

Universidad Nacional de Misiones. Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales. Doctorado en Ciencias Aplicadas

Doctoranda
Lic. Amanda CAZZANIGA

Desarrollo de productos crackers horneados a partir de puré deshidratado de mandioca

Tesis de Doctorado presentada para obtener el título de “Doctora en Ciencias Aplicadas”

“Este documento es resultado del financiamiento otorgado por el Estado Nacional, por lo tanto, queda sujeto al cumplimiento de la Ley N° 26.899”.

Director
Dr. Andrés Ramón LINARES

Co-Director
Dra. María Marcela BROUSSE

Posadas, 28 de junio 2022



Esta obra está licenciada bajo Licencia Creative Commons (CC) Atribución-NoComercial-Compartir Igual 4.0 Internacional <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



UNIVERSIDAD NACIONAL DE MISIONES
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS
QUÍMICAS Y NATURALES



**DESARROLLO DE PRODUCTOS CRACKERS HORNEADOS A
PARTIR DE PURÉ DESHIDRATADO DE MANDIOCA.**

Por Lic. Amanda CAZZANIGA

Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales de la Universidad Nacional de Misiones para optar al grado académico de

DOCTORA EN CIENCIAS APLICADAS

Posadas, República Argentina

Director

Dr. Andrés Ramón, LINARES

Codirectora

Dra. María Marcela, BROUSSE

TRIBUNAL EXAMINADOR (Disposición del decano N° 376/22)

Dra. Mazzobre, Florencia - Universidad de Buenos Aires

Dr. Schmalko, Miguel E. - Universidad Nacional de Misiones

Dra. Dos Santos, Cristina - Universidad de Buenos Aires

DEFENSA ORAL Y PÚBLICA (Disposición del Decano N° 758/22)

Posadas, 28 de Junio de 2022

**DESARROLLO DE PRODUCTOS CRACKERS HORNEADOS A
PARTIR DE PURÉ DESHIDRATADO DE MANDIOCA.**

Lic. Amanda CAZZANIGA

Laboratorio de Alimentos. FCEQyN. UNaM.

COMISIÓN DE SUPERVISIÓN (Resolución Consejo Directivo N°363-17)

Dra. María Florencia, MAZZOBRE

Universidad de Buenos Aires

Dr. Oscar, ALBANI

Universidad Nacional de Misiones

Dra. Lourdes, HIRT

Universidad Nacional de Misiones

Dr. José Luis, HERRERA

Universidad Nacional de Misiones

CARRERA DE DOCTORADO EM CIENCIAS APLICADAS

Proyecto de Carrera N° 10933/11

Con reconocimiento de la comisión Nacional de Evaluación y Acreditación
Universitaria (CONEAU) N° 344/11

Agradecimientos:

A mi hijo, por renovar mis energías a diario.

A Marcelo, mi compañero de aventuras, por no soltarme nunca la mano.

A mis padres por darme las bases para poder llegar hasta aquí.

A mis abuelas por inspirarme a superarme.

A mis compañeras de doctorado, por ser un grupo de apoyo y fortalecimiento a pesar de las adversidades.

A todos los docentes de la facultad que colaboraron desinteresadamente cada vez que las dudas asaltaron.

Índice

Índice	2
Resumen	6
Abstract	8
INTRODUCCIÓN	10
Objetivo General	14
Objetivos específicos de la investigación	14
MARCO TEÓRICO	15
Mandioca Generalidades:	16
Generalidades del grano de trigo y harina de trigo	21
Ingredientes secundarios utilizados en la formulación de galletitas crackers con PDM: principales características y su rol en masas, cocción por horneado y producto final	23
Propiedades fisicoquímicas de harinas, masas y productos horneados	26
Propiedades funcionales de las harinas y almidones	30
Proceso de horneado	33
Actividad de agua, isotermas de sorción y desorción	38
Análisis instrumental de la textura de los alimentos	42
Textura auditiva	47
Métodos estadísticos y modelado matemático	48
MATERIALES Y MÉTODOS	54
SECCIÓN I	60
Propiedades fisicoquímicas de masas y harinas	61
Propiedades Funcionales de harinas	62
Propiedades Texturales de las masas	64
SECCIÓN II	68
Método de horneado	69
Colorimetría	69
SECCIÓN III.....	72

Contenido de humedad y curva de pérdida de humedad:	73
Modelado matemático de curvas de pérdida de humedad	74
Determinación de la difusividad efectiva de la humedad y la energía de activación	75
Determinaciones fisicoquímicas	77
SECCIÓN IV	79
Densidad aparente y densidad real.....	80
Porosidad.....	80
Tasa de propagación o “spread ratio”	80
Expansión/ acortamiento.....	80
Color	80
Humedad	80
SECCIÓN V	81
Materiales	82
Determinación de las curvas de adsorción	82
Modelado matemático.....	82
SECCIÓN VI.....	84
Materiales	85
Propiedades texturales	85
Sonido	86
Propiedades fisicoquímicas.....	86
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	87
SECCIÓN I	88
Análisis fisicoquímicos de las muestras de harinas y sus mezclas.....	89
Análisis de las propiedades funcionales de las muestras de harinas y sus mezclas	91
Análisis de las propiedades fisicoquímicas y texturales de las masas elaboradas a partir de las muestras de harinas y sus mezclas	93
SECCIÓN II	100
Color de las harinas.....	101
Color de las masas	103

Color de los productos horneados.....	105
SECCIÓN III.....	111
Características fisicoquímicas.....	112
Curvas de cinética de pérdida de humedad y de velocidad de pérdida de humedad	113
Modelado de las curvas de pérdida de humedad.....	115
Difusividad efectiva (D_{eff}) y Energía de Activación (E_a).....	121
SECCIÓN IV.....	124
Propiedades fisicoquímicas de los productos horneados.....	125
Parámetros de color y diferencia de color entre los productos horneados.....	129
SECCIÓN V.....	132
Curvas de adsorción.....	133
Modelado matemático de las curvas de adsorción.....	135
SECCIÓN VI.....	141
Propiedades texturales y fisicoquímicas de los productos horneados y de muestras comerciales.....	142
Análisis de las propiedades auditivas y su relación con parámetros texturales.....	147
CONCLUSIONES.....	152
Recomendaciones para Trabajos Futuros.....	157
Producciones científicas.....	158
Artículos en revistas:.....	158
Presentaciones a congresos y jornadas.....	161
Proyecto de investigación dentro del cual se desarrolló la tesis:.....	162
Beca con la que se financió la tesis:.....	162
BIBLIOGRAFÍA.....	163
ANEXOS.....	1
Datos recopilados durante la investigación.....	2
Propiedades fisicoquímicas de las harinas.....	2
Propiedades funcionales de las harinas.....	3
Propiedades fisicoquímicas de las masas.....	5

Propiedades texturales de las masas.....	6
Parámetros colorimétricos de harinas, masas y productos horneados	12
Propiedades fisicoquímicas de las masas y productos intermedios utilizadas para la determinación de cinética de pérdida de humedad	18
Propiedades fisicoquímicas de productos horneados.....	32
Datos de humedad utilizados durante la evaluación de las isotermas de sorción en los productos horneados	36
Propiedades texturales de los productos terminados y muestras comerciales	39
Propiedades fisicoquímicas de las muestras elaboradas y comerciales.....	45
Propiedades auditivas de las muestras elaboradas y comerciales	47

1 **Resumen**

2 La mandioca se ha convertido en un producto básico y clave para incorporar valor
3 agregado a distintos alimentos, contribuir al desarrollo rural, a la seguridad alimentaria
4 y energética, y también para lograr importantes beneficios macroeconómicos en el
5 marco de una tendencia mundial a reemplazar harinas convencionales parcial o
6 totalmente. El puré deshidratado de mandioca (PDM) constituye un producto novedoso
7 que por su proceso productivo presenta características diferentes a los productos
8 tradicionales por lo que para su aplicación como materia prima en reemplazo parcial o
9 total de harinas tradicionales se requiere investigar sus características fisicoquímicas y
10 funcionales. En este trabajo se estudió la aplicación del PDM en reemplazo de harina
11 de trigo para la producción de crackers horneados. Para ello se estudió el desarrollo de
12 galletitas crackers con diferentes proporciones de PDM, harina de trigo y productos
13 complementarios. Se estudió las propiedades y características de las masas y las
14 propiedades de los productos finales e intermedios y su relación con las variables de
15 proceso y la formulación. A partir de los resultados obtenidos se evaluó la factibilidad de
16 transferir la tecnología desarrollada al sector productivo.

