
A:Porcentaje harina de arrocillo	42,7391	1	42,7391	481,02	0,0000
B:Porcentaje de CMC	5,8312	1	5,8312	65,63	0,0000
C: Días	0,390625	1	0,390625	4,40	0,0452
AA	0,0980408	1	0,0980408	1,10	0,3025
AB	0,148512	1	0,148512	1,67	0,2066
BB	0,31655	2	0,158275	1,78	0,1870
RESIDUOS	2,48781	28	0,0888503		
Total (corregido)	52,0119	35			

*Valores en color rojo en la columna presentan diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$).

Tabla AXII.14 ANOVA - Presencia de sabores extraños

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P*
A:Porcentaje harina de arrocillo	5,36993	1	5,36993	42,47	0,0000
B:Porcentaje de CMC	7,6727	1	7,6727	60,68	0,0000
C: Días	0,289803	1	0,289803	2,29	0,1413
AA	1,06974	1	1,06974	8,46	0,0070
AB	0,535613	1	0,535613	4,24	0,0490
BB	0,15665	2	0,078325	0,62	0,5455
RESIDUOS	3,54063	28	0,126451		
Total (corregido)	18,6351	35			

*Valores en color rojo en la columna presentan diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$).

ANEXO XIII

DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LA PLANTA

Para determinar el tamaño de la planta se considera el Programa de Alimentación Escolar (PAE), que pretende el mejoramiento de la calidad de la Educación Básica, mediante la entrega del desayuno o refrigerio escolar a los niños que asisten a instituciones educativas fiscales, fiscomisionales y municipales de Educación General Básica (primero a séptimo año).

Sobre la base de los datos del año 2010 de la población infantil de la provincia de Pichincha matriculados en el sistema educativo público, los mismos que se proyectaron hasta el año 2034, considerando el tiempo de vida útil de los equipos de 20 años. Se obtienen los valores que se muestran en la Tabla AXIII.1.

Tabla AXIII.1 Datos para el cálculo del tamaño de planta

		Años	
		2010	**2034**
Población infantil Pichincha	(niños)	405.908,00	496.153,09
Porción infantil diaria	(g/d . niño)	30	30

(INEN, 2013, p. 2)

Teniendo en cuenta estos datos se calcula la masa total necesaria:

$$\dot{m}_{masa\ pan} = 496.153{,}09\ \cancel{niños} \times 30\ \frac{\cancel{g}}{d \cdot \cancel{niño}} \times \frac{1\ t}{1\ 000.000\ \cancel{g}} = 14{,}88\ \frac{t}{d}$$

Por tanto se aproxima este valor y obtiene el tamaño de la planta.

$$\boxed{\dot{m}_{masa\ pan} = 15\ \frac{t}{d}}$$

ANEXO XIV

CÁLCULOS DEL BALANCE DE MASA

1. ANÁLISIS DE PRODUCCIÓN POR LOTES

Se realizará una producción por lotes de moldes de pan con mezcla de harina de trigo y harina de arrocillo, para lo cual se tendrán presente las consideraciones de la Tabla AXIV.1.

Tabla AXIV.1 Requerimientos para el balance de masa

Para el lote	Para el producto (molde de pan)
Tiempo de duración = 30 min No. lotes por día = 48	Humedad producto final = 39,2 % Masa del molde de pan = 600 g No. rebanadas por molde = 40 Masa por rebanada = 15 g
Capacidad de producción diaria = $14884{,}59\ \frac{kg}{d} = 14{,}88\ \frac{t}{d}$	

$$\begin{matrix}\boldsymbol{No.\,moldes\ diarios}\\ \boldsymbol{a\ producir(teórico)}\end{matrix} = 14\,884{,}59\ \frac{\cancel{kg}}{d} \times \frac{1\ molde}{0{,}6\ \cancel{kg}} = 24\,807{,}66\,\frac{moldes}{d}$$

$$\begin{matrix}\boldsymbol{No.\,moldes\ por\ lotes}\\ \boldsymbol{a\ producir(teórico)}\end{matrix} = 24\,807{,}66\,\frac{molde}{\cancel{d}} \times \frac{1\ \cancel{d}}{48\ lotes} = 516{,}83\ \frac{moldes}{lote}$$

Debido a que en la realidad únicamente se van a producir unidades enteras, por tanto:

$$\begin{matrix}\boldsymbol{No.\,moldes\ por\ lotes}\\ \boldsymbol{a\ producir(real)}\end{matrix} = 517\ \frac{moldes}{lote}$$

$$\begin{matrix}\boldsymbol{No.\,moldes\ diario}\\ \boldsymbol{a\ producir(real)}\end{matrix} = 517\ \frac{moldes}{\cancel{lote}} \times \frac{48\ \cancel{lotes}}{1\ día} = 24\,816\ \frac{moldes}{d}$$

2. EJEMPLO DE CÁLCULO DEL BALANCE DE MASA EN CADA PROCESO

2.1. Dosificación

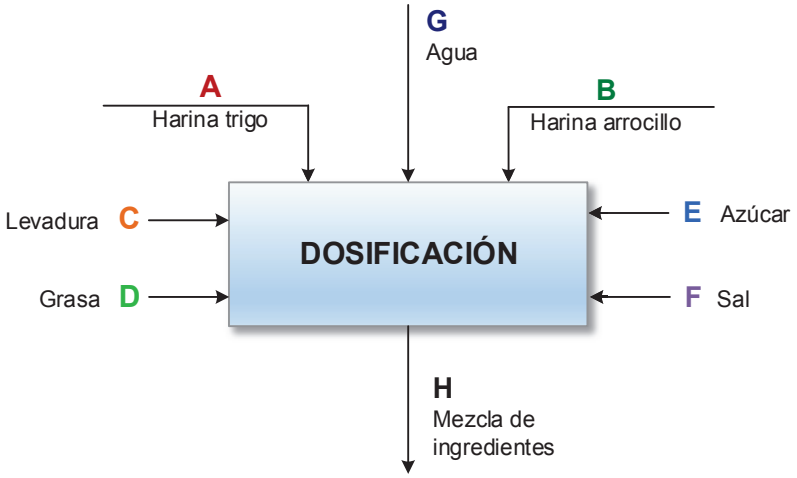


Figura AXIV.1 Diagrama – Proceso de dosificación

Para determinar la cantidad de ingredientes que se necesita por cada lote, se tomó en cuenta las humedades de cada uno de los ingredientes y la composición porcentual de la mezcla total, que se detalla en la Tabla AXIV.2.

Tabla AXIV.2 Formulación para el pan de harina de trigo y harina de arrocillo

Ingredientes		Porcentaje Panadero (%)	Porcentaje Humedad (%)	Cantidades Ingredientes (kg/lote)
A	Harina de trigo	90,00	13,10	173,478
B	Harina de arrocillo	10,00	10,53	19,275
C	Levadura fresca	4,00	70,00	7,710
D	Grasa	4,00	0,50	7,710
E	Azúcar	4,00	5,00	7,710
F	Sal	2,00	0,50	3,855
G	Agua	68,00	100,00	131,072
Total:		182,00		**350,811**

Sobre la base de los datos de los ingredientes, se determinó la cantidad de agua y sólidos del producto final, se detalla en Tabla AXIV.3.

Tabla AXIV.3 Contenido de sólidos y agua del producto final

Ingredientes	Porcentaje (%)	Cantidad (kg/lote)
Agua	46,08	161,67
Sólidos	53,92	189,14
Total:	100,00	**350,811**

2.2. Amasado

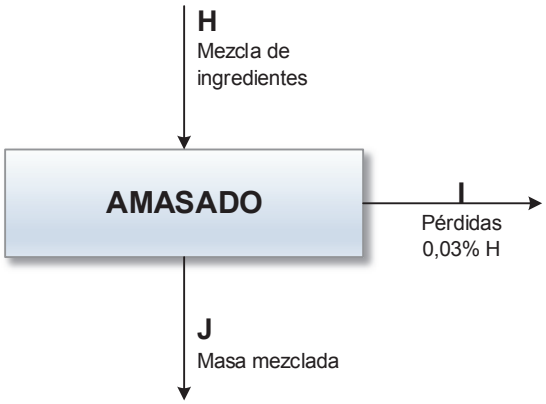


Figura AXIV.2 Diagrama – Proceso de amasado

Masa de las pérdidas en el amasado:

$$\boldsymbol{I} = \frac{0{,}03}{100} H = \frac{0{,}03}{100} \cdot \left(350{,}81 \frac{kg}{lote}\right)$$

$$\boxed{\boldsymbol{I} = 0{,}1052 \frac{kg}{lote}}$$

Masa que sale de la amasadora:

$$\boldsymbol{H} = I + J$$

$$\boldsymbol{J} = H - I$$

$$\boldsymbol{J} = 350{,}81 \frac{kg}{lote} - 0{,}1052 \frac{kg}{lote}$$

$$\boxed{\boldsymbol{J} = 350{,}706 \frac{kg}{lote}}$$

2.3. División

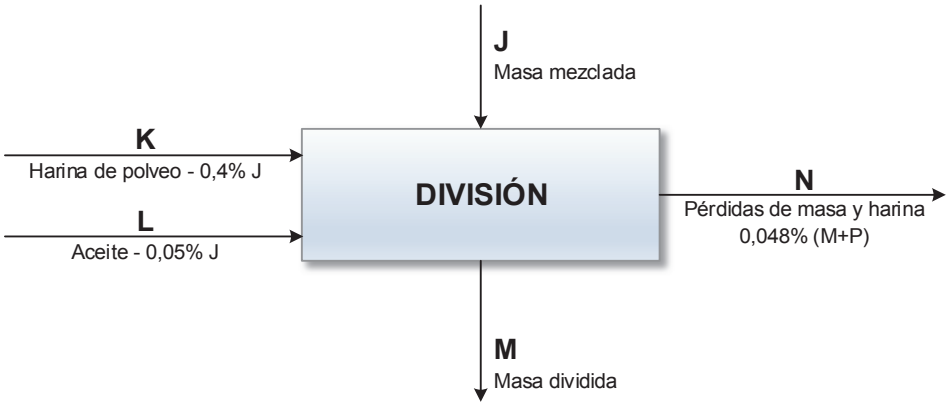


Figura AXIV.3 Diagrama – Proceso de división

Masa de harina de polveo utilizada para la división:

$$\boldsymbol{K} = \frac{0{,}4}{100} J = \frac{0{,}4}{100} \cdot \left(350{,}531 \ \frac{kg}{lote}\right)$$

$$\boxed{\boldsymbol{K} = 1{,}403 \ \frac{kg}{lote}}$$

Masa de aceite utilizado para la división:

$$\boldsymbol{L} = \frac{0{,}05}{100} J = \frac{0{,}05}{100} \cdot \left(350{,}531 \ \frac{kg}{lote}\right)$$

$$\boxed{\boldsymbol{L} = 0{,}1754 \ \frac{kg}{lote}}$$

Masa de las pérdidas en la división:

$$\boldsymbol{N} = \frac{0{,}048}{100} (J + K) = \frac{0{,}048}{100} \cdot \left(350{,}531 \ \frac{kg}{lote} + 1{,}403 \ \frac{kg}{lote}\right)$$

$$\boxed{\boldsymbol{N} = 0{,}1690 \ \frac{kg}{lote}}$$

Masa mezclada en división:

$$\boldsymbol{J} + \boldsymbol{K} + \boldsymbol{L} = \boldsymbol{M} + \boldsymbol{N}$$

$$M = 350{,}531 \ \frac{kg}{lote} + 1{,}403 \ \frac{kg}{lote} + 0{,}1754 \ \frac{kg}{lote} - 0{,}1690 \ \frac{kg}{lote}$$

$$\boxed{\boldsymbol{M} = 352{,}115\ \frac{kg}{lote}}$$

2.4. Boleado

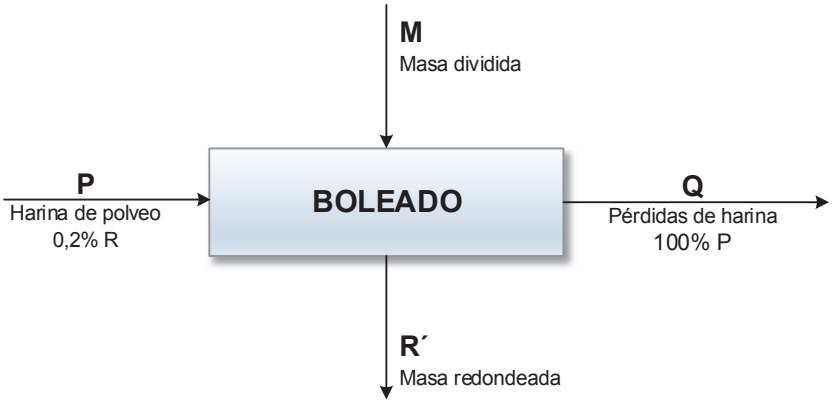


Figura AXIV.4 Diagrama – Proceso de boleado

Masa de harina utilizada para el boleado:

$$\boldsymbol{P} = \frac{0{,}20}{100}\ M = \frac{0{,}20}{100} \cdot \left(352{,}115\ \frac{kg}{lote}\right)$$

$$\boxed{\boldsymbol{P} = 0{,}7042\ \frac{kg}{lote}}$$

Masa de las pérdidas en el boleado:

$$\boldsymbol{Q} = P$$

$$\boxed{\boldsymbol{Q} = 0{,}7042\ \frac{kg}{lote}}$$

Masa obtenida de la división:

$$\boldsymbol{M} + \boldsymbol{P} = \boldsymbol{Q} + \boldsymbol{R'}$$

$$\boldsymbol{R'} = 352{,}115\ \frac{kg}{lote} + 0{,}7042\ \frac{kg}{lote} - 0{,}7042\ \frac{kg}{lote}$$

$$\boxed{\boldsymbol{R'} = 352{,}115\ \frac{kg}{lote}}$$

2.5. Reposo

En el proceso de reposo de la masa, no existe variación en la masa.