17 Los principales hallazgos de la investigación indican que es posible el uso de PDM para
18 la producción de masas no fermentadas, siendo sus características de textura son
19 adecuadas para los procesos que se llevan a cabo actualmente. El PDM aumenta el
20 tamaño medio de partícula y la capacidad de retención de agua generando un aumento
21 en la dureza, gomosidad, elasticidad, resiliencia y consistencia. Por otro lado, la
22 extensibilidad de las masas se redujo con sustituciones parciales de harina por PDM.
23 Sin embargo, la extensibilidad de la masa sin harina de trigo fue significativamente
24 mayor que otras masas sin gluten. Durante el horneado las muestras con PDM
25 disminuyen más rápidamente el contenido de humedad y desarrollan en menor tiempo
26 el color. La utilización de PDM para la producción de alimentos horneados que
27 mantengan una coloración similar a productos elaborados a partir de harina de trigo es
28 posible mediante la disminución del tiempo de horneado. Tal reducción del tiempo de
29 horneado no perjudicaría la humedad final del producto ya que se lograron valores de
30 menos del 5% (base seca). En general los parámetros texturales obtenidos para las
31 muestras elaboradas con sustitución de harina de trigo por PDM estuvieron dentro del
32 rango hallado para otras muestras comerciales ensayadas.

33 La crocancia, una de las propiedades más relevantes para los consumidores, evaluada
34 mediante características sonoras, mejora en los productos obtenidos solo con PDM.

35 Por todo lo expuesto, es posible afirmar que la tecnología de producción de crackers a
36 partir de PDM con o sin harina de trigo es factible y por tanto transferible. Además, los
37 parámetros de calidad evaluados y comparados con otros productos similares en el
38 mercado indica que son crackers aptos para competir, pudiendo presentarse como un
39 producto con identidad propia debido a sus características particulares y contando
40 además con la ventaja de poder ser un alimento libre de aditivos, colorantes,
41 conservantes y gluten en la formulación sin harina.

42 **Palabras Claves:** mandioca, sustitución, crackers, propiedades fisicoquímicas, textura,
43 sonido.

44 **Abstract**

45 Cassava has become an essential product and key to incorporating benefit to different
46 foods, contributing to rural development, food, and energy security, also achieving
47 significant macroeconomic benefits within the framework of a global trend to replace
48 partially or replace wholly conventional flours. The dehydrated cassava puree (PDM)
49 constitutes a novel product that presents different characteristics to traditional products
50 due to its process production. So, for its application as a raw material in partial or total
51 replacement of conventional flours, it is necessary to investigate its physicochemical and
52 functional characteristics. In this work, was studied the application of PDM in the
53 replacement of wheat flour to produce baked crackers. For that, were studied the
54 production process to develop crackers with different proportions of PDM, wheat flour,
55 and complementary products. Were studied the properties and characteristics of the
56 doughs, intermediate, and final products, and their relationship with the variables of the
57 process and composition. Based on the results obtained was estimated the feasibility of
58 transferring the developed technology to the productive sector.

59 The main findings of the research indicate that it is possible to use PDM for non-
60 fermented dough productions being the characteristics of texture are suitable for
61 processes currently carried out. PDM increases the mean particle size and the water
62 retention capacity, generating an increase in hardness, gumminess, elasticity, resilience,
63 and consistency. On the other hand, was reduced the extensibilities of the doughs with
64 partial substitutions of flour. However, the extensibility of the dough without wheat flour
65 was significantly higher than other gluten-free doughs. During baking, PDM samples
66 decrease moisture content more quickly and develop color in less time. The use of PDM
67 to produce baked foods that maintain a color like products made from wheat flour was
68 possible by reducing the baking time. Such a reduction in baking time would not harm
69 the final moisture of the product since were achieved values of less than 5% (d.b.). In
70 general, the textural parameters obtained for the samples made with substitution of
71 wheat flour for PDM were within the range found for other commercial samples tested.
72 The crispness, one of the properties most outstanding by consumers, evaluated by
73 sound characteristics, improves in products obtained only with PDM.

74 For all the above, it is possible to affirm that the technology for the crackers production
75 from PDM with or without wheat flour is feasible and transferable. Also, the quality
76 parameters evaluated and compared with other similar products in the market indicate
77 that they are suitable to compete. Being able to be presented as a product with its own

Lic. Cazzaniga Amanda

78 identity due to its characteristics and have the advantage of being food free of additives,
79 colorants, preservatives, and gluten in the formulation without flour.

80 **Key words:** cassava, substitution, crackers, physicochemical properties, texture,
81 sound.

DESARROLLO DE PRODUCTOS CRACKERS HORNEADOS A PARTIR DE PURÉ DESHIDRATADO DE MANDIOCA.

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

1 La mandioca es una raíz alimentaria cuyo cultivo es de amplia difusión en el mundo, en
2 2013 fue nombrada por las Naciones Unidas (ONU) como el alimento más relevante del
3 siglo. La mandioca puede ser utilizada para el consumo tanto por personas como por
4 animales y por una gran variedad de industrias que incluyen, pero no se limitan, a la
5 industria alimentaria.

6 Si bien, dentro de la familia de raíces y tubérculos alimentarios, la papa se encuentra en
7 un primer lugar en la producción mundial, ocupando un cuarto lugar respecto a la
8 importancia para la dieta en el mundo, su posición dominante con respecto a la
9 mandioca se encuentra en descenso. Esto responde a que, actualmente, la producción
10 de mandioca aumenta más de 3% al año, tasa casi tres veces mayor que la del
11 crecimiento demográfico. La mandioca se ha convertido en un producto básico y clave
12 para incorporar valor agregado a distintos alimentos, contribuir al desarrollo rural, a la
13 seguridad alimentaria y energética, y también para lograr importantes beneficios
14 macroeconómicos [2]. La demanda de mandioca está impulsada en parte por la
15 volatilidad de los precios de los cereales [3]. Esto genera una tendencia mundial a
16 reemplazar harinas convencionales parcial o totalmente por harina u otros productos
17 derivados de mandioca, en especial en países y regiones no productoras de trigo [1].
18 Se suma a los beneficios anteriores la tolerancia de la mandioca a condiciones
19 climatológicas erráticas, incluso la sequía, cualidad indispensable frente al cambio
20 climático. En comparación con otros alimentos básicos, la mandioca compite de manera
21 favorable en términos de precio y diversidad de usos [2].

22 Las limitaciones de este cultivo se deben en parte a el ciclo de producción, ya que
23 existen periodos de abundancia en los cuales suele producirse pérdida de materia prima
24 y periodos de escasez lo que ocasiona oscilaciones en los precios [4]. Asimismo, recién
25 durante los últimos años se empezaron a desarrollar nuevas técnicas más adecuadas
26 de transformación, tecnología de siembra, cosecha y postcosecha e investigación para
27 el desarrollo de productos de mayor valor agregado. Esta situación problemática
28 desfavoreció durante décadas el desarrollo de este sector agroalimentario e industrial,
29 principalmente en países en desarrollo [4].

30 En Argentina, se estima que en la provincia de Misiones, principal productora del país,
31 la superficie plantada con mandioca es de aproximadamente 12.000 ha (2021), a su vez
32 es la provincia que más se destaca tanto en desarrollo productivo como en volumen
33 industrializado. Las empresas elaboradoras de fécula de mandioca son un importante
34 eslabón de la cadena de valor de la mandioca. Las fábricas de almidón de mandioca se

35 abastecen comprando las raíces a socios de las cooperativas o a productores
36 independientes de la cuenca productora. Las empresas elaboradoras de fécula de
37 mandioca operan en su totalidad en la provincia de Misiones, y procesan
38 aproximadamente 70 mil toneladas. Se destacan por su volumen de elaboración la
39 Cooperativa Agrícola e Industrial San Alberto, seguida en orden de importancia por Otto
40 Graef, la Cooperativa Agrícola Monte Carlo, la Cooperativa Yerbatera de Jardín
41 América, y Valois, entre otros [5]. Sin embargo, la aplicación industrial de la mandioca
42 en Argentina tampoco presenta un alto grado de desarrollo, no obstante, existen algunas
43 innovaciones procedentes de vínculos entre la Universidad, escuelas técnicas, institutos
44 nacionales y provinciales, productores y cooperativas del sector e incentivos a la
45 producción [6–10]. En general la producción industrial se reduce casi exclusivamente a
46 la producción de almidón y derivados [5], fuera de ello, solo existen algunas pequeñas
47 industrias de raíces peladas congeladas. El único caso de producción no tradicional
48 puesta en práctica actualmente y con alto valor agregado es la Cooperativa San Alberto
49 con su planta de puré deshidratado [11]. El puré de mandioca deshidratado instantáneo,
50 se produce a partir de la desecación y rallado de raíces cocidas y procesadas [12].

51 Como veremos en el desarrollo de esta investigación el puré deshidratado de mandioca,
52 al ser producto de un proceso productivo diferente al almidón o harina de mandioca,
53 presenta características fisicoquímicas y funcionales diferentes. Es por ello que se
54 requiere de investigación para su utilización como materia prima para el desarrollo de
55 productos con reemplazo parcial o total de harinas tradicionales como la harina de trigo.

56 En la bibliografía existen numerosos estudios de la aplicación con referencia a la
57 aplicación de productos no tradicionales en la producción de galletitas y crackers de
58 harina de mandioca mezclada con harina de trigo, arroz y de otros vegetales [13–15].
59 Se han utilizado diversos materiales para la complementación de harinas de trigo y para
60 su sustitución para el desarrollo de productos libres de gluten en la formulación de
61 productos y galletitas con o sin gluten. En Malasia se produce galletitas y tortas a partir
62 de las raíces de mandioca o de la harina mediante cocción con vapor, mezclándolas con
63 diversos ingredientes (coco rallado, leche condensada, leche de coco, azúcar, etc.). A
64 lo largo de esta investigación se estudió la aplicación del puré deshidratado de mandioca
65 en el reemplazo de harina de trigo para la producción de snacks, más precisamente de
66 crackers horneados.

67 Los productos de snacks comprenden una variedad de alimentos que incluyen las papas
68 fritas, los extrudidos de maíz, productos de bollería, galletitas y crackers. Los snacks
69 procesados proveen al consumidor una forma de comida lista para consumir, los cuales
70 son utilizados fuera de las comidas regulares y como suplementos de las dietas diarias.
71 Existen además una nueva generación de snacks que se clasifican en varias categorías,
72 tales como productos bajos en grasa, al horno/no fritos, altos en fibra, bocadillos
73 recubiertos, crackers, sin gluten, etc. [16]. El tipo de snack y sus características
74 dependerá entonces de los ingredientes, procesos de elaboración y proceso de cocción
75 aplicados en su producción.

76 Las galletitas crackers son aperitivos o colaciones que se obtienen normalmente
77 mediante el procesado y horneado de masas en base a harina de trigo u otros productos
78 que contienen o no gluten y otros ingredientes como sal, grasas, queso, semillas hierbas
79 aromáticas, etc. que complementan y mejoran las características de la masa y de los
80 productos finales (C.A.A. art. 760 y 760bis) [17]. Por lo general, las masas con las que
81 se elaboran crackers son elaboradas con relativamente pocos ingredientes y sin
82 levadura. Durante el proceso son trabajadas mecánicamente (amasado), laminadas,
83 moldeadas y horneadas para cocerlas y secarlas, dando como productos finales
84 galletitas o crackers de textura crocante. La selección de los ingredientes y las
85 proporciones, así como las condiciones de proceso de elaboración de los crackers son
86 de vital importancia para lograr una masa y un producto final con las características
87 deseadas [18]. Para el consumidor un producto con efecto crocante es un indicador de
88 calidad y frescura tanto en alimentos dulces como salados [15].

89 Debido a la gran popularidad de este tipo de alimentos se propuso como fin de esta
90 investigación el desarrollo de crackers con la mayor proporción posible de puré
91 deshidratado de mandioca, que presenten parámetros de calidad que les permita
92 competir en el mercado de alimentos actual. Sin embargo, como hemos visto, el cambio
93 en los ingredientes o en su proporción altera las características de productos finales e
94 intermedios afectando tanto la aceptabilidad como la capacidad de los productos
95 intermedios de ser procesados industrialmente. De esto se desprenden los objetivos
96 generales de la investigación.

97

98

99

100 ***Objetivo General***

101 Desarrollar una tecnología para la obtención de galletas crackers, mediante el uso puré
102 deshidratado de mandioca en diferentes combinaciones con harina de trigo, como una
103 alternativa industrial a las actuales aplicaciones de la mandioca en la Provincia de
104 Misiones.

105 ***Objetivos específicos de la investigación***

106 1. Desarrollar crackers con diferentes proporciones de puré deshidratado de
107 mandioca, harina de trigo y otros productos complementarios.

108 2. Estudiar las propiedades físicas, fisicoquímicas y texturales de las masas
109 desarrolladas con el fin de conocer la posibilidad de que puedan ser procesadas
110 a un nivel de elaboración industrial.

111 3. Estudiar las características fisicoquímicas, de transferencia de masa y texturales
112 de los productos intermedios y finales, y su variación con las diferentes
113 proporciones de puré deshidratado de mandioca y con las condiciones de
114 procesos tecnológicos aplicados.

115 4. Obtener un proceso tecnológico de producción de galletitas crackers mediante el
116 uso de puré deshidratado de mandioca con o sin harina de trigo.

117 5. Transferir la tecnología desarrollada a empresas interesadas en esta innovación.

118 Para los primeros tres objetivos generales se presentan en esta tesis cinco capítulos
119 con el trabajo realizado a lo largo de la investigación. Respecto al objetivo 4 se informa
120 que el equipo de investigación en su conjunto se encuentra en tratativas con cooperativa
121 San Alberto Ltda. Se han publicado artículos científicos en diversas revistas y congresos
122 nacionales e internacionales a fin de divulgar el conocimiento adquirido.

DESARROLLO DE PRODUCTOS CRACKERS HORNEADOS A PARTIR DE PURÉ DESHIDRATADO DE MANDIOCA.

CAPITULO 2

MARCO TEÓRICO

1 **Mandioca Generalidades:**

2 La mandioca recibe diferentes nombres comunes: *Yuca* en el norte de América
3 del Sur, América Central y las Antillas, *Mandioca* en Argentina, Brasil y Paraguay,
4 *Cassava* en países angloparlantes, *Guacamote* en México, *Gipi* y *Macacheira* en Brasil
5 y *Mhogo* en swahili en los países de África oriental [4].

6 La mandioca -*Manihot Esculenta* Crantz- pertenece a la familia *Euphorbiaceae*. Esta
7 familia está constituida por unas 7200 especies que se caracterizan por el desarrollo de
8 vasos laticíferos compuestos por células secretoras o galactocitos que producen una
9 secreción lechosa. Su centro de origen genético se encuentra en la Cuenca Amazónica.
10 Dentro de esta familia se encuentran tipos arbóreos como el caucho, *Hevea brasiliensis*;
11 arbustos como el ricino o higuera, *Ricinus communis* y numerosas plantas
12 ornamentales, medicinales y malezas además del género *Manihot*. Se han descrito
13 alrededor de 98 especies del género *manihot* de las cuales sólo la Mandioca tiene
14 relevancia económica y es cultivada. Su reproducción alógama y su constitución
15 genética altamente heterocigótica constituyen la principal razón para propagarla por
16 estacas y no por semilla sexual [4]. La principal característica de las raíces de la yuca
17 es su capacidad de almacenamiento de almidón, razón por la cual es el órgano de la
18 planta que hasta el momento ha tenido un mayor valor económico [19].

19 Dependiendo del uso final de la yuca, esta puede ser clasificada como de calidad
20 culinaria cuando se destina al consumo humano directo; como de calidad industrial
21 cuando se usa para la producción de subproductos tales como harina, almidón, trozos
22 secos o como de calidad de doble propósito, es decir, fenotipos que podrían ser usados
23 tanto para el consumo hogareño como industrial [4]. La mandioca tiene diversas formas
24 de consumirse, una de las maneras más comunes es eliminar la piel y la corteza de los
25 tubérculos y colocarlos en agua hirviendo por unos 40 minutos. El agua se decanta
26 después de la cocción y los tubérculos se consumen cocidos. Durante el tiempo que se
27 hierve la raíz los compuestos cianogénicos se eliminan, debido a que la ebullición
28 destruye la enzima linamarasa y elimina el ácido cianhídrico [20].