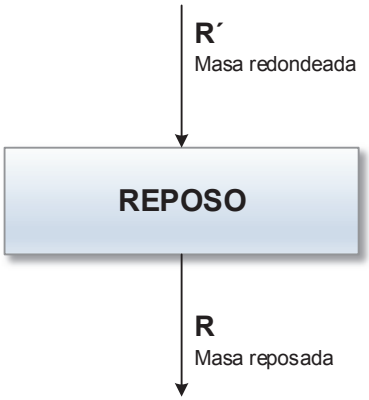


Figura AXIV.5 Diagrama – Proceso de reposado

$$\boldsymbol{R'} = \boldsymbol{R} = 352{,}115\ \frac{kg}{lote}$$

2.6. Laminado y moldeado

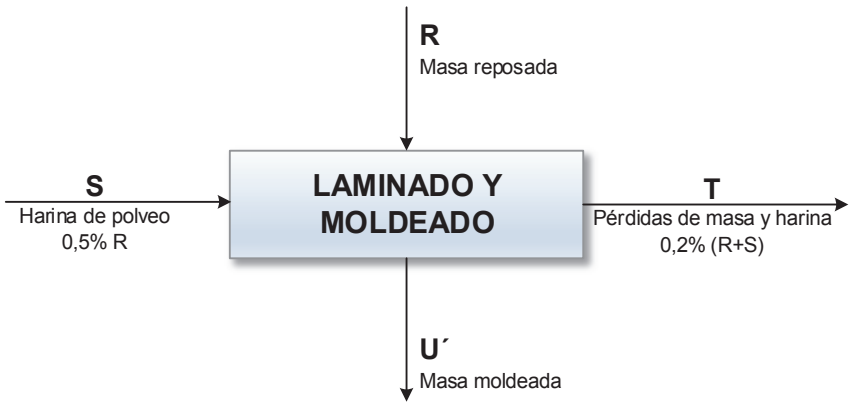


Figura AXIV.6 Diagrama – Proceso de laminado y moldeado

Masa de harina de polveo utilizada para el laminado y moldeado:

$$\boldsymbol{S} = \frac{0{,}5}{100}\ R = \frac{0{,}5}{100} \cdot \left(352{,}115\ \frac{kg}{lote}\right)$$

$$\boxed{\boldsymbol{S} = 1{,}7606\ \frac{kg}{lote}}$$

Masa de las pérdidas en el laminado y moldeado:

$$\boldsymbol{T} = \frac{0{,}2}{100}\ (R + S) = \frac{0{,}2}{100} \cdot \left(352{,}115\ \frac{kg}{lote} + 1{,}7606\ \frac{kg}{lote}\right)$$

$$\boxed{\boldsymbol{T} = 0{,}7078\ \frac{kg}{lote}}$$

Masa del reposo:

$$R + S = \ T + U'$$

$$U' = 352{,}115\ \frac{kg}{lote} + 1{,}7606\ \frac{kg}{lote} - 0{,}7078\ \frac{kg}{lote}$$

$$\boxed{\boldsymbol{U'} = 353{,}168\ \frac{kg}{lote}}$$

2.7. Fermentado

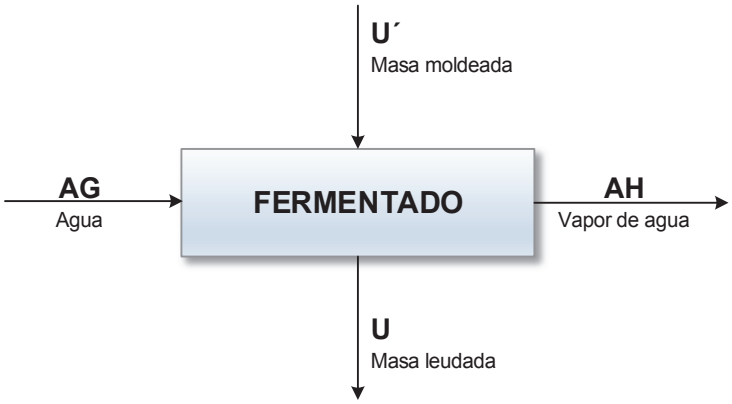


Figura AXIV.7 Diagrama – Proceso de fermentado

$$\boldsymbol{U'} + \boldsymbol{AG} = \ \boldsymbol{U} + \boldsymbol{AH}$$

$$\boldsymbol{AG} = \boldsymbol{AH} = 0{,}580\ \frac{kg}{lote}$$

$$\boldsymbol{U'} = \boldsymbol{U} = 353{,}168\ \frac{kg}{lote}$$

2.8. Horneado

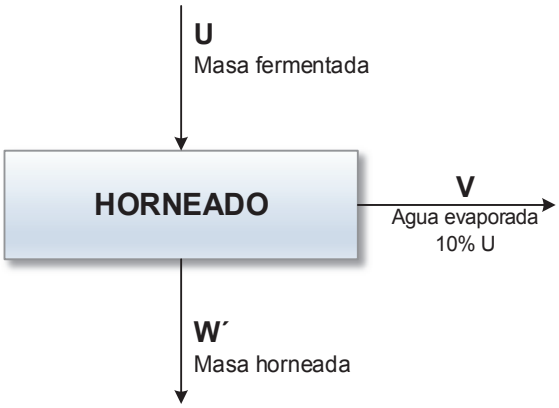


Figura AXIV.8 Diagrama – Proceso de horneado

Cantidad de agua evaporada en el horneado:

$$\boldsymbol{V} = \frac{10}{100}\,U = \frac{10}{100}\cdot\left(353{,}168\,\frac{kg}{lote}\right)$$

$$\boxed{\boldsymbol{V} = 35{,}317\,\frac{kg}{lote}}$$

Cantidad de masa horneada:

$$\boldsymbol{U} = \boldsymbol{W'} + \boldsymbol{V}$$

$$\boldsymbol{W'} = 353{,}168\,\frac{kg}{lote} - 35{,}317\,\frac{kg}{lote}$$

$$\boxed{\boldsymbol{W'} = 317{,}851\,\frac{kg}{lote}}$$

2.9. Desmoldeo

En el proceso de reposo de la masa, no existe variación en la masa.

$$\boldsymbol{W'} = \boldsymbol{W} = 317{,}851\,\frac{kg}{lote}$$

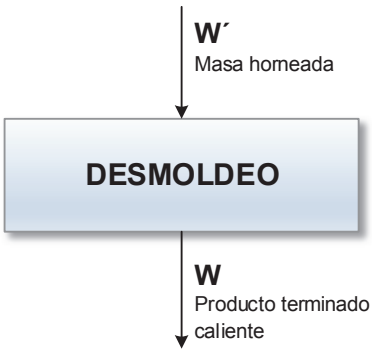


Figura AXIV.9 Diagrama – Proceso de desmoldeo

2.10. Enfriamiento

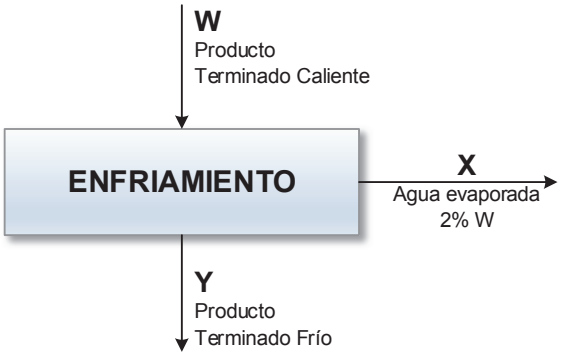


Figura AXIV.10 Diagrama – Proceso de enfriamiento

Cantidad de agua evaporada en el enfriado:

$$\boldsymbol{X} = \frac{2}{100}\,W = \frac{2}{100}\cdot\left(317{,}851\,\frac{kg}{lote}\right)$$

$$\boxed{\boldsymbol{X} = 6{,}357\,\frac{kg}{lote}}$$

Cantidad de producto terminado frío:

$$W = \mathrm{X}+\mathrm{Y}$$

$$\boldsymbol{Y} = 317{,}851\,\frac{kg}{lote} - 6{,}357\,\frac{kg}{lote}$$

$$\boxed{\boldsymbol{Y} = 311{,}494\,\frac{kg}{lote}}$$

2.11. Rebanado

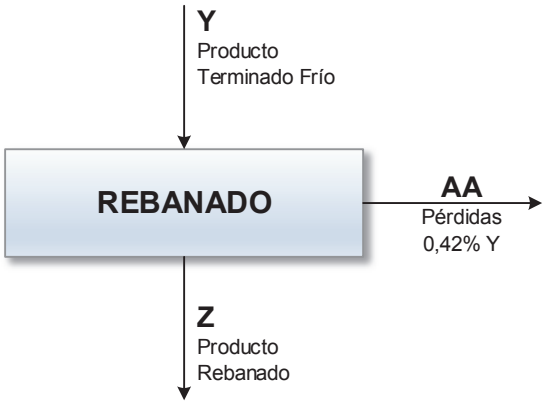


Figura AXIV.11 Diagrama – Proceso de rebanado

Masa de las pérdidas en el rebanado:

$$\boldsymbol{AA} = \frac{0{,}42}{100}\,Y = \frac{0{,}42}{100}\cdot\left(311{,}494\,\frac{kg}{lote}\right)$$

$$\boxed{\boldsymbol{AA} = 1{,}293\,\frac{kg}{lote}}$$

Masa del producto rebanado:

$$\boldsymbol{Y} = Z + \mathrm{AA}$$

$$\boldsymbol{Z} = 311{,}494\,\frac{kg}{lote} - 1{,}293\,\frac{kg}{lote}$$

$$\boxed{\boldsymbol{Z} = 310{,}20\,\frac{kg}{lote}}$$

2.12. Enfundado y Etiquetado

Material de empaque (fundas y etiquetas) para el producto:

$$\boldsymbol{AC} = \frac{1{,}4}{100}\,Y = \frac{1{,}4}{100}\cdot\left(310{,}20\,\frac{kg}{lote}\right)$$

$$\boxed{\boldsymbol{AC} = 4{,}343\,\frac{kg}{lote}}$$

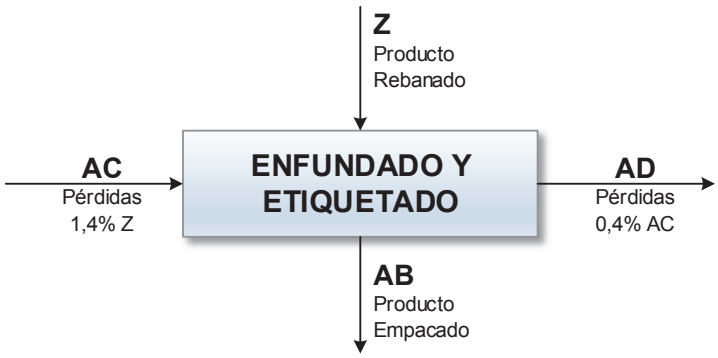


Figura AXIV.12 Diagrama – Proceso de enfundado y etiquetado

Pérdidas de material de empaque (fundas y etiquetas):

$$\boldsymbol{AD} = \frac{0{,}4}{100}\,AC = \frac{0{,}4}{100}\cdot\left(4{,}343\,\frac{kg}{lote}\right)$$

$$\boxed{\boldsymbol{AD} = 0{,}0174\,\frac{kg}{lote}}$$

Masa del producto empacado:

$$AB = Z + AC - AD$$

$$\boldsymbol{AB} = 310{,}20\,\frac{kg}{lote} + 4{,}343\,\frac{kg}{lote} - 0{,}0174\,\frac{kg}{lote}$$

$$\boxed{\boldsymbol{AB} = 314{,}53\,\frac{kg}{lote}}$$

2.13. Molienda

Para la elaboración de harina de arrocillo se considerará la cantidad que se requiere para la sustitución parcial en el pan y la cantidad utilizada como harina de polveo.

$$\boldsymbol{Cantidad\ de\ harina\ de\ arocillo\ requirada} = Cantidad\ utilizada\ para\ el\ pan + Cantidad\ utilizada\ como\ harina\ de\ polveo$$

$$\boldsymbol{Cantidad\ de\ harina\ de\ arocillo\ requirada} = 4\,626{,}08\ \frac{kg}{semanal} + 928{,}23\ \frac{kg}{semanal}$$

$$\boldsymbol{Cantidad\ de\ harina\ de\ arocillo\ requirada} = 5\,554{,}31\ \frac{kg}{semanal}$$

Para el balance de masa en esta etapa, se considera que esta operación unitaria se la realiza una vez por semana luego de lo cual se almacenará en silos, por tanto se debe moler la cantidad suficiente para la semana de trabajo.