29 *Almidón: Macromoléculas constitutivas y propiedades más importantes*

30 El almidón es el polisacárido de reserva, depositado en agregados
31 semicristalinos insolubles en agua fría llamados gránulos. Estos gránulos de almidón se
32 encuentran en la naturaleza y presentan propiedades como morfología, composición
33 química, estructura molecular, susceptibilidad al ataque enzimático y reacción química,

34 que son características de cada especie. Esto se debe a que cada gránulo, está formado
35 por unidades de glucosa unidas, dispuestas en dos tipos de macromoléculas: amilosa y
36 amilopectina. Estas macromoléculas se caracterizan por su grado de polimerización o
37 ramificación. La estructura y la cantidad relativa de ambos componentes del almidón
38 juegan un papel importante en la determinación de las propiedades funcionales [21,22].
39 A modo de ejemplo, el contenido de amilosa puede variar entre 15,2 a 26,5% en las
40 diferentes variedades de mandioca [23] con una media de 17%, mientras que la amilosa
41 contenida en el almidón de papa tiene un rango menor entre 19 y 22% [21].

42 La amilosa, que comprende alrededor del 20-30% del almidón (promedio entre diversos
43 orígenes), es un polímero esencialmente lineal en el que los residuos de glucosa están
44 unidos por enlaces α -(1-4), con escasos puntos de ramificación formados por enlaces
45 α -(1-6). Las cadenas de amilosa pueden formar hélices simples o dobles, poseen un
46 grado de polimerización entre 500-6000 unidades de glucosa. La amilopectina es una
47 de las moléculas más grandes de la naturaleza y a diferencia de la amilosa es un
48 polímero altamente ramificado. Posee una cadena central formada por 3×10^5 a 3×10^6
49 unidades de glucosa unidas por enlaces α -(1-4), y ramificaciones formadas por glucosas
50 unidas por enlaces α -(1-6) que aparecen cada 20-25 unidades. Las cadenas de
51 amilopectina pueden clasificarse como cadenas externas no ramificadas o cadenas
52 internas ramificadas. La amilosa y amilopectina se encuentran formando gránulos que
53 se caracterizan por ser semicristalinos e insolubles en agua. Los gránulos de almidón
54 nativos presentan una estructura semicristalina con un grado de cristalinidad de 20 a
55 40%, la cual es atribuida principalmente a la estructura de la amilopectina [24].

56 Cuando los almidones son calentados en presencia de agua (por ejemplo, por hervor
57 como en el caso de la elaboración del Puré deshidratado de mandioca -PDM), los
58 gránulos pierden cristalinidad y organización estructural y se destruyen de forma
59 gradual. A este proceso endotérmico irreversible se le denomina **gelatinización** [24,25].
60 Este proceso puede dividirse en dos etapas, inicialmente las regiones amorfas de los
61 gránulos comienzan a absorber agua e hinchase permitiendo mayor movilidad molecular
62 y generando tensiones que a continuación producen una desorganización de la
63 proporción cristalina debido a una disociación de las dobles hélices de amilopectina. La
64 gelatinización es un proceso que depende de la cantidad de agua disponible, siendo
65 necesario un nivel mínimo para que se produzca este fenómeno. Paralelamente a la
66 absorción de agua y al hinchamiento de los gránulos, las moléculas de amilosa
67 comienzan a migrar hacia la solución. Como consecuencia de estos procesos, la
Lic. Cazzaniga Amanda

68 viscosidad se incrementa hasta alcanzar un valor máximo, en donde el número de
69 gránulos hinchados e intactos es el mayor que puede alcanzarse bajo las condiciones
70 de trabajo. Si el proceso de calentamiento continúa, se produce una reducción de la
71 viscosidad, debido a que los gránulos tienden a romperse parcial o totalmente y las
72 moléculas de almidón se dispersan en la fase acuosa. Luego de que el fenómeno de
73 gelatinización tiene lugar y los gránulos de almidón pierden completamente su estructura
74 cristalina, el almidón mantiene aún una estructura granular diferente a la nativa. Esta
75 estructura granular remanente sin orden de los polisacáridos se conoce como gránulos
76 fantasmas [24,26].

77 Cuando una suspensión de almidón gelatinizada es enfriada, la viscosidad del sistema
78 se incrementa debido a las interacciones intermoleculares entre amilosa y amilosa y con
79 la amilopectina, aunque también entre los gránulos y la amilosa libre y entre gránulos.
80 Este proceso que va desde el estado soluble o disperso a otro insoluble, no hinchado y
81 microcristalino se conoce como gelificación y retrogradación y es dependiente tanto de
82 la temperatura como de la proporción de agua y de otros componentes que puedan estar
83 presentes.

84 La **gelificación** ocurre cuando se enfría la pasta que se formó durante la gelatinización,
85 Las moléculas de amilosa y amilopectina adoptan conformaciones que involucran
86 asociaciones intra e intermoleculares por el establecimiento de puentes de hidrógeno
87 entre las moléculas de amilosa y amilopectinas, quedando atrapadas moléculas de agua
88 [27]. Tanto la disminución de la temperatura como el paso del tiempo produce que las
89 moléculas continúen reorganizándose de manera tal que se reducen los espacios donde
90 se alojaba el agua y esta empieza a ser expulsada fuera de la red polimérica, este
91 proceso se denomina **retrogradación** del almidón. La retrogradación se produce porque
92 las moléculas de amilosa se encogen en el proceso de cristalización, lo que se debe a
93 una disminución de la energía cinética y al movimiento browniano del polímero y las
94 moléculas de agua. Esta contracción da como resultado una nueva formación de
95 interacciones de tipo puente hidrógeno intra e intermolecular. Este proceso fue
96 observado por primera vez por Boussingault en 1852 [24,27]. La retrogradación del
97 almidón es un proceso que genera proporciones variables de almidón resistente a la
98 digestión, el cual tiene amplios beneficios para la salud ya que actúa como fibra soluble
99 [28]. Este fenómeno ocurre en geles de almidón o en productos horneados, fritos, o
100 extruidos, donde las moléculas de almidón interactúan después del añejamiento [29].

101 *Fécula de mandioca:*

102 Según el Código Alimentario Argentino (C.A.A. art. 674), la denominación de
103 Almidón corresponderá a los gránulos que se encuentran en los órganos aéreos de las
104 plantas, y la de Fécula, a los que se encuentran en las partes subterráneas (raíces,
105 tubérculos, rizomas) [17].

106 El producto industrial más importante elaborado a base de mandioca es la fécula, cuyas
107 propiedades de claridad y baja retrogradación hacen que se pueda utilizar en muchos
108 productos alimenticios. La menor retrogradación comparado con los demás orígenes
109 botánicos se debe a que posee un contenido menor de amilosa que el promedio de los
110 almidones y féculas [4,21,24]. Además presenta buena estabilidad en soluciones,
111 particularmente en medios ácidos y bajas temperaturas durante el almacenamiento, alta
112 capacidad de absorción de agua, mayor velocidad de hidratación, alto poder de
113 expansión cuando está fermentada, sabor limpio y suave que no enmascara otros
114 sabores [3,4].

115 Las etapas del proceso de la extracción de fécula de mandioca se aplican en todos los
116 niveles productivos y varían dependiendo de los equipos utilizados. Se encuentran
117 tecnologías artesanales (50–60 kg fécula/día), medianamente mecanizadas (1-10 t
118 fécula/ día) y modernas (15-150 t fécula/ día). Al pasar de una tecnología a otra aumenta
119 la eficiencia del proceso de extracción y su rentabilidad; en las tecnologías artesanales
120 la eficiencia de extracción es 17- 20%, en las medianamente mecanizadas es 17-25% y
121 en las modernas 27-33% [22]. A continuación, en la Figura 1, se presenta un diagrama
122 del proceso de extracción de fécula de mandioca.

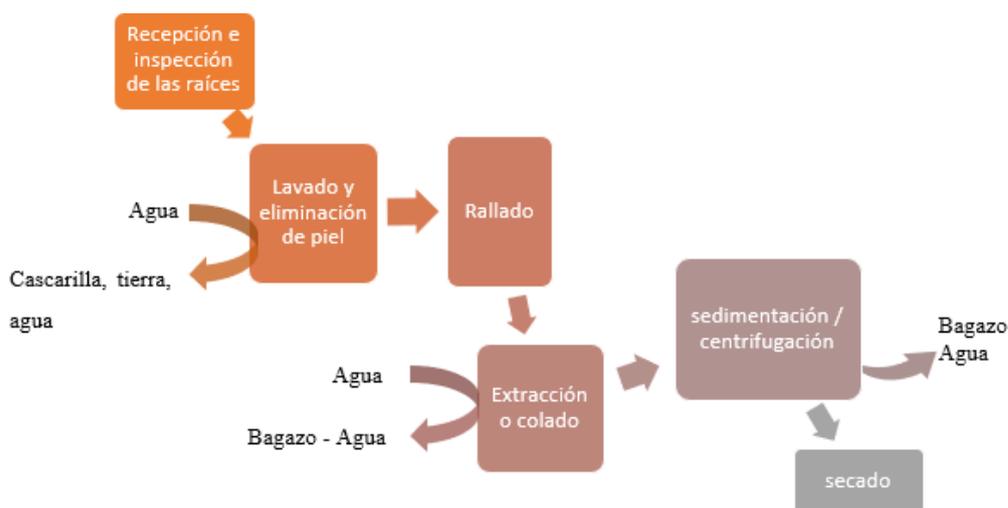
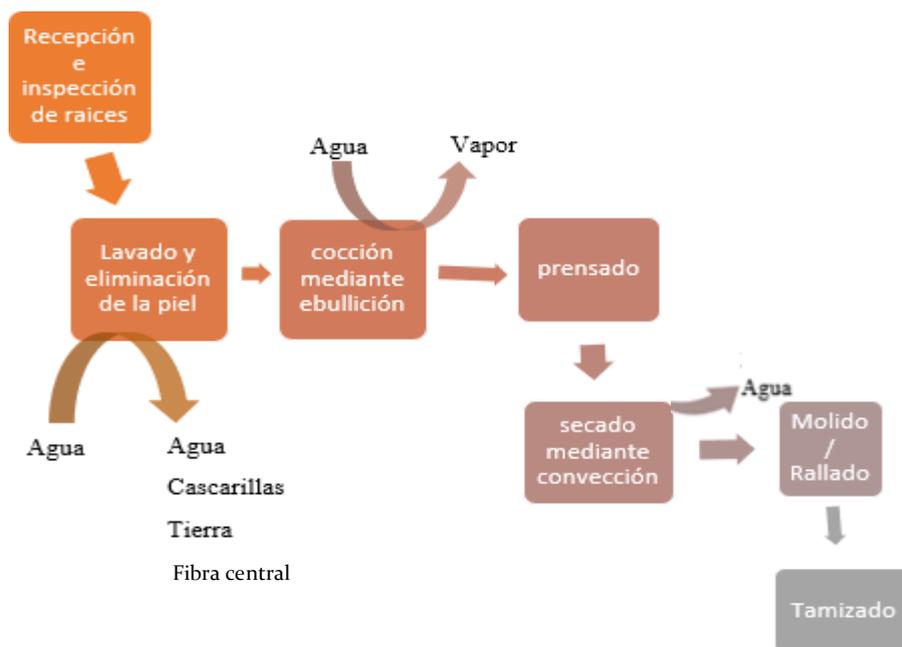


Figura 1: Diagrama del proceso de extracción de fécula de mandioca

Lic. Cazzaniga Amanda

123 *Puré de Mandioca Deshidratado (PDM):*

124 La producción de puré de mandioca deshidratado tiene su propio proceso
 125 diferenciado del proceso extractivo de almidón. El puré de mandioca se obtiene también
 126 a partir de las raíces peladas, pero estas son cocidas por hervor y luego prensadas.
 127 Finalmente, la pasta obtenida es desecada en horno de bandejas y el producto seco
 128 obtenido es molido. El proceso productivo para la obtención del PDM se resume en la
 129 Figura 2.



130

Figura 2: Proceso productivo del puré deshidratado de mandioca

131 Como consecuencia del proceso productivo de PDM los gránulos de almidón se
 132 encuentran rotos en un porcentaje elevado, ocasionando que las moléculas
 133 constituyentes se solubilizan y/o fraccionen. La presencia de los gránulos de almidones
 134 enteros es muy escasa. Además, la cocción por ebullición de la raíz genera que el
 135 almidón del PDM se encuentre gelatinizado [20].

136 La composición promedio del puré de mandioca reportada por Brousse (2015) se
 137 presenta en la *Tabla 1*. Se observa como predominan los hidratos de carbono por sobre
 138 una humedad relativamente baja, así como un bajo contenido de proteínas y lípidos
 139 similar a otros productos derivados de mandioca.

140

141 *Tabla 1: Composición del Puré deshidratado de mandioca en % p/p*

Humedad	11,4±0,34
Proteína	1,5±0,97
Cenizas totales	1,25±0,85
Glúcidos (como almidón)	82,35±1,15
Lípidos	0,5±0,1
Fibra cruda	2,5±0,3

142

143 **Generalidades del grano de trigo y harina de trigo**

144 El trigo es uno de los cereales más cultivados alrededor del mundo y el que da origen a
 145 más productos derivados. Las variedades de trigo actuales (*Triticum aestivum*) han
 146 evolucionado por diferenciación genómica y por cruzamiento con trigos silvestres. El
 147 trigo está formado por tres partes principales: endospermo, salvado y germen. La mayor
 148 parte del salvado la constituye el pericarpio que está formado por la epidermis, el
 149 epicarpio y el endocarpio. El endospermo, es el depósito de alimento para el embrión y
 150 constituye el 82% del peso del grano. Está compuesto por almidón, proteínas y en menor
 151 proporción celulosas; además, tiene una baja proporción de vitaminas y minerales. El
 152 germen de trigo es rico en vitaminas del grupo B y E, y también contiene grasas,
 153 proteínas y minerales [30]. Las proteínas presentes en el endospermo pueden dividirse
 154 en dos grupos: las proteínas del gluten o de almacenamiento y las proteínas que no
 155 forman gluten, englobando a la mayoría de las enzimas. Las albúminas y globulinas se
 156 encuentran en el germen, el salvado y la aleurona, y en menor proporción en el
 157 endospermo, conteniendo un buen balance de aminoácidos [31].

158 Nuestro país (Argentina) es uno de los principales productores mundiales de trigo, con
 159 un volumen anual que supera las 18 millones de toneladas donde una tercera parte se
 160 destina a la molienda [30]. Según el C.A.A. (art. 661), se entiende por harina de trigo, el
 161 producto obtenido de la molienda del endospermo del grano de trigo. Las harinas
 162 tipificadas comercialmente con los calificativos: cuatro ceros (0000), tres ceros (000),
 163 dos ceros (00), cero (0), medio cero (medio 0), Harinilla de primera y Harinilla segunda,
 164 corresponderán a los productos que se obtienen de la molienda gradual y metódica del
 165 endospermo en cantidad de 70-80% del grano limpio. Las harinas tipificadas
 166 comercialmente con los calificativos anteriormente mencionados deberán responder a
 167 las siguientes características detalladas en la *Tabla 2* [17].

168 *Tabla 2 características de los diferentes tipos de harinas según el C.A.A. (art. 661)*

Haina de trigo – tipo	Humedad g/100g Máximo	Cenizas g/100g Máximo	Absorción g/100g
0000	15,0	0,492	56-62
000	15,0	0,65	57-63
00	14,7	0,678	58-65
0	14,7	0,873	60-67
½0	14,5	1,350	-

169 La harina contiene entre un 65 y un 70% p/p de almidones, pero su valor nutritivo
170 fundamental está en su contenido de proteínas, ya que tiene de un 9 a un 14% p/p;
171 siendo las más importantes la gliadina y la glutenina, además de contener otros
172 componentes como celulosa, ácidos grasos y azúcar.

173 La harina debe ser suave al tacto, de color natural, sin sabores extraños a rancio, mohoso,
174 amargo o dulce. Debe presentar una apariencia uniforme sin puntos negros, libre de
175 insectos vivos o muertos, cuerpos extraños y olores anormales.

176 A pesar de ser considerado fuente importante de algunas vitaminas y minerales que se
177 encuentran en el germen, pericarpio y la aleurona, durante la molienda muchos de los
178 nutrientes se pierden. Debido a esta pérdida, las harinas deben ser adicionadas con
179 hierro y vitaminas del complejo B, siendo esta una actividad regulada por ley. (Ley
180 nacional 25630/2002-poder ejecutivo nacional).