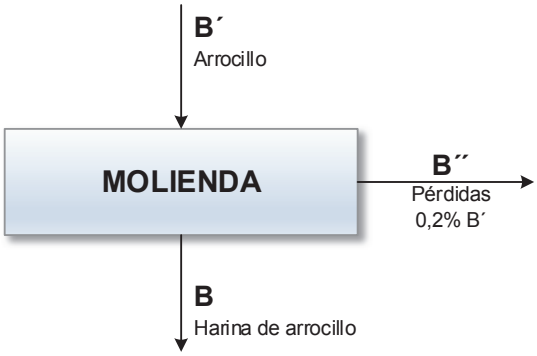


Figura AXIV.13 Diagrama – Proceso de molienda

Cantidad de arrocillo que entra al molino:

$$\boldsymbol{AE} = B + \frac{0{,}20}{100}\ AE$$

$$\boldsymbol{AE} = \frac{B}{0{,}998}$$

$$\boldsymbol{AE} = \frac{5\,554{,}31\ \frac{kg}{semanal}}{0{,}998}$$

$$\boxed{\boldsymbol{AE} = 5\,565{,}44\ \frac{kg}{semanal}}$$

Pérdidas de arrocillo en la molienda:

$$\boldsymbol{AF} = \frac{0{,}20}{100}\ AE = \frac{0{,}20}{100} \cdot \left(5\,565{,}44\ \frac{kg}{semanal}\right)$$

$$\boxed{\boldsymbol{AF} = 11{,}13\ \frac{kg}{semanal}}$$

ANEXO XV

RESULTADOS DEL BALANCE DE MASA PARA LA PLANTA DE PRODUCCIÓN

ANEXO XVI

CÁLCULOS PARA EL BALANCE DE ENERGÍA

1. BALANCE DE ENERGÍA EN LA CÁMARA DE FERMENTACIÓN

De acuerdo a la Figura AXVI.1, los datos de Tabla AXVI.1 y las siguientes consideraciones, se realizó el balance de energía:

- Eficiencia del equipo: 70 %
- Se desprecia la energía generada

Figura AXVI.1 Diagrama – Cámara de fermentación

Tabla AXVI.1 Datos de la masa cruda y agua condensada en el proceso de fermentado

Masa cruda	Agua condensada
$m = 353{,}168\ kg$ $To_{masa} = 22\ °C$ $Tf_{masa} = 30\ °C$ $Cp_{masa} = 2{,}856\ \frac{kJ}{kg \cdot °C}$	$m_{agua} = 0{,}58\ kg$ $To_{agua} = 18\ °C$ $Tf_{agua} = 30\ °C$ $Cp_{agua} = 4{,}18\ \frac{kJ}{kg \cdot °C}$

Aplicando la ecuación general del balance de energía se tiene:

$$Q_{entra} - Q_{sale} = Q_{almacenado}$$

$$Q_{entra} - \left(Q_{agua\ condensada} + Q_{perdida\ de\ eficiencia}\right) = Q_{almacenado}$$

$$Q_{entra} = Q_{almacenado} + Q_{agua\ condensada} + Q_{perdida\ de\ eficiencia}$$

$$Q_{entra} = Q_{almacenado} + Q_{agua\ condensada} + (1 - 0{,}7) \cdot Q_{entra}$$

$$0.7 \cdot Q_{entra} = Q_{almacenado} + Q_{agua\ condensada}$$

$$Q_{almacenado} = m \cdot Cp_{masa} \cdot (Tf_{masa} - To_{masa})$$

$$Q_{almacenado} = 353{,}168\ \cancel{kg} \cdot 2{,}856\ \frac{kJ}{\cancel{kg} \cdot °C} \cdot (30 - 22)°C$$

$$\boxed{\boldsymbol{Q_{almacenado} = 8\,069{,}2\ kJ}}$$

$$Q_{agua\ condensada} = m_{agua} \cdot Cp_{agua} \cdot (Tf_{masa} - To_{masa})$$

$$Q_{agua\ condensada} = 0{,}58\ \cancel{kg} \cdot 4{,}18\ \frac{kJ}{\cancel{kg} \cdot °C} \cdot (30 - 18)°C$$

$$\boldsymbol{Q_{agua\ condensada} = 29{,}1\ kJ}$$

$$Q_{entra} = \frac{8\,069{,}2\ kJ + 29{,}1\ kJ}{0{,}7}$$

$$\boxed{\boldsymbol{Q_{entra} = 11\,568{,}98\ kJ}}$$

$$Q_{perdida\ de\ eficiencia} = (1 - \eta) \cdot Q_{entra}$$

$$Q_{perdida\ de\ eficiencia} = (1 - 0{,}7) \cdot 11\,568{,}98\ kJ$$

$$\boldsymbol{Q_{perdida\ de\ eficiencia} = 29{,}1\ kJ}$$

$$Q_{sale} = 29{,}1\ kJ + 3\,470{,}69\ kJ$$

$$\boxed{\boldsymbol{Q_{sale} = 3\,499{,}79\ kJ}}$$

2. BALANCE DE ENERGÍA EN EL HORNO

De acuerdo a la Figura AXVI.2, los datos de Tabla AXVI.2 y las siguientes consideraciones, se realizó el balance de energía:

- Eficiencia del equipo: 90 %
- Se desprecia la energía generada

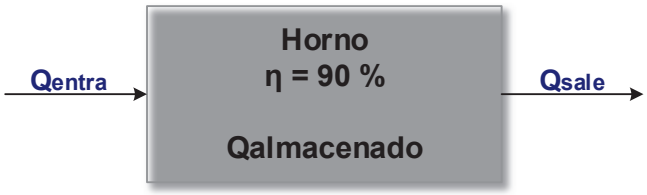


Figura AXVI.2 Diagrama – Horno

Tabla AXVI.2 Datos del pan y agua en el proceso de horneado

Masa de pan	Agua
$m_{pan} = 317{,}85\ kg$ $To_{pan} = 30\ ℃$ $Tf_{pan} = 94\ ℃$ $Cp_{pan} = 2{,}856\ \frac{kJ}{kg \cdot ℃}$	$m_{agua} = 35{,}317\ kg$ $To_{agua} = 30\ ℃$ $Tf_{agua} = 94\ ℃$ $Cp_{agua} = 4{,}18\ \frac{kJ}{kg \cdot ℃}$

Aplicando la ecuación general del balance de energía se tiene:

$$Q_{entra} - Q_{sale} = Q_{almacenado}$$

$$Q_{entra} - \left(Q_{agua} + Q_{vaporización} + Q_{perdida\ de\ eficiencia}\right) = Q_{pan}$$

$$Q_{entra} = Q_{pan} + Q_{agua} + Q_{vaporización} + (1 - 0{,}9) \cdot Q_{entra}$$

$$0{,}9 \cdot Q_{entra} = Q_{pan} + Q_{agua} + Q_{vaporización}$$

$$Q_{almacenado} = m_{pan} \cdot Cp_{pan} \cdot \left(Tf_{pan} - To_{pan}\right)$$

$$Q_{almacenado} = 317{,}85\ \cancel{kg} \cdot 2{,}856\ \frac{kJ}{\cancel{kg} \cdot \cancel{℃}} \cdot (94 - 30)\cancel{℃}$$

$$\boxed{\boldsymbol{Q_{almacenado} = 58\,097{,}89\ kJ}}$$

$$Q_{agua} = m_{agua} \cdot Cp_{agua} \cdot (Tf_{masa} - To_{masa})$$

$$Q_{agua} = 35{,}317\ \cancel{kg} \cdot 4{,}18\ \frac{kJ}{\cancel{kg} \cdot \cancel{℃}} \cdot (94 - 30)\cancel{℃}$$

$$\boldsymbol{Q_{agua} = 9\,447{,}95\ kJ}$$

$$Q_{vaporización} = m_{agua} \cdot \lambda_{agua}$$

$$Q_{vaporización} = 35{,}317\ \cancel{kg} \cdot 2\,257\ \frac{kJ}{\cancel{kg}}$$

$$\boldsymbol{Q_{vaporización} = 79\,710{,}02\ kJ}$$

$$Q_{entra} = \frac{Q_{pan} + Q_{agua} + Q_{vaporización}}{0{,}9}$$

$$Q_{entra} = \frac{58\,097{,}89\ kJ + 9\,447{,}95\ kJ + 79\,710{,}02\ kJ}{0{,}9}$$

$$\boxed{\boldsymbol{Q_{entra} = 163\,617{,}62\ kJ}}$$

$Q_{perdida\ de\ eficiencia} = (1-\eta)\cdot Q_{entra}$

$Q_{perdida\ de\ eficiencia} = (1-0{,}9)\cdot 163\,617{,}62\ kJ$

$\boldsymbol{Q_{perdida\ de\ eficiencia} = 16\,361{,}76\ kJ}$

$Q_{sale} = 9\,447{,}95\ kJ + 79\,710{,}02\ kJ + 16\,361{,}76\ kJ$

$\boxed{\boldsymbol{Q_{sale} = 105\,519{,}73\ kJ}}$

3. BALANCE DE ENERGÍA EN EL BANCO DE ENFRIAMIENTO

Considerando la Figura AXVI.3 y los datos de la Tabla AXVI.3, se realizó el balance de energía:

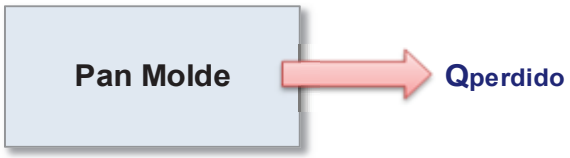


Figura AXVI.3 Diagrama – Enfriamiento del pan molde

Tabla AXVI.3 Datos del pan y agua en el proceso de horneado

Pan	Otros datos
$m_{pan} = 0{,}615\ kg$ $To_{pan} = 94\ °C$ $Tf_{pan} = 30\ °C$ $Cp_{pan} = 2{,}856\ \frac{kJ}{kg\cdot °C}$	$m_{agua} = 0{,}0123\ kg$ $\lambda_{agua} = 2\,257\ \frac{kJ}{kg}$ $h = 10\ \frac{W}{m^2\cdot °C}$

- **Cálculo del área de transferencia**

  $\boldsymbol{A_s} = 2\cdot(0{,}083m)\cdot(0{,}09m) + 2\cdot(0{,}4035m)\cdot(0{,}09m) + (0{,}086m)\cdot(0{,}407m)$

  $\boldsymbol{A_s} = 0{,}1226\ m^2$

- **Cálculo del tiempo de enfriamiento del pan**

$$\boldsymbol{t} = \frac{\rho \cdot V \cdot Cp}{h \cdot A_s} \cdot ln\left(\frac{T_0 - T_\infty}{T_f - T_\infty}\right)$$

$$\boldsymbol{t} = \frac{m_{pan} \cdot Cp}{h \cdot A_s} \cdot ln\left(\frac{T_0 - T_\infty}{T_f - T_\infty}\right)$$

$$\boldsymbol{t} = \frac{0{,}615\ kg \cdot 2{,}856\ \frac{kJ}{kg \cdot ℃}}{10\ \frac{W}{m^2 ℃} \cdot 0{,}1226\ m^2} \cdot ln\left(\frac{94\ ℃ - 22\ ℃}{30\ ℃ - 22\ ℃}\right)$$

$$\boxed{\boldsymbol{t = 2\ 692{,}2\ s = 44{,}87\ min}}$$

- **Balance de energía**

$$\boldsymbol{Q_{ganado\ ambiente} = -Q_{perdido\ pan}}$$

$$Q_{perdido\ pan} = Q_{agua\ evaporada} + Q_{sale\ por\ enfriamiento}$$

$$Q_{\substack{perdido \\ pan}} = \left(m_{agua} \cdot \lambda_{agua}\right) + \left[m_{pan\ frío} \cdot Cp_{pan} \cdot \left(Tf_{pan} - T_\infty\right)\right] \cdot \left[1 - e^{-\frac{t}{\frac{m_{pan\ frío} \cdot Cp_{pan}}{h \cdot A_s}}}\right]$$

$$Q_{\substack{perdido \\ pan}} = \left(m_{agua} \cdot \lambda_{agua}\right) + \left[m_{pan\ frío} \cdot Cp_{pan} \cdot \left(Tf_{pan} - T_\infty\right)\right] \cdot \left[1 - e^{-\frac{t \cdot h \cdot A_s}{m_{pan\ frío} \cdot Cp_{pan}}}\right]$$

$$Q_{\substack{perdido \\ pan}} = \left(0{,}0123\ kg \cdot 2\ 257\ \frac{kJ}{kg}\right) + \left[0{,}6025\ kg \cdot 2{,}856\ \frac{kJ}{kg \cdot ℃} \cdot (94 - 22)℃\right] \cdot \left[1 - e^{-\frac{(2\ 692{,}2\ s) \cdot \left(10\ \frac{W}{m^2 \cdot ℃}\right) \cdot \left(0{,}1226\ m^2\right)}{(0{,}6025\ kg) \cdot \left(2{,}856\ \frac{kJ}{kg \cdot ℃}\right)}}\right]$$

$$\boldsymbol{Q_{perdido\ pan}} = 133{,}45\ \frac{kJ}{molde}$$

$$\boldsymbol{Q_{perdido\ lote}} = 133{,}45\ \frac{kJ}{molde} \times 517\ moldes$$

$$\boxed{\boldsymbol{Q_{perdido\ lote} = 68\ 993{,}3\ \frac{kJ}{lote}}}$$

4. EJEMPLO DE CÁLCULO DEL CONSUMO ENERGÉTICO POR USO DE MAQUINARIA EN EL PROCESO DE HORNEADO

Proceso: HORNEADO

- **Equipo: Horno**

Se utilizará un horno eléctrico WP THERMADOR, y para calcular el consumo de energía se utiliza la Figura AXVI.4, que facilita el catálogo del equipo. Al funcionamiento del horno se lo divide en dos etapas:

a) Días de producción: domingo (6:00 a.m) a viernes (6:00 a.m), en los cuales se trabajará con la potencia requerida para cumplir con la producción de pan.

b) Días de descanso en producción: viernes (6:00 a.m) hasta el domingo (6:00 a.m), donde se trabajará con la potencia mínima del horno.

Cálculo de la potencia del horno

De la Figura AXVI.4, se tiene que para 100 kg de pan que son producidos en 1 h, se requiere un consumo energético de 16 kWh, con lo cual se calcula la potencia del equipo y se tiene:

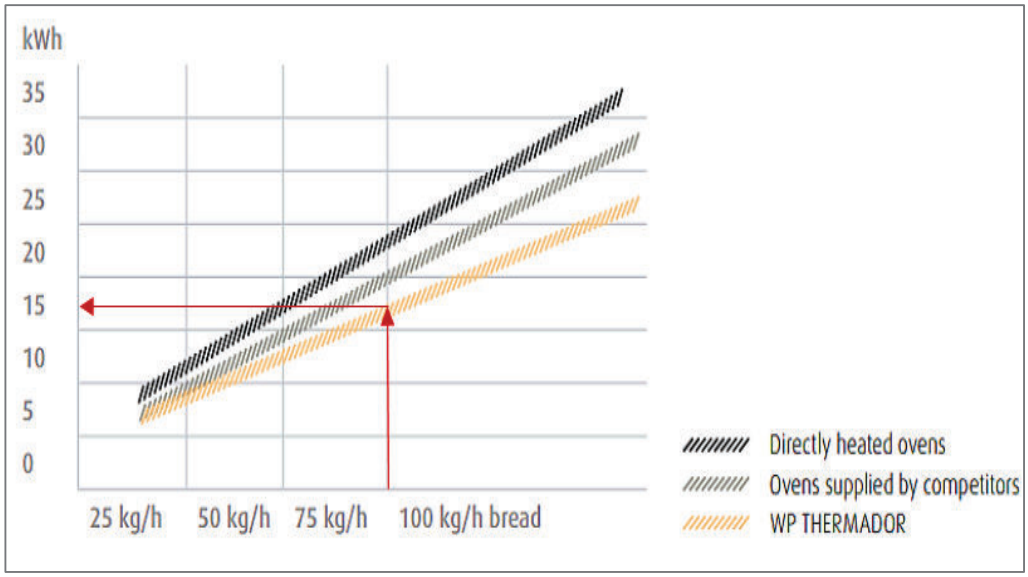


Figura AXVI.4 Diagrama del consumo de energía en el horno WP THERMADOR

Se considera un factor de seguridad del 1,1 por pérdidas eléctricas en conducción, por tanto:

$$Potencia\ del\ horno\ para\ producir\ 100\ kg\ de\ pan\ en\ 1\ h = \frac{16\ kW\cancel{h}}{1\ \cancel{h}} = 16\ kW$$

$$Potencia\ del\ horno\ = 317{,}85\ \frac{\cancel{kg}}{\cancel{lote}} \times \frac{2\ \cancel{lotes}}{1\ \cancel{hora}} \times \frac{16\ kW}{100\ \frac{\cancel{kg}}{\cancel{h}}} \times 1{,}1$$

$$\boldsymbol{Potencia\ del\ horno}\ = 111{,}88\ kW$$

Cálculo de la potencia mínima del horno

La potencia mínima del horno de acuerdo a la Figura AXVI.4, de acuerdo al catálogo se da para una producción de 25 kg de pan en 1 hora

$$Potencia\ del\ horno\ para\ producir\ 25\ kg\ de\ pan\ en\ 1\ h = \frac{5\ kW\cancel{h}}{1\ \cancel{h}} = 5\ kW$$

$$Potencia\ mínima\ del\ horno\ = 25\ kg \times \frac{5\ kW}{25\ \frac{\cancel{kg}}{\cancel{h}}} \times 1{,}1$$

$$\boldsymbol{Potencia\ mínima\ del\ horno}\ = 5{,}5\ kW$$

Consumo energético durante los días de descanso en producción

$$\begin{matrix} Consumo\ energético\ diario \\ (días\ de\ producción) \end{matrix} = 111{,}88\ kW \times 24\ h = \ 2\ 685{,}19\ kWh$$

$$\begin{matrix} Consumo\ energético\ semanal \\ (días\ de\ producción) \end{matrix} = 2\ 685{,}20\ \frac{kWh}{\cancel{día}} \times 5\ \cancel{días}$$

$$\begin{matrix} \boldsymbol{Consumo\ energético\ semanal} \\ (\boldsymbol{días\ de\ producción}) \end{matrix} = 13\ 425{,}98\ kWh$$

Consumo energético durante los días de descanso en producción

$$\begin{matrix} Consumo\ energético\ diario \\ (días\ de\ descanso\ en\ producción) \end{matrix} = 5{,}5\ kW \times 24\ h = 132\ kWh$$

$$\begin{matrix} Consumo\ energético\ semanal \\ (días\ de\ descanso\ en\ producción) \end{matrix} = 132\ \frac{kWh}{\cancel{día}} \times 2\ \cancel{días}$$

$$\begin{matrix} \boldsymbol{Consumo\ energético\ semanal} \\ (\boldsymbol{días\ de\ descanso\ en\ producción}) \end{matrix} = 264\ kWh$$

Consumo energético semanal del horno

$$Consumo\ energético\ horno = 13\ 425{,}98\ kWh + 264\ kWh$$

$$\boxed{\boldsymbol{Consumo\ energético\ horno} = 13\ 689{,}98\ kWh}$$

- **Equipo: Banda transportadora**
  - $\boldsymbol{Potencia\ transportadora} \ = 1{,}1\ kW$
  - $\boldsymbol{Tiempo\ de\ operación\ diario} \ = 24\ h$
  - $\boldsymbol{Días\ de\ operación\ a\ la\ semana} \ = 5\ días$

$$\boxed{\boldsymbol{Consumo\ energético\ banda\ transportadora} = 132{,}0\ kWh}$$

- **Consumo energético del horneado**

$$Consumo\ energético\ semanal = 1035{,}6\ kWh + 132{,}0\ kWh$$

$$\boxed{\boldsymbol{Consumo\ energético\ semanal = 1\ 167{,}6\ kWh}}$$

ANEXO XVII

DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS

1. TOLVA DE ARROCILLO PARA MOLIENDA

El tamaño para la tolva de arrocillo para molienda se estableció en función de las necesidades producción, a partir de la densidad del arrocillo a procesar, que se obtuvo experimentalmente. La frecuencia de procesamiento será semanalmente para abastecer a la planta de producción.

Datos:

$\rho_{arrocillo} = 953\ \frac{kg}{m^3}$

$F_{factor\ de\ seguridad} = 1{,}3$

$\boldsymbol{m_1}_{Cantidad\ a\ procesar\ para\ materia\ prima\ (harina\ de\ arrocillo)} = 4626\ \ kg$

$\boldsymbol{m_2}_{Cantidad\ a\ procesar\ para\ insumo\ (harina\ de\ polveo)} = 337 + 169 + 423\ \ kg$

$\boldsymbol{m_3}_{Pérdidas\ en\ el\ proceso\ (harina\ de\ arrocillo)} = 11\ \ kg$

Cálculos:

$Masa\ total\ requerida = 4626 + 337 + 169 + 423 + 11$

$\boldsymbol{Masa\ total\ requerida} = 5\ 566\ kg$

$$V_{requerido} = \frac{Masa\ total\ requerida}{\rho_{arrocillo}} = \frac{5\ 566\ kg}{953\ \frac{kg}{m^3}}$$

$\boldsymbol{V_{requerido}} = 5{,}84\ m^3$

Capacidad mínima para la tolva de arrocillo:

$V_{tolva} = 1{,}3 \times 5{,}84$

$\boxed{\boldsymbol{V_{tolva}} = 7{,}59\ m^3}$

$Peso_{producto} = 1{,}3 \times 5{,}57\ t$

$\boxed{\boldsymbol{Peso_{producto}} = 7{,}24\ t}$

2. SILO DE ALMACENAMIENTO PARA HARINA DE TRIGO

El tamaño del silo para la harina de trigo en función de las necesidades producción, a partir de la densidad de esta materia prima a almacenar, que se obtuvo experimentalmente. La frecuencia de procesamiento será semanalmente para abastecer a la planta de producción.

Datos:

$\rho_{harina\ de\ trigo} = 632\ \frac{kg}{m^3}$

$F_{factor\ de\ seguridad} = 1{,}3$

$\boldsymbol{m_1}_{Cantidad\ a\ procesar\ para\ materia\ prima\ (harina\ de\ trigo)} = 41\ 635\ \ kg$

Cálculos:

$$V_{requerido} = \frac{m_{1\,Cantidad\ a\ procesar\ para\ materia\ prima\ (harina\ de\ trigo)}}{\rho_{arrocillo}}$$

$$V_{requerido} = \frac{41\ 635\ kg}{632\ \frac{kg}{m^3}}$$

$\boldsymbol{V_{requerido}} = 65{,}9\ m^3$

Capacidad mínima para el silo para la harina de trigo:

$V_{silo} = 1{,}3 \times\ 65{,}9$

$\boxed{\boldsymbol{V_{silo}} = 85{,}6\ m^3}$

$Peso_{producto} = 1{,}3 \times\ 41{,}64$

$\boxed{\boldsymbol{Peso_{producto}} = 54{,}1\ t}$

3. SILO DE ALMACENAMIENTO PARA HARINA DE ARROCILLO

El tamaño del silo para la harina de arrocillo en función de las necesidades producción, pues es utilizada tanto en la dosificación y como harina de polveo en los procesos, a partir de la densidad experimental obtenida. La frecuencia de procesamiento será semanalmente para abastecer a la planta de producción.

Datos:

$\rho_{harina\ de\ \ arrocillo} = 637\ \frac{kg}{m^3}$

$F_{factor\ de\ seguridad} = 1{,}3$

$\boldsymbol{m_1}_{Cantidad\ a\ procesar\ para\ materia\ prima\ (harina\ de\ arrocillo)} = 4\ 626\ \ \ kg$

Cálculos:

$$V_{requerido} = \frac{m_{1_{Cantidad\ a\ procesar\ para\ materia\ prima\ (harina\ de\ arocillo)}}}{\rho_{arrocillo}}$$

$$V_{requerido} = \frac{4\ 626\ kg}{637\ \frac{kg}{m^3}}$$

$\boldsymbol{V_{requerido}} = 7{,}3\ m^3$

Capacidad mínima para el silo para la harina de arrocillo:

$V_{silo} = 1{,}3 \times 7{,}3$

$\boxed{\boldsymbol{V_{silo}} = 9{,}52\ m^3}$

$Peso_{producto} = 1{,}3 \times\ 4{,}63$

$\boxed{\boldsymbol{Peso_{producto}} = 6\ t}$

4. TANQUE DE RESERVA DE AGUA

El tamaño del tanque de reserva de agua se establece en función de las necesidades producción y principalmente para la dosificación de la masa y la producción de vapor utilizado en el proceso de fermentación. Se considera una autonomía de 3 días

Datos:

$\rho_{agua} = 1000\ \frac{kg}{m^3}$

$\dot{m}_{agua\ para\ dosificación} = 6\ 292\ \frac{kg}{día}$

$V_{cámara\ de\ fermentación} = 7{,}3 \times 1 \times 6 = 43{,}8\ m^3$

Condiciones en la cámara de fermentación ubicada en Quito a 2800 msnm.