181 *Gluten*

182 Las proteínas de la harina de trigo, que también se encuentran en la avena,
183 cebada y centeno, son las que otorgan principalmente la capacidad de esponjamiento
184 de la harina de trigo, además del almidón y los lípidos. Las glutelinas y gliadinas forman
185 el gluten que, junto con los lípidos y el agua, son responsables de las propiedades de
186 viscoelasticidad y cohesividad de la masa panadera. El gluten, por su alto contenido en
187 prolina (14% del total de aminoácidos) no posee una conformación helicoidal,
188 favoreciendo que los grupos amida de la glutamina (37% del total de aminoácidos)
189 formen puentes de hidrógeno intra e intermoleculares; sumado a esto, el gluten también
190 es rico en cisteína que permite la formación de puentes disulfuro inter e
191 intramoleculares, los cuales se forman durante el amasado. Las interacciones
192 hidrofóbicas e hidrofílicas ayudan a que los polímeros se orienten longitudinalmente

193 originando una red elástica y cohesiva para la formación del esponjado producido por la
194 generación de CO₂, producto de la fermentación [31].

195 Debido a estas características particulares de las harinas formadoras de gluten utilizar
196 harinas de diferentes orígenes o mezclas de ellas en diferentes proporciones pueden
197 afectar a la calidad de los productos elaborados [32]. A su vez existe un creciente interés
198 en el estudio y desarrollo de productos de sustitución total de harina de trigo, es decir,
199 libres de gluten debido a que se ha observado un crecimiento en el diagnóstico de
200 celiacía en la población a nivel mundial. La celiacía es una enfermedad causada por
201 un desorden inmunológico de origen genético conocido como enteropatía sensible al
202 gluten, la única forma de tratamiento es la eliminación de los productos que contienen
203 gluten [33].

204 ***Ingredientes secundarios utilizados en la formulación de galletitas crackers con***
205 ***PDM: principales características y su rol en masas, cocción por horneado y***
206 ***producto final***

207 *Aceite de girasol:*

208 El C.A.A. (art. 528) denomina Aceite de girasol, a aquel obtenido por prensado
209 de semillas de distintas variedades de *Helianthus annuus* L. Existe una primera forma
210 de clasificación según el procedimiento de extracción, aceite de girasol virgen y aceite
211 de girasol refinado. Con la denominación de "Aceite de girasol virgen" se entiende el
212 aceite extraído de semillas de girasol (*Helianthus annuus* L.) por procedimientos
213 exclusivamente mecánicos pudiendo haber sido modificado por lavado, sedimentación,
214 centrifugación y/o filtración únicamente. No se permite el uso de aditivos alimentarios en
215 el aceite de girasol virgen [17].

216 El aceite de girasol además se puede clasificar teniendo en cuenta su composición en
217 ácidos grasos en: aceite de girasol, aceite de girasol medio oleico, aceite de girasol alto
218 oleico, Aceite de girasol Alto Esteárico-Alto Oleico. El aceite de girasol es aquel cuyo
219 contenido de ácido oleico sea como máximo 54,9% sobre el total de ácidos grasos.

220 Las grasas y los aceites son componentes indispensables de los productos horneados.
221 Algunas de sus funciones fundamentales incluyen mejorar la palatabilidad, ayudar en la
222 lubricación de los diversos componentes, incorporar aire, agregar barrera contra la
223 humedad, producir estructuras y aumentar la vida útil de los productos. Los lípidos

224 influyen en la textura de los alimentos a través del desarrollo de estructuras de redes
225 cristalinas y por la interrupción de la estructura al intervenir con sistemas no grasos. Sin
226 embargo, la funcionalidad de las grasas y aceites en el producto terminado depende de
227 su composición de ácidos grasos, se ha encontrado por ejemplo que el aceite de girasol
228 produce masas más blandas que otras grasas y aceites con mayor porcentaje de ácidos
229 grasos saturados [34].

230 *Sal de mesa*

231 El C.A.A. (art. 1264 y 1272) establece que se entiende con el nombre de Sal, sin
232 agregado alguno, el producto comercialmente puro o purificado, que químicamente se
233 designa con el nombre de cloruro de sodio. Toda sal que se expenda para consumo
234 humano deberá contener una parte de yodo en treinta mil partes de sal, aceptándose
235 una variación en más o en menos de hasta el 25,0% [17].

236 El principal problema dietético del mundo occidental en la actualidad es una dieta con
237 demasiada energía y, en particular, demasiada grasa y sal, en este sentido la industria
238 se ha comprometido en disminuir las cantidades de sal y el tipo de materia grasa
239 utilizada [35]. Esto resulta un desafío ya que la sal en las masas afecta la actividad de
240 los microorganismos ya que genera una menor disponibilidad del agua, esto también
241 afecta los procesos de hidratación y desarrollo del gluten. Sin embargo, su función
242 principal es brindar sabor al producto terminado [36,37].

243 *Azúcar común tipo A*

244 El C.A.A. (art. 767 y 768) establece que, con el nombre de Azúcar blanco, se
245 identifica a la sacarosa natural purificada y cristalizada. La sacarosa se extrae de
246 vegetales como: caña de azúcar (género *Saccharum* y sus variedades), remolacha
247 azucarera (*Beta vulgaris L.*, variedad rapa), sorgo azucarero (*Sorghum saccharatum*
248 *Pers.*), Arce de Canadá (*Acer saccharinum Wang*). El C.A.A. en su artículo 768bis,
249 también establece que la denominación azúcar común tipo A, corresponde a aquel
250 azúcar que presente las siguientes características:

- 251 • Polarización, Mín.: 99,7°S
- 252 • azúcar invertido, Máx.: 0,05% en peso
- 253 • Pérdida por desecación, (3 horas a 105°C), Máx.: 0,10% en peso
- 254 • Cenizas por conductividad, Máx.: 0,05% en peso
- 255 • Color (ICUMSA), Máx.: 200 unidades
- 256 • Anhídrido sulfuroso total, Máx.: 40 mg/kg [17]

Lic. Cazzaniga Amanda

257 Como la sal, la adición de azúcares reduce la actividad de agua de la masa; esto tiene
258 el efecto de inhibir la formación de gluten durante la mezcla. Además, debido a su
259 solubilidad en agua, el azúcar cumple diversas funciones, algunas de las cuales son:
260 Contribuye a la dulzura del producto, afecta la hinchazón y gelatinización del almidón
261 durante el horneado, afecta la vida útil del producto después del horneado y reduce el
262 deterioro del producto y ayuda a controlar el movimiento de la humedad durante el
263 almacenamiento. Por otro lado, si se produce la recristalización de sacarosa en los
264 productos horneados, puede producir imperfecciones en la superficie [36].

265 ***Galletitas tipo snacks o crackers:***

266 El Código Alimentario Argentino en su artículo 760 define que, con la denominación
267 genérica de Crackers se entienden numerosos productos a los que se les da formas
268 variadas antes del horneado de una masa elaborada a base de harina de trigo u otras o
269 sus mezclas, con o sin salvado, con o sin agentes químicos y/o biológicos autorizados.
270 También define la posibilidad de adicionar elementos como enzimas, sal, leche, féculas,
271 azúcar, jugos vegetales, edulcorantes, frutas, grasas, entre otros. A su vez en el artículo
272 760 quater, define snacks galletas como los productos elaborados a base de harina de
273 trigo u otras o sus mezclas con o sin salvado, con o sin la adición de sal, con o sin el
274 agregado de especias y otras sustancias permitidas para esta clase de productos,
275 saborizados o no, con o sin agentes químicos y/o biológicos autorizados, a los que se
276 les da formas variadas. Estos productos podrán ser adicionados de los aditivos incluidos
277 en la Resolución Grupo Mercado Común (GMC).

278 Sin embargo, esta definición resulta escasa, a los fines prácticos de esta investigación
279 se toma como definición de producto snack, un producto que es inocuo, generalmente
280 preparado de forma industrial en grandes cantidades, sazonado o saborizado, con gran
281 estabilidad y larga vida útil que no requiere de refrigeración. Este tipo de productos se
282 consideran productos “listos para comer” y se presentan en forma de piezas de un
283 bocado que pueden tomarse directamente con las manos [38]. Se considera que los
284 productos crackers son aquellos productos de panadería en los que no se utilizan
285 levaduras, presentan una baja humedad ($a_w < 0.6$) y resultan ser frágiles, higroscópicos
286 y crocantes. En condiciones adecuadas pueden conservarse durante largos periodos de
287 tiempo [39].

288 **Propiedades fisicoquímicas de harinas, masas y productos horneados**

289 Las propiedades físicas y químicas son características que distinguen a una
290 sustancia de otra. Estas características fisicoquímicas, cuando son interpretadas por
291 los sentidos, se denominan características organolépticas y son las que determinan la
292 aceptación o no de un alimento. Existen una gran cantidad de propiedades
293 fisicoquímicas.

294 La caracterización fisicoquímica es necesaria en los productos amiláceos para asegurar
295 que sean aptos para el consumo, determinar impurezas, detectar fraudes y asegurar
296 que cumplan con las características que establecen las diferentes normativas durante
297 el proceso de comercialización. En la caracterización de materias primas amiláceas es
298 importante la determinación de propiedades como pH, acidez, tamaño de partícula y
299 densidad aparente [21]. A continuación, se presentan conceptos básicos sobre las
300 propiedades estudiadas a lo largo de la presente investigación.

301 *Color:*

302 El color es un atributo de la percepción visual que se compone de una
303 combinación de elementos cromáticos y acromáticos. Se trata de un fenómeno físico-
304 químico producto de que los materiales iluminados absorben parte de las ondas
305 electromagnéticas y reflejan las restantes [40]. En los alimentos es el primer parámetro
306 de calidad evaluado por los consumidores, ya que determina la aceptación del producto
307 incluso antes de su consumo [41]. Uno de los métodos más utilizados para caracterizar
308 el color de un alimento es mediante el empleo de colorímetros, los cuales son
309 dispositivos que permiten la medición del color de forma objetiva. Estos funcionan
310 enviando un haz de luz sobre el objeto, parte del espectro es absorbido y el resto es
311 reflejado hacia un detector para calcular un valor cuantitativo para las coordenadas de
312 color que va a depender del modelo o espacio de color utilizado [40]. El objetivo de un
313 modelo de color es facilitar la especificación de los colores de una forma normalizada y
314 aceptada genéricamente. En esencia, de los espacios de color es la especificación de
315 un sistema de coordenadas tridimensional y de un subespacio de este sistema en el que
316 cada color queda representado por un único punto [42]. Aunque existen muchos
317 espacios de color diferentes, cuando se trata de alimentos, el más utilizado es el espacio
318 de color CIE $L^* a^* b^*$, debido a su distribución uniforme del color y porque su percepción
319 del color es más cercana a la del ojo humano. El problema con la aplicación del sistema

Lic. Cazzaniga Amanda

320 CIE $L^* a^* b^*$ es que los medidores de color comerciales miden solo una docena de
321 centímetros cuadrados del producto en sí y las medidas no son representativas para la
322 mayoría de los materiales heterogéneos [43,44]. Este sistema define un espacio
323 cartesiano en que L^* es la claridad o luminosidad, en un rango que va desde 0 (negro)
324 a 100 (blanco). El parámetro a^* define a los componentes rojo - verde, rojo para valores
325 positivos y verde para negativos. El parámetro b^* define la componente amarillo – azul,
326 amarillo para valores positivos y azul para negativos como puede observarse en la
327 Figura 3 [45].

328

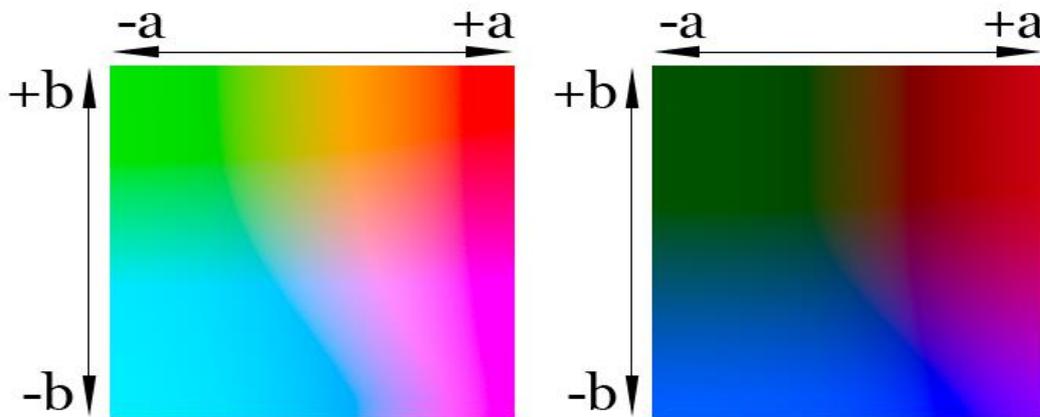


Figura 3 Espacio de color a^*/ b^* con luminosidad al 75% y al 25% obtenido de <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>

329 *Densidad real, aparente y porosidad*

330 La densidad es la relación que existe entre la masa y el volumen de una
331 sustancia. En el caso de alimentos porosos, es necesario especificar si se está haciendo
332 referencia a su densidad aparente o real. La densidad aparente es el cociente entre la
333 masa del producto y el volumen aparente del mismo. El volumen aparente incluye los
334 huecos o espacios de aire dentro de la muestra. La densidad real en cambio es el
335 cociente entre la masa del producto y su volumen real. El volumen real excluye los
336 espacios de aire en el interior de la muestra, tomando en cuenta solo el volumen del
337 sólido [46].

338 Es una característica importante en productos pulverulentos para varias operaciones
339 tecnológicas como manipulación, embalaje y almacenamiento [21].

340 En productos elaborados, la formación de poros es uno de los cambios estructurales
341 críticos que ocurren durante el secado o cocción. El grado de porosidad de los productos

342 alimenticios secos influye notablemente en la estabilidad, calidad nutricional,
343 propiedades sensoriales, propiedades mecánicas/texturales, propiedades químicas y
344 físicas. Además de esto, las características del poro afectan significativamente los
345 mecanismos de transferencia de calor y masa, los cuales son relevantes durante la
346 cocción y el almacenamiento vinculados a los procesos de pérdida de humedad y
347 adsorción de humedad [47,48].

348 *Tamaño de partícula*

349 El diámetro de partícula es un parámetro que influye sobre las propiedades
350 inherentes de la harina y en la calidad de los productos terminados. En las harinas el
351 tamaño de partícula indica la cantidad de partículas con diámetro menor al promedio, la
352 superficie total expuesta, la densidad y es un indicador de la porosidad de los productos
353 [49].

354 Conocer los tamaños de partícula y la distribución porcentual puede contribuir a predecir
355 el comportamiento reológico de una harina. Esto se debe a que el comportamiento
356 reológico en cuanto a extensibilidad, resistencia y viscosidad de las masas está
357 relacionado con la distribución del tamaño de las partículas de las harinas o almidones
358 empleados. Se ha postulado que esto se debe a el efecto que tiene el tamaño de
359 partícula en la absorción de agua [21,50,51].

360 *Determinación de pH*

361 El pH es un valor indicador de acidez o alcalinidad del producto. El nivel de acidez
362 permite determinar si un producto ha sufrido o no algún deterioro, ya sea de tipo físico,
363 químico o microbiológico. El pH puede afectar la viscosidad del gel formado a partir de
364 almidón y agua, así mismo afecta propiedades como la solubilidad y la capacidad
365 emulsificante [21,50].

366 *Humedad*

367 Cuando se realizan determinaciones del contenido de humedad mediante la
368 exposición a condiciones de secado, este contenido de humedad se refiere a la cantidad
369 de agua libre y parte del agua de semi-ligada o de la multicapa y sustancias volátiles
370 que se pierden. Es un índice de calidad y de estabilidad ante factores que pueden
371 ocasionar el deterioro del producto amiláceo. Un contenido de agua elevado afectará la
372 calidad principalmente durante el almacenamiento, ya que predispone a que sucedan
373 reacciones químicas y microbiológicas, la infestación de insectos y el apelmazamiento.

Lic. Cazzaniga Amanda

374 En la harina, se presentan deterioros más rápidamente cuando el contenido de agua es
375 superior al 14%. En almidones nativos de mandioca se ha determinado una humedad
376 cercana al 9,48 %, mientras que en almidones nativos de maíz, ñame y papa se han
377 reportado porcentajes cercanos al 9,9; 9,83 y 10,2%, respectivamente. [21,52]. En
378 masas y en los productos terminados la humedad, además de afectar su conservación,
379 se relaciona fuertemente con las propiedades fisicoquímicas, reológicas, texturales,
380 organolépticas, etc. [51].