Para calcular la cantidad de agua se parte de la tabla psicométrica para Quito, con lo cual se establece los parámetros del proceso de la siguiente manera:

- Aire ambiente a 2800 msnm: $T_{promedio} = 14\ ℃\ ; HR = 70\ \%$

- $Contenido\ de\ agua = 0{,}010\ \frac{lbm\ de\ agua}{lib\ \ de\ aire\ seco}$

- $Volumen\ especifico = 18{,}9\ \frac{pie^3}{lib\ \ de\ aire\ seco}$

El contenido de agua presente en el aire, se calcula de la siguiente manera:

$$Contenido\ de\ agua\ en\ el\ aire = \frac{Contenido\ de\ agua}{Volumen\ especifico} \times \frac{35{,}3147\ pie^3}{1\ m^3} \times \frac{1\ kg}{2{,}2\ lbm}$$

$$Contenido\ de\ agua\ en\ el\ aire = \frac{0{,}01}{18{,}9} \times \frac{35{,}3147}{2{,}2}$$

$$Contenido\ de\ agua\ en\ el\ aire = 0{,}00853 \frac{kg}{m^3}$$

Condiciones en la cámara de fermentación ubicada en Quito a 2800 msnm.

- Aire en la cámara de fermentación: $T_{promedio} = 28\ ℃\ ; HR = 80\ \%$

- $Contenido\ de\ agua = 0{,}0276\ \frac{lbm\ de\ agua}{lib\ \ de\ aire\ seco}$

- $Volumen\ especifico = 20{,}12\ \frac{pie^3}{lib\ \ de\ aire\ seco}$

El contenido de agua presente en el aire de la cámara de fermentación, se calcula de la siguiente manera:

$$\begin{matrix} Contenido\ de\ agua\ en\ el\ aire \\ cámara\ de\ fermentación \end{matrix} = \frac{Contenido\ de\ agua}{Volumen\ específico} \times \frac{35{,}3147\ pie^3}{1\ m^3} \times \frac{1\ kg}{2{,}2\ lbm}$$

$$\begin{matrix} Contenido\ de\ agua\ en\ el\ aire \\ cámara\ de\ fermentación \end{matrix} = \frac{0{,}0276}{20{,}12} \times \frac{35{,}3147}{2{,}2}$$

$$\begin{matrix} Contenido\ de\ agua\ en\ el\ aire \\ cámara\ de\ fermentación \end{matrix} = 0{,}02202\,\frac{kg}{m^3}$$

Cálculo del flujo másico de agua utilizada en la cámara de fermentación

$$\dot{m}_{agua\ fermentador} = C_{contenido\ de\ agua\ en\ el\ aire} \times V_{volumen\ de\ la\ cámara}$$

$$\dot{m}_{agua\ fermentador} = (0{,}02202 - 0{,}00853)\,\frac{kg}{\cancel{m^3}} \times 43\,\frac{\cancel{m^3}}{\cancel{lote}} \times 48\,\frac{\cancel{lotes}}{día}$$

$$\boldsymbol{\dot{m}_{agua\ fermentador}} = 27{,}84\ \frac{kg}{día}$$

Cálculo del volumen del tanque de reserva de agua

Se considera la reposición para cada lote, es decir se tendrá 48 lotes diarios y una independencia de agua de 3 días, y un factor de seguridad de 1,3 con lo cual se calcula a continuación la capacidad mínima para el tanque de reserva de agua.

$$V_{reserva} = F \times \#dias \times \left(\dot{m}_{agua\ para\ dosificación} + \dot{m}_{agua\ fermentador}\right) \times \frac{1}{\rho_{agua}}$$

$$V_{reserva} = 1{,}3 \times 3\ días \times \left(6\,292\ \frac{kg}{día} + 27{,}84\ \frac{kg}{día}\right) \times \frac{1}{1000\,\frac{kg}{m^3}}$$

$$\boxed{\boldsymbol{V_{reserva}} = 24{,}647\ m^3}$$

5. CÁMARA DE FERMENTACIÓN

Para la selección de la cámara de fermentación se determina la potencia requerida del equipo en función de la cantidad de calor requerida y del tiempo de fermentación que se requiere para la masa.

Datos:

$t_{fermentación} = 71\ min$

$Q_{requerido} = 11\ 568{,}98\ KJ$

Cálculos:

$$Potencia_{fermentador} = \frac{11\ 568{,}98\ KJ}{71\ \cancel{min} \times \frac{60\ s}{1\ \cancel{min}}}$$

$$\boxed{\boldsymbol{Potencia_{fermentador}} = 2{,}7\ kW}$$

6. HORNO TÚNEL

Para la selección del horno túnel se determina la potencia requerida del equipo en función de la cantidad de calor requerida y del tiempo de fermentación que se requiere para la masa.

Datos:

$t_{horneado} = 25\ min$

$Q_{requerido} = 163\ 617{,}62\ kJ$

Cálculos:

$$Potencia_{horno} = \frac{163\ 617{,}62\ kJ}{25\ \cancel{min} \times \frac{60\ s}{1\ \cancel{min}}}$$

$$\boxed{\boldsymbol{Potencia_{horno}} = 109{,}08\ kW}$$

ANEXO XVIII

LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN

ANEXO XIX

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO (PFD) PARA LA PLANTA DE PRODUCCIÓN

ANEXO XX

DISTRIBUCIÓN EN PLANTA (LAYOUT)

ANEXO XXI

DIAGRAMA DE GANTT PARA LA PRODUCCIÓN DE PAN

ANEXO XXII

DIAGRAMA DE GANTT DIARIO DEL PERSONAL

ANEXO XXIII

NÓMINA DE PERSONAL ADMINISTRATIVO Y OPERATIVO

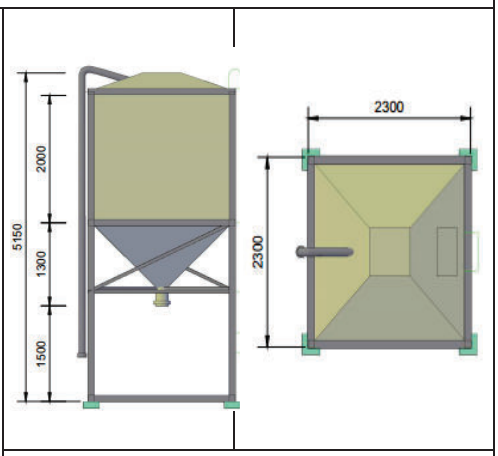
ANEXO XXIV

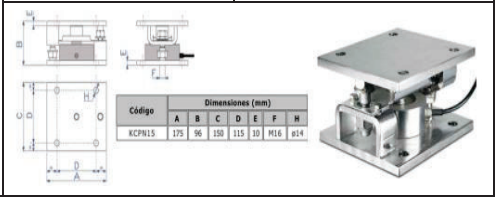
ESTADO DE FLUJO DE CAJA E INDICADORES FINANCIEROS DEL PROYECTO

ANEXO XXV

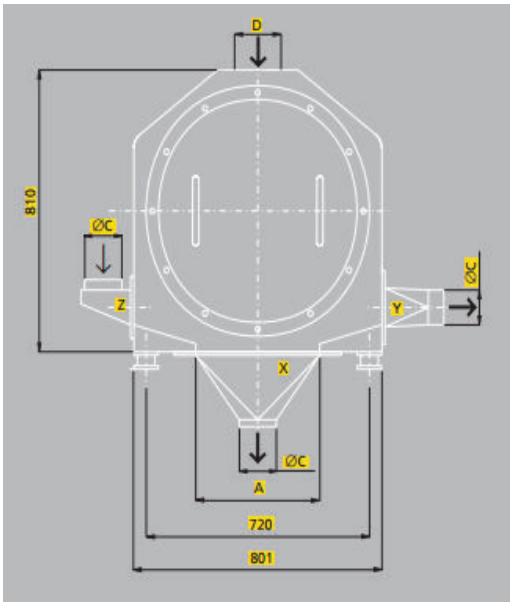
HOJAS DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS

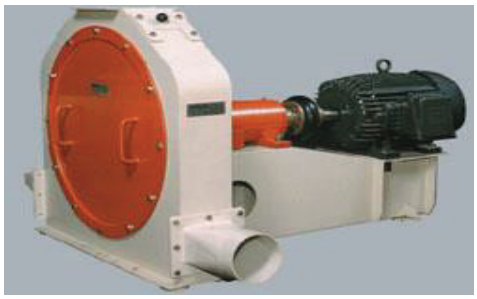
HOJA DE ESPECIFICACIÓN No. 1					
Nombre del equipo:	**TOLVA PARA ARROCILLO**				
Codificación en planta:	**TV - 121**				
Fabricante:	**Modelo:**	**Material de construcción:**		**Número requerido:**	
L&M Ing.	TG-2016P3	Acero galvanizado		1	
Dimensiones:	▪ Largo:	2,5 m	▪ Altura:	5,3 m	
	▪ Ancho:	2,5 m	▪ Diámetro:	-	
Especificaciones operativas:	▪ Capacidad:	8 t – 9 m^3			
	▪ Peso aproximado:	1500 kg			
	▪ Potencia:	-			
	▪ Accesorios / Otras características:	4 básculas de pie Escalera de revisión Sistema de abastecimiento Válvula de descarga			
Principio de funcionamiento:	El cereal ingresa por la parte superior utilizando un sistema de transporte neumático y el peso se evidencia en las básculas de pie. La descarga se da por gravedad al abrir la válvula de descarga. Tiene una compuerta de revisión en la parte superior.				
Modalidad de operación:	Por lotes (batch)				
Esquema del equipo:					

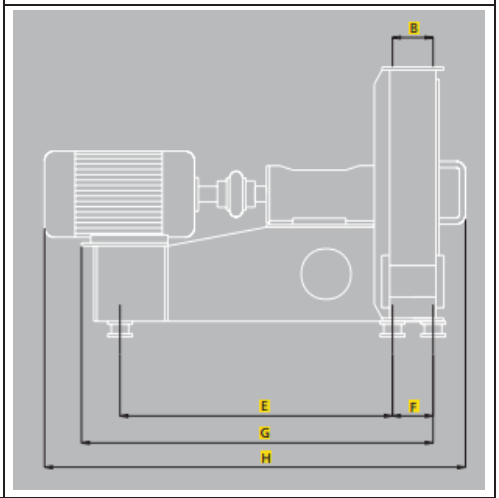




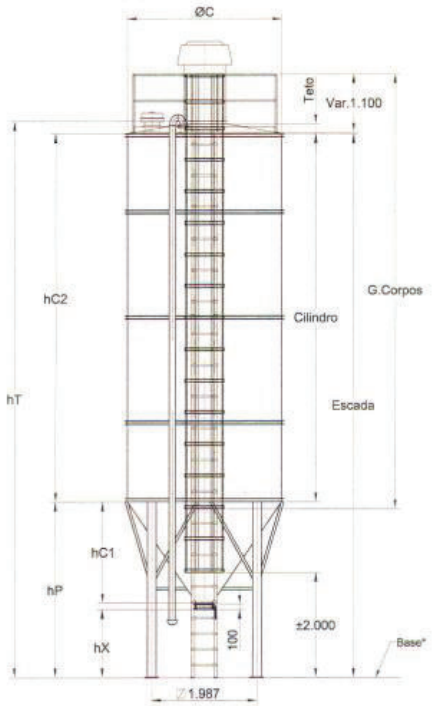
HOJA DE ESPECIFICACIÓN No. 2					
Nombre del equipo:	**MOLINO DE MARTILLOS**				
Codificación en planta:	**M - 111**				
Fabricante:	**Modelo:**	**Material de construcción:**		**Número requerido:**	
PRILLWITZ Y Cía	SIGMA 5	Acero		1	
Dimensiones:	▪ Largo:	1,57 m	▪ Altura:	1,5 m	
	▪ Ancho:	0,8 m	▪ Diámetro:	-	
Especificaciones operativas:	▪ Capacidad:	-			
	▪ Peso aproximado:	-			
	▪ Potencia:	30 HP			
	▪ Accesorios / Otras características:	Cámara de molienda con placas intercambiables. Superficie de cernido de camisas de aceros. Motor			
Principio de funcionamiento:	El producto ingresa a la cámara de molienda por la parte superior, la harina puede ser descargada por gravedad o mediante un sistema de transporte neumático, de forma lateral.				
Modalidad de operación:	Por lotes (batch)				
Esquema del equipo:					

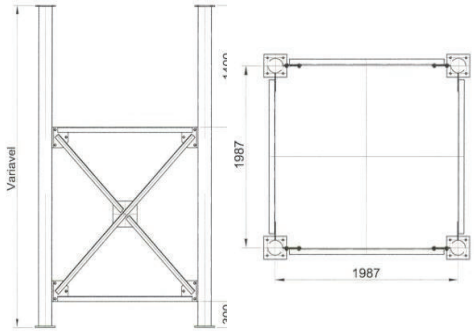


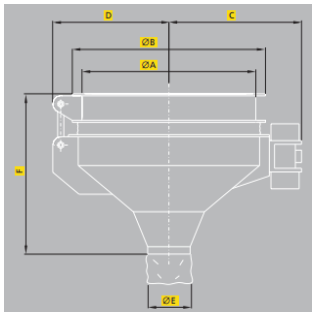




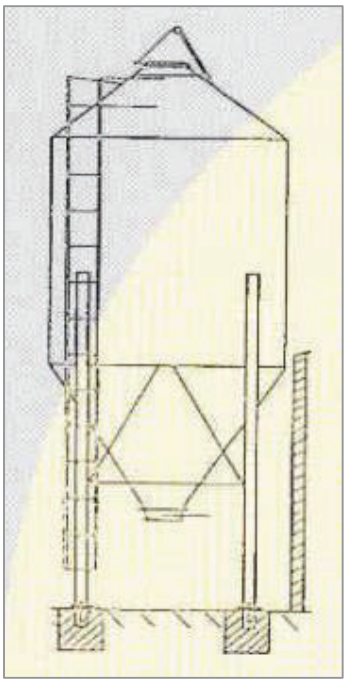
HOJA DE ESPECIFICACIÓN No. 3				
Nombre del equipo:	**SILO DE ALMACENAMIENTO DE HARINA DE TRIGO CON BÁSCULA**			
Codificación en planta:	**SB - 121**			
Fabricante:	**Modelo:**	**Material de construcción:**		**Número requerido:**
MUNDIELEMENTO	SAC.120	Acero galvanizado		1
Dimensiones:	▪ Largo:	3,0 m	▪ Altura:	17,39 m
	▪ Ancho:	3,0 m	▪ Diámetro:	2,9 m
Especificaciones operativas:	▪ Capacidad:	120 t – 88 m^3		
	▪ Peso aproximado:	-		
	▪ Potencia:	-		
	▪ Accesorios / Otras características:	Escalera galvanizada Tubo de carga Compuerta manual Extractor vibratorio Válvula de seguridad Filtro		
Principio de funcionamiento:	La harina ingresa por la parte superior utilizando un sistema de transporte neumático. La descarga se da por gravedad al abrir la válvula de descarga automática.			
Modalidad de operación:	Por lotes (batch)			
Esquema del equipo:				

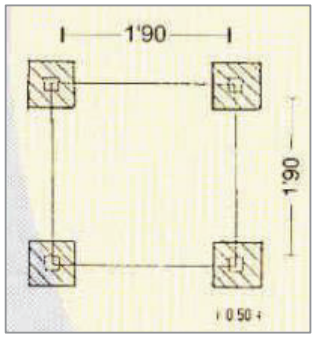


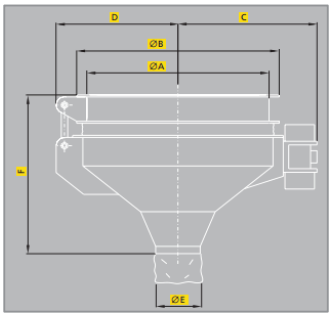




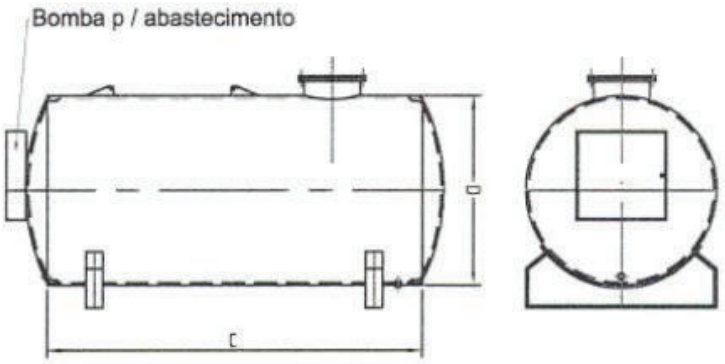
HOJA DE ESPECIFICACIÓN No. 4				
Nombre del equipo:	**SILO DE ALMACENAMIENTO DE HARINA DE ARROCILLO CON BÁSCULA**			
Codificación en planta:	**SB - 122**			
Fabricante:	**Modelo:**	**Material de construcción:**		**Número requerido:**
BMM BOSCH MIQUEL	Chapa Lisa	Acero galvanizado		1
Dimensiones:	▪ Largo:	2,55 m	▪ Altura:	6,55 m
	▪ Ancho:	-	▪ Diámetro:	2,55 m
Especificaciones operativas:	▪ Capacidad:	9 t – 15 m^3		
	▪ Peso aproximado:	-		
	▪ Potencia:	-		
	▪ Accesorios / Otras características:	Escalera galvanizada Tubo de carga Compuerta manual Extractor vibratorio Válvula de seguridad Filtro		
Principio de funcionamiento:	La harina ingresa por la parte superior utilizando un sistema de transporte neumático. La descarga se da por gravedad al abrir la válvula de descarga automática.			
Modalidad de operación:	Por lotes (batch)			
Esquema del equipo:				

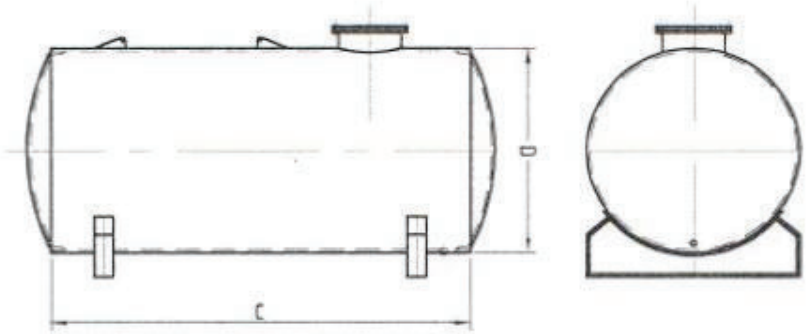




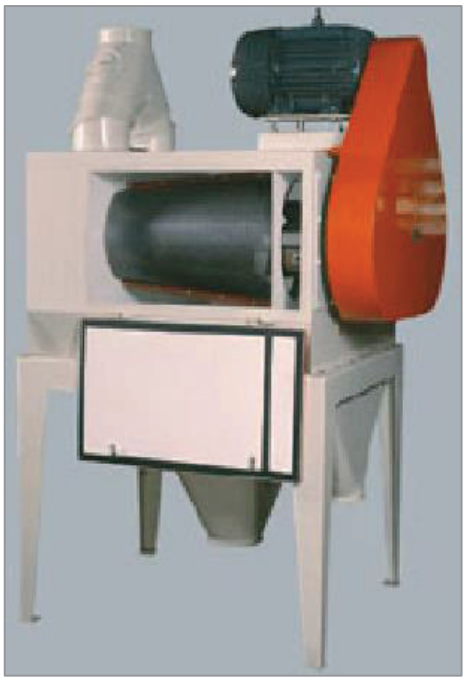


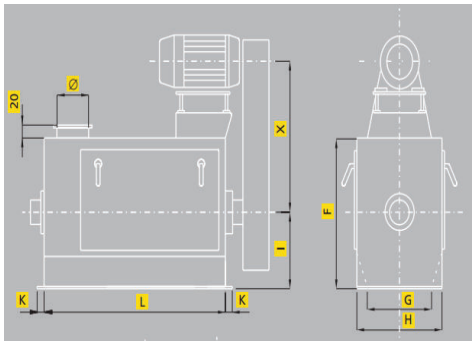
HOJA DE ESPECIFICACIÓN No. 5				
Nombre del equipo:	**TANQUE DE RESERVA DE AGUA**			
Codificación en planta:	**TK - 111**			
Fabricante:	**Modelo:**	**Material de construcción:**		**Número requerido:**
MUNDIELEMENTO	Reservorio Aéreo	Acero		1
Dimensiones:	▪ Largo:	4,0 m	▪ Altura:	3,0 m
	▪ Ancho:	2,5 m	▪ Diámetro:	2,3 m
Especificaciones operativas:	▪ Capacidad:	$26\ m^3$		
	▪ Peso aproximado:	-		
	▪ Potencia:	-		
	▪ Accesorios / Otras características:	Cañerías de entrada y salida Compuerta de revisión Bomba de abastecimiento: 1,5 HP		
Principio de funcionamiento:	El tanque se llena con ayuda de cañerías de entrada, utiliza una bomba de abastecimiento para propulsar el flujo de agua. Para la revisión y mantenimiento posee un acceso circular en la parte superior.			
Modalidad de operación:	Por lotes (batch)			
Esquema del equipo:				

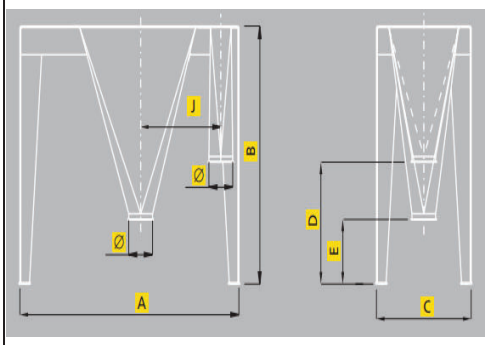




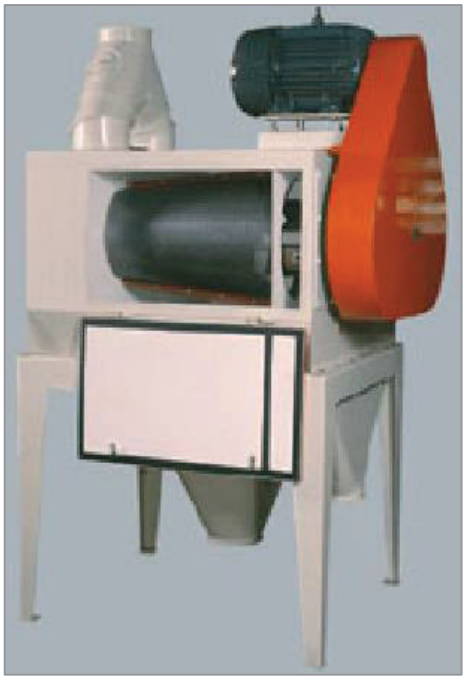
HOJA DE ESPECIFICACIÓN No. 6					
Nombre del equipo:	**TAMIZ PARA HARINA DE TRIGO**				
Codificación en planta:	**TA - 121**				
Fabricante:	**Modelo:**	**Material de construcción:**		**Número requerido:**	
PRILLWITZ Y Cía	Cc300/400x600	Acero inoxidable		1	
Dimensiones:	▪ Largo:	1,5 m	▪ Altura:	2,0 m	
	▪ Ancho:	0,5 m	▪ Diámetro:	1,2 m	
Especificaciones operativas:	▪ Capacidad:	-			
	▪ Peso aproximado:	-			
	▪ Potencia:	5,5 HP			
	▪ Accesorios / Otras características:	Rotor con cepillos de limpieza Camisa de chapa perforada Cernedor cónico Motor			
Principio de funcionamiento:	El producto ingresa por la parte superior del equipo, por medio de un motor se provoca la vibración y tamizado de la harina de trigo, la misma que sale por la parte inferior por efecto de la gravedad y el material retenido es desalojado por un extremo.				
Modalidad de operación:	Por lotes (batch)				
Esquema del equipo:					

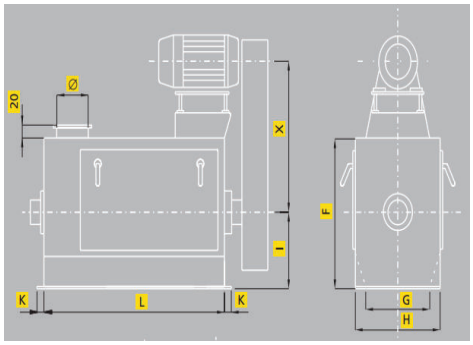


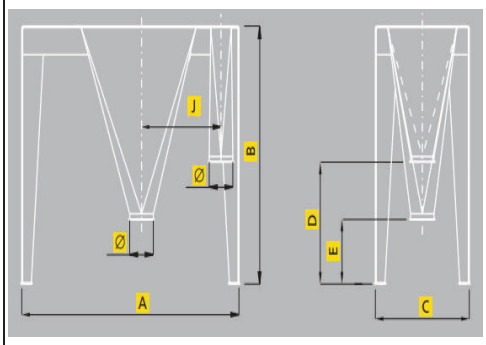




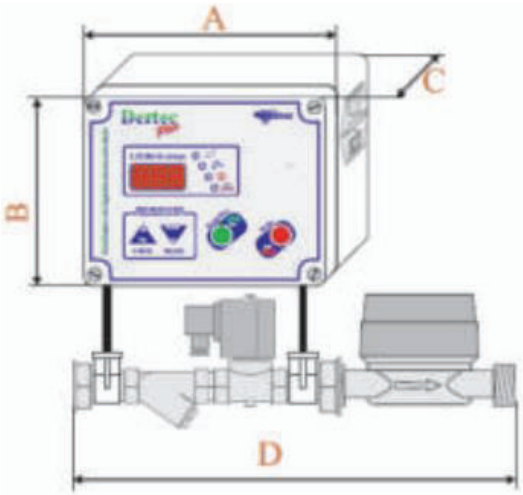
HOJA DE ESPECIFICACIÓN No. 7					
Nombre del equipo:	**TAMIZ PARA HARINA DE ARROCILLO**				
Codificación en planta:	**TA - 122**				
Fabricante:	**Modelo:**	**Material de construcción:**		**Número requerido:**	
PRILLWITZ Y Cía	Cc230/300x500	Acero inoxidable		1	
Dimensiones:	▪ Largo:	1,3 m	▪ Altura:	1,5 m	
	▪ Ancho:	0,4 m	▪ Diámetro:	1,2 m	
Especificaciones operativas:	▪ Capacidad:	-			
	▪ Peso aproximado:	-			
	▪ Potencia:	2 HP			
	▪ Accesorios / Otras características:	Rotor con cepillos de limpieza Camisa de chapa perforada Cernedor cónico Motor			
Principio de funcionamiento:	El producto ingresa por la parte superior del equipo, por medio de un motor se provoca la vibración y tamizado de la harina de arrocillo, la misma que sale por la parte inferior por efecto de la gravedad y el material retenido es desalojado por un extremo.				
Modalidad de operación:	Por lotes (batch)				
Esquema del equipo:					



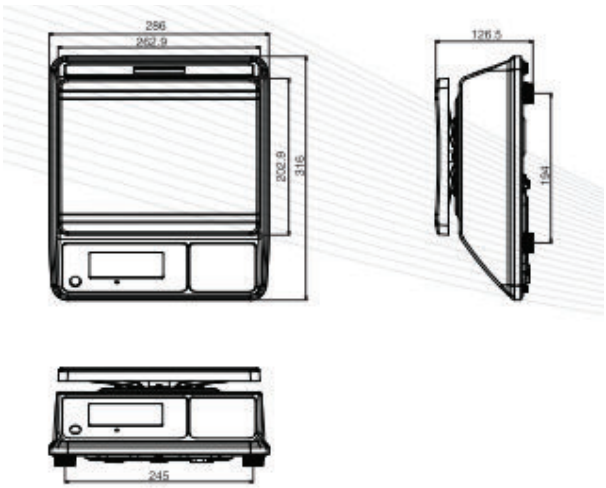




HOJA DE ESPECIFICACIÓN No. 8				
Nombre del equipo:	**DOSIFICADOR DE AGUA**			
Codificación en planta:	**D - 111**			
Fabricante:	**Modelo:**	**Material de construcción:**	**Número requerido:**	
CITALSA	APEIPAM	Acero	1	
Dimensiones:	▪ Largo:	0,29 m	▪ Altura:	0,17 m
	▪ Ancho:	0,09 m	▪ Diámetro:	-
Especificaciones operativas:	▪ Capacidad:	Caudal mínimo: 100 l/h Caudal máximo: 3000 l/h		
	▪ Peso aproximado:	-		
	▪ Potencia:	24W		
	▪ Accesorios / Otras características:	Frecuencia: 60 Hz Voltaje: 220 V Tubería de entrada: ¾” hembra Tubería de salida: ¾” macho		
Principio de funcionamiento:	El dosificador de agua permite medir el flujo continuo de agua con buena precisión, permite la regulación de caudal de forma digital con buena exactitud.			
Modalidad de operación:	Por lotes (batch)			
Esquema del equipo:				



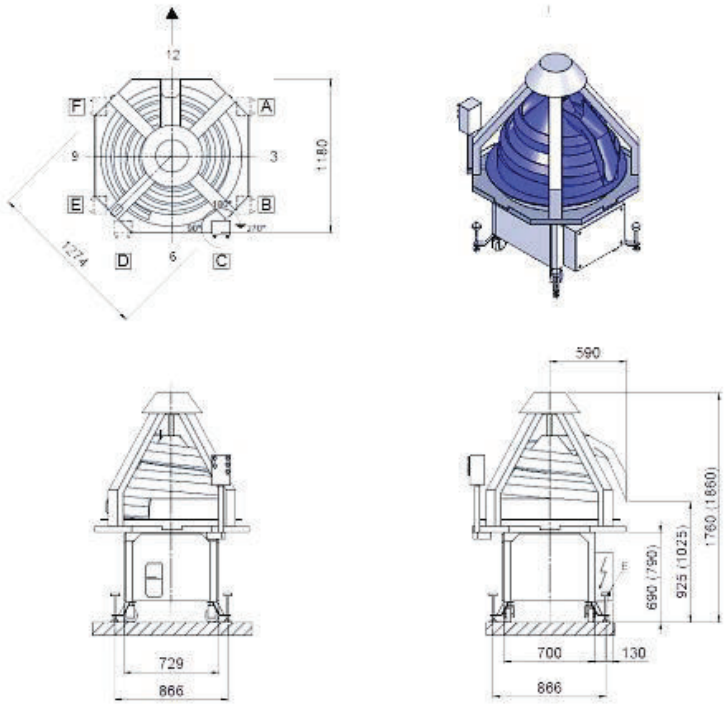
HOJA DE ESPECIFICACIÓN No. 9					
Nombre del equipo:	**BALANZA ELECTRÓNICA**				
Codificación en planta:	**BE - 111**				
Fabricante:	**Modelo:**	**Material de construcción:**		**Número requerido:**	
T-SCALE	SW-III-15K	Acero inoxidable		1	
Dimensiones:	▪ Largo:	0,316 m	▪ Altura:	0,127 m	
	▪ Ancho:	0,286 m	▪ Diámetro:	-	
Especificaciones operativas:	▪ Capacidad:	15 kg			
	▪ Peso aproximado:	2,78 kg			
	▪ Potencia:	-			
	▪ Accesorios / Otras características:	Precisión: 2 g División: 6 000 Rango de temperatura operación: -10 hasta +40 ºC AC adaptador: 12 V / 500 mA			
Principio de funcionamiento:	La balanza electrónica permite la visualización del peso de los productos al situarlos sobre la superficie de pesado. Para su funcionamiento utiliza una batería interna que debe ser recargada por medio de un adaptador de voltaje.				
Modalidad de operación:	Por lotes (batch)				
Esquema del equipo:					



HOJA DE ESPECIFICACIÓN No. 10					
Nombre del equipo:	**AMASADORA ESPIRAL**				
Codificación en planta:	**A – 211 A/B**				
Fabricante:	**Modelo:**	**Material de construcción:**	**Número requerido:**		
TITAN WP	WP Kemper 250	Acero inoxidable	2		
Dimensiones:	▪ Largo:	2,287 m	▪ Altura:	2,287 m	
	▪ Ancho:	1,460 m	▪ Diámetro recipiente:	1,220 m	
Especificaciones operativas:	▪ Capacidad:	Hasta 400 kg/lote			
	▪ Peso aproximado:	-			
	▪ Potencia:	63 kW / 160 A			
	▪ Accesorios / Otras características:	Doble espiral Limpieza de agua con spray Volumen: hasta 630 litros Recipiente de amasado con transporte			
Principio de funcionamiento:	La amasadora permite la homogenización y mezclado de la masa al situar el recipiente en la parte inferior del cabezal móvil, el mismo que al bajar introduce dos ganchos de amasado que giran para realizar el trabajo requerido. Es controlado de forma digital por un operador.				
Modalidad de operación:	Por lotes (batch)				
Esquema del equipo:					

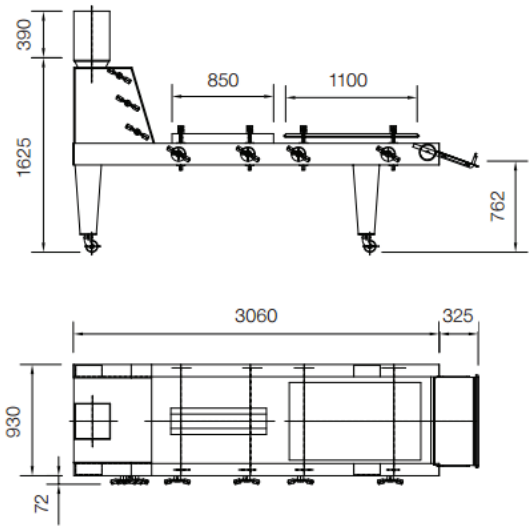
HOJA DE ESPECIFICACIÓN No. 11					
Nombre del equipo:	**DIVISORA DE MASAS**				
Codificación en planta:	**DV - 211**				
Fabricante:	**Modelo:**	**Material de construcción:**		**Número requerido:**	
KAAK GROUP	DE 24	Acero inoxidable		1	
Dimensiones:	▪ Largo:	1,908 m	▪ Altura:	1,800 m	
	▪ Ancho:	1,770 m	▪ Diámetro:	-	
Especificaciones operativas:	▪ Capacidad:	Mínima: 750 piezas/hora Máxima: 3 000 piezas/hora			
	▪ Peso aproximado:	-			
	▪ Potencia:	2,2 kW			
	▪ Accesorios / Otras características:	Rango de peso: Mínimo: 400 g Máximo: 2 170 g			
Principio de funcionamiento:	La masa es colocada en la parte superior de la tolva de alimentación, esta cae a los dados de extrusión por efecto de la gravedad, las porciones de masa requeridas son separadas, para luego salir del equipo por medio de la banda transportadora.				
Modalidad de operación:	Continuo				
Esquema del equipo:					

HOJA DE ESPECIFICACIÓN No. 12					
Nombre del equipo:	**BOLEADORA DE MASAS**				
Codificación en planta:	**B - 211**				
Fabricante:	**Modelo:**	**Material de construcción:**		**Número requerido:**	
KAAK GROUP	TALLROUND NORM SW	Acero inoxidable		1	
Dimensiones:	▪ Largo:	1,50 m	▪ Altura:	1,80 m	
	▪ Ancho:	1,50 m	▪ Diámetro:	-	
Especificaciones operativas:	▪ Capacidad:	Mínima: 500 piezas/hora Máxima: 5 000 piezas/hora			
	▪ Peso aproximado:	-			
	▪ Potencia:	1,5 kW			
	▪ Accesorios / Otras características:	Panel de control Rango de peso: Mínimo: 400 g Máximo: 2 170 g			
Principio de funcionamiento:	Este equipo posee un tambor cónico que gira, esto permite que la masa ingrese por la parte superior y por efecto de ficción y fuerzas centrifuga se dé el proceso de boleado durante el trayecto de ascenso de cada pieza, para salir por la parte superior del equipo. Este equipo utiliza energía eléctrica.				
Modalidad de operación:	Continuo				
Esquema del equipo:					

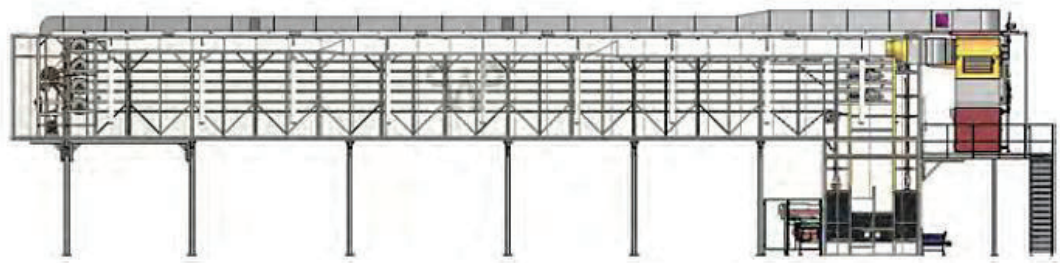


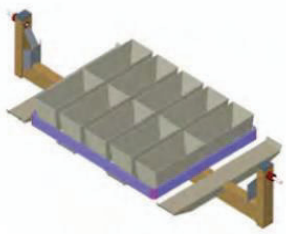
HOJA DE ESPECIFICACIÓN No. 13					
Nombre del equipo:	**BANCO DE REPOSO**				
Codificación en planta:	**RP - 211**				
Fabricante:	**Modelo:**	**Material de construcción:**		**Número requerido:**	
GLIMEK	IPP 10/60	Acero inoxidable		1	
Dimensiones:	▪ Largo:	2,80 m	▪ Altura:	2,60 m	
	▪ Ancho:	1,93 m	▪ Diámetro:	-	
Especificaciones operativas:	▪ Capacidad:	Máxima: 3 000 piezas/hora			
	▪ Peso aproximado:	-			
	▪ Potencia:	8,63 kW			
	▪ Accesorios / Otras características:	Recipientes efectivos: 600 Tiempo de fermentación: 11,6 min Rango de peso: 100 – 1 500 g Sistema de humidificación			
Principio de funcionamiento:	Las porciones de masa que ingresan al equipo son captadas por contenedores de tela los mismos que circulan en grupos dentro de la cámara, debido a un sistema mecánico propulsado por un motor eléctrico, esto permite ir trasfiriendo cada porción entre un contenedor y otro para dar el tiempo requerido de reposo.				
Modalidad de operación:	Continuo				
Esquema del equipo:					

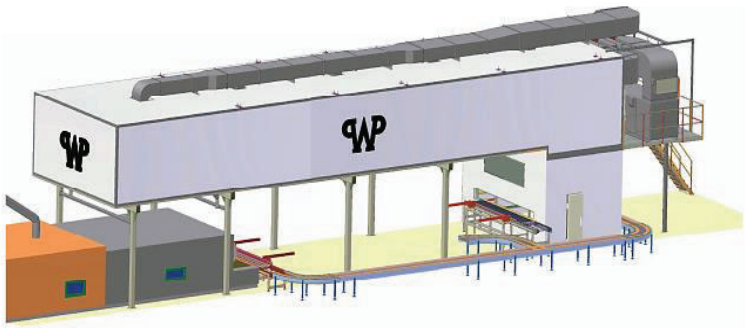
HOJA DE ESPECIFICACIÓN No. 14				
Nombre del equipo:	**LAMINADORA / MOLDEADORA**			
Codificación en planta:	**LM - 211**			
Fabricante:	**Modelo:**	**Material de construcción:**	**Número requerido:**	
GLIMEK	MO-881	Acero inoxidable	1	
Dimensiones:	▪ Largo:	3,39 m	▪ Altura:	2,15 m
	▪ Ancho:	1,00 m	▪ Diámetro:	-
Especificaciones operativas:	▪ Capacidad:	Máxima: 3 600 piezas/hora		
	▪ Peso aproximado:	-		
	▪ Potencia:	1,1 kW		
	▪ Accesorios / Otras características:	Rango de peso: 30 – 1 800 g Banda transportadora Guías paralelas ajustables		
Principio de funcionamiento:	Las piezas de masa ingresan por la parte superior del equipo, para pasar por rodillos donde se laminan y caen, por efecto de la gravedad, en una banda que moviliza cada porción en guias que permiten moldearlas al tamaño requerido.			
Modalidad de operación:	Continuo			
Esquema del equipo:				



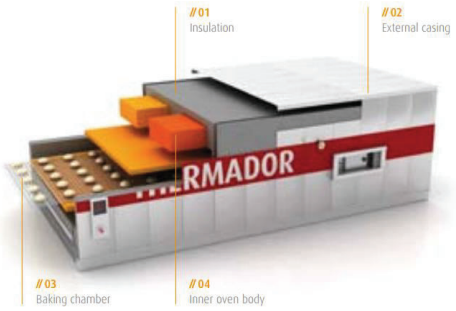
HOJA DE ESPECIFICACIÓN No. 15					
Nombre del equipo:	**CÁMARA DE FERMENTACIÓN**				
Codificación en planta:	**CF - 211**				
Fabricante:	**Modelo:**	**Material de construcción:**		**Número requerido:**	
WERNER & PFLEIDERER	NGS-R STANDARD 2	Acero inoxidable		1	
Dimensiones:	▪ Largo:	7,30 m	▪ Altura:	6,02 m	
	▪ Ancho:	0,96 m	▪ Diámetro:	-	
Especificaciones operativas:	▪ Capacidad:	Máxima: 3 000 piezas/hora Peso de la pieza: 600 g			
	▪ Peso aproximado:	-			
	▪ Potencia:	8,63 kW			
	▪ Accesorios / Otras características:	Humedad relativa: 80 – 95 % Tiempo de fermentación: 71 min Rango temperatura: 27 – 49 ^{o}C Sistema de humidificación			
Principio de funcionamiento:	Este equipo tiene un sistema de transporte por cadenas accionado por motores eléctricos. Los moldes ingresan y realizan un trayecto de ida y vuelta cambiando de un nivel a otro. Esto permite dar el tiempo requerido dentro de la cámara. Cuenta con un sistema de humidificación para mantener las condiciones.				
Modalidad de operación:	Continuo				
Esquema del equipo:					





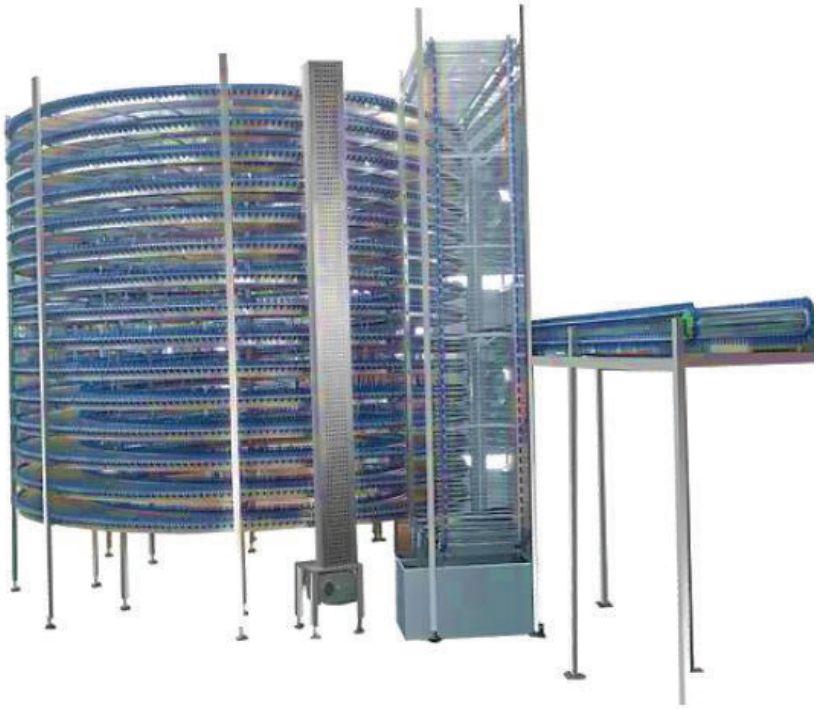


HOJA DE ESPECIFICACIÓN No. 16					
Nombre del equipo:	**HORNO TÚNEL**				
Codificación en planta:	**H - 311**				
Fabricante:	**Modelo:**	**Material de construcción:**		**Número requerido:**	
WERNER & PFLEIDERER	THERMADOOR ENERGEE	Acero inoxidable		1	
Dimensiones:	▪ Largo:	23,05 m	▪ Altura:	3,52 m	
	▪ Ancho:	4,31 m	▪ Diámetro:	-	
Especificaciones operativas:	▪ Capacidad:	Máxima: 1 200 piezas/hora Peso pieza: 600 g/h			
	▪ Peso aproximado:	-			
	▪ Potencia:	-			
	▪ Accesorios / Otras características:	Rango temperatura: 150 – 280 ºC Ciclotérmico			
Principio de funcionamiento:	El sistema de horneado utiliza resistencias eléctricas que disipan calor, con lo cual se alcanza la temperatura necesaria dentro de la cámara de horneado. Para el ingreso, transporte interno y salida este equipo utiliza una banda transportadora que moviliza el producto, posee controles electrónicos.				
Modalidad de operación:	Continuo				
Esquema del equipo:					

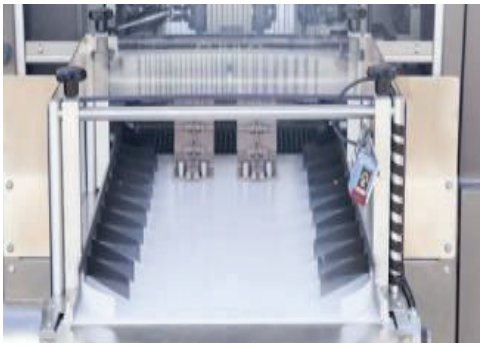


HOJA DE ESPECIFICACIÓN No. 17				
Nombre del equipo:	**DESMOLDEADORA**			
Codificación en planta:	**DM - 311**			
Fabricante:	**Modelo:**	**Material de construcción:**		**Número requerido:**
SARMASIK	DEPANNER	Acero inoxidable		1
Dimensiones:	▪ Largo:	1,29 m	▪ Altura:	2,67 m
	▪ Ancho:	0,65 m	▪ Diámetro:	-
Especificaciones operativas:	▪ Capacidad:	Máxima: 1 200 piezas/hora		
	▪ Peso aproximado:	1650 kg		
	▪ Potencia:	18,5 kW		
	▪ Accesorios / Otras características:	Ancho de banda: 65 cm Rango temperatura: -20 – 80 ºC		
Principio de funcionamiento:	Este equipo utiliza una bomba de vacío para producir succión y por medio de ventosas extraer el pan de los moldes metálicos. Consta además de bandas de transporte que permiten la entrada y salida del producto, y controles electrónicos para regular su velocidad de operación.			
Modalidad de operación:	Continuo			
Esquema del equipo:				

HOJA DE ESPECIFICACIÓN No. 18					
Nombre del equipo:	**BANCO DE ENFRIAMIENTO**				
Codificación en planta:	**BE - 311**				
Fabricante:	**Modelo:**	**Material de construcción:**		**Número requerido:**	
AOCNO	ACN-C 1500	Acero inoxidable		1	
Dimensiones:	▪ Largo:	6,80 m	▪ Altura:	4,50 m	
	▪ Ancho:	5,20 m	▪ Diámetro:	-	
Especificaciones operativas:	▪ Capacidad:	3 lotes con 517 piezas cada uno			
	▪ Peso aproximado:	-			
	▪ Potencia:	31 kW			
	▪ Accesorios / Otras características:	Ancho de banda: 65 cm Rango temperatura: -40 a 40 ºC			
Principio de funcionamiento:	Este equipo utiliza una banda transportadora accionada por un motor eléctrico, el producto ingresa por la parte baja y asciende a medida que la banda avanza para salir por la parte superior del equipo para dar el tiempo necesario para el proceso, en este trayecto el pan se enfría al perder calor por convección.				
Modalidad de operación:	Continuo				
Esquema del equipo:					



HOJA DE ESPECIFICACIÓN No. 19				
Nombre del equipo:	**REBANADORA**			
Codificación en planta:	**RB - 411**			
Fabricante:	**Modelo:**	**Material de construcción:**	**Número requerido:**	
IPEKA	MasterSlicer 1W	Acero inoxidable	1	
Dimensiones:	▪ Largo:	2,70 m	▪ Altura:	2,00 m
	▪ Ancho:	0,80 m	▪ Diámetro:	-
Especificaciones operativas:	▪ Capacidad:	70 moldes/min		
	▪ Peso aproximado:	-		
	▪ Potencia:	9,5 kW		
	▪ Accesorios / Otras características:	Guías de división para rebanadas de pan molde. Sistema de control		
Principio de funcionamiento:	Este equipo utiliza un sistema de ingreso y salida de bandas transportadoras. El molde de pan es rebanado con cuchillas de acero inoxidable accionadas por un motor eléctrico.			
Modalidad de operación:	Continuo			
Esquema del equipo:				



HOJA DE ESPECIFICACIÓN No. 20					
Nombre del equipo:	**EMPACADORA / ETIQUETADORA**				
Codificación en planta:	**EM - 411**				
Fabricante:	**Modelo:**	**Material de construcción:**		**Número requerido:**	
IPEKA	Loafmaster 50	Acero inoxidable		1	
Dimensiones:	▪ Largo:	5,25 m	▪ Altura:	1,59 m	
	▪ Ancho:	2,34 m	▪ Diámetro:	-	
Especificaciones operativas:	▪ Capacidad:	50 bolsas/min			
	▪ Peso aproximado:	-			
	▪ Potencia:	9,5 kW			
	▪ Accesorios / Otras características:	Alimentador de bolsas automático Dispositivo de vacío Dispositivos de corte			
Principio de funcionamiento:	La empacadora utiliza un sistema de bandas transportadoras que trasladan cada molde de pan rebanado. Por medio de un sistema de bielas abren la funda e introducen el producto. El sellado se realiza de forma automática al igual que el etiquetado.				
Modalidad de operación:	Continuo				
Esquema del equipo:					