381 *Contenido lipídico*

382 En general, el contenido de lípidos en todas las harinas es bajo en comparación
383 con otras fuentes alimentarias. Sin embargo, los gránulos de almidón de mandioca
384 contienen un porcentaje aún menor de lípidos, comparado con los almidones de
385 cereales como el maíz y el arroz. La mayor parte de estos lípidos son fosfolípidos; es
386 decir una cadena de ácido graso esterificada con ácido fosfórico. Los lípidos influyen en
387 propiedades de las harinas como la capacidad emulsificante, la formación de espuma y
388 viscosidad aparente o poder de hinchamiento. Una de las propiedades más importantes
389 del almidón de mandioca radica en que su limitado contenido de lípidos le permite una
390 mejor solubilidad y un mayor poder de hinchamiento, ya que los lípidos forman un
391 complejo con la amilosa, el cual tiende a reprimir el hinchamiento y la solubilización de
392 los gránulos del almidón, por esta razón se necesitan temperaturas altas (> 125 °C) para
393 romper la estructura amilosa-lípido y solubilizar la fracción de amilosa en almidones
394 provenientes de cereales. Además, la presencia de sustancias grasas puede crear
395 problemas por la tendencia a la rancidez durante el almacenamiento [4,53].

396 Por otro lado, los lípidos juegan un papel clave en el mantenimiento y la protección de
397 la masa leudada, ya que presentan una baja tensión superficial que les permite penetrar
398 entre la capa acuosa de la proteína y el almidón para formar una bicapa lubricante. Esta
399 capa impide el paso del agua al almidón y por consiguiente retrasará la gelatinización,
400 mejorando la expansión de la masa. Por ello y por su efecto lubricante, el contenido
401 lipídico afecta el comportamiento reológico de las masas [53,54]. Asimismo, los
402 complejos de amilosa con ácidos grasos libres, monoglicéridos o liso-fosfolípidos
403 presentes en las harinas tienen un uso potencial en productos de panificación ya que
404 limitan la velocidad de fortalecimiento o endurecimiento de la miga del pan. Algunos
405 estudios han demostrado que estos complejos evitan la cristalización de la amilopectina,
406 hecho que origina el endurecimiento del pan [4,49].

407 **Propiedades funcionales de las harinas y almidones**

408 A nivel tecnológico e industrial, para la incorporación o utilización de materiales
409 amiláceos en la formulación de matrices alimentarias y otras aplicaciones industriales
410 se requiere conocer su comportamiento frente a ciertas condiciones, para ello se
411 evalúan las denominadas propiedades funcionales [21]. Estas se definen como las
412 características fisicoquímicas de los alimentos que afectan favorable o
413 desfavorablemente el comportamiento del producto durante y después del
414 procesamiento, influenciando la calidad general y la percepción sensorial. Están
415 asociadas principalmente a proteínas, almidones y fibras, y dependen de factores
416 intrínsecos propios de la molécula y de factores extrínsecos del medio que la rodea.
417 Conocer las propiedades funcionales permite conocer las interacciones idóneas entre
418 ingredientes, predecir la incorporación correcta de nuevos materiales e identificar las
419 condiciones ideales del proceso [53].

420 Los métodos para evaluar las propiedades funcionales son métodos empíricos que en
421 general se desarrollan bajo 3 condiciones básicas:

- 422 1- Hidratación en exceso
- 423 2- Aplicación de fuerzas externas/ internas como la gravedad o a centrifugación
- 424 3- Molido a granulometría específica.

425 *Absorción de agua alcalina*

426 La capacidad de absorción de agua se define como la habilidad del material
427 húmedo para retener agua cuando el material ha sido sometido a fuerzas de
428 centrifugación o de compresión. Esto, la diferencia de la capacidad de retención de
429 agua, se define como la cantidad de agua retenida sin que la muestra sea sometida a
430 ningún estrés [21]. La determinación de absorción de agua alcalina es un ensayo que
431 permite evaluar la calidad potencial de la harina para producir galletas. Este índice se
432 relaciona con la capacidad de una harina de retener agua en condiciones de alcalinidad,
433 simulando lo que sucede en las masas de galletitas por el agregado de bicarbonato de
434 sodio como agente leudante. La capacidad de absorción de agua depende directamente
435 del tipo de almidón, lo que es mayor en almidones de tubérculos que con almidones de
436 cereales, pero también depende de factores como el contenido de amilopectina, el
437 tamaño y la forma de los gránulos. Sin embargo, este parámetro depende fuertemente

Lic. Cazzaniga Amanda

438 del contenido de pentosano, almidón dañado, glucoproteína y complejo proteína-
439 polisacárido y se correlaciona negativamente con el diámetro de la final de la galleta
440 [4,55,56]. En general, se considera que harinas con valores de absorción de agua
441 alcalina altos son de mala calidad para la elaboración de productos de panadería ya que
442 se traducen en productos con menor diámetro [57].

443 Este parámetro sirve también como indicativo del grado de modificación de los
444 almidones por tratamientos termo-mecánicos [58].

445 *Poder de hinchamiento (PS) y Solubilidad en agua fría (ISA)*

446 Cuando se calienta una suspensión acuosa de almidón, los gránulos se hinchan
447 por una absorción progresiva de agua aumentando su tamaño, esta modificación de la
448 estructura resulta en general irreversible. Al incrementarse la temperatura, es decir la
449 energía, se provoca la ruptura de los puentes de hidrógeno que estabilizan la estructura
450 de las dobles hélices en las regiones cristalinas del gránulo y se produce la separación
451 de fragmentos de amilosa y de amilopectina. Esto facilita la formación de nuevos
452 puentes de hidrógeno con moléculas de agua, la cual pasa a formar parte de la
453 estructura intragranular provocando el hinchamiento de los gránulos y el consecuente
454 aumento de volumen de estos. Dado que no todos los gránulos gelatinizan
455 simultáneamente, pueden existir diferentes grados de hinchamiento y de
456 desorganización estructural. El poder de hinchamiento puede definirse como el máximo
457 incremento en volumen y peso durante el calentamiento que sufre el almidón y depende
458 de la fuerza y naturaleza de las fuerzas asociadas dentro de la red del gránulo de
459 almidón. Los factores que afectan las fuerzas asociativas incluyen: la proporción de
460 amilosa/amilopectina, peso molecular de las fracciones, grado de ramificación,
461 conformación, y la longitud de las ramas exteriores de la amilopectina. El poder de
462 hinchamiento de los almidones de cereales es más limitado que el que se observa para
463 los almidones de tubérculos [4,21].

464 La solubilidad en agua fría se encuentra relacionada con la estructura y grado de
465 ordenamiento del gránulo de almidón, es decir que indica el grado de asociación
466 existente o la fuerza de los enlaces intra-granulares entre amilosa y amilopectina. Si un
467 almidón muestra un alto poder de hinchamiento y alta solubilidad esto refleja la baja
468 fuerza de asociación en los gránulos. La solubilidad del almidón de mandioca es alta,
469 similar a la del almidón de papa mientras que en los almidones de cereales se reduce
470 debido a la presencia de lípidos [4,21,59,60].

Lic. Cazzaniga Amanda

471 *Actividad emulsificante y estabilidad de la emulsión*

472 Una emulsión se define como un sistema heterogéneo compuesto por dos fases
473 líquidas inmiscibles entre sí, donde una de ellas se encuentra dispersa en otra en forma
474 de gotas. Este sistema puede ser agua en aceite o aceite en agua. Las emulsiones son
475 sistemas termodinámicamente inestables, existen ciertas sustancias que favorecen la
476 formación y la estabilidad de una emulsión por lo que se las denomina emulsionantes o
477 estabilizantes. Por lo tanto, la capacidad emulsificante refleja la habilidad de una
478 sustancia para contribuir a la formación de una emulsión [53]. En este sentido, la
479 funcionalidad de un material amiláceo consiste en evitar mecanismos de inestabilidad
480 que conlleven a la separación de fases en una matriz alimenticia, debido a la ubicación
481 de sitios hidrofílicos y lipofílicos en la molécula del polímero [21].

482 *Absorción de aceite*

483 La capacidad de absorción de aceite expresa la cantidad máxima que puede ser
484 absorbida por gramo de material seco en presencia de un exceso de aceite y
485 posteriormente bajo la acción de una fuerza externa como centrifugación, agitación u
486 homogeneización. La capacidad de absorción de aceite es importante en la tecnología
487 de alimentos para productos congelados precocidos, productos cárnicos, sustitutos
488 cárnicos, sopas, frituras y en algunos alimentos a base de cereales, además pueden
489 mejorar el sabor y textura de los alimentos. La capacidad de absorción de aceite está
490 determinada por la estructura y la presencia de moléculas con regiones hidrofóbicas
491 [21,50].

492 *Concentración mínima de gelificación*

493 La gelificación ocurre cuando las proteínas y los almidones forman una red
494 tridimensional resistente a fluir cuando se aplica un esfuerzo. Esta red se forma, como
495 se explicó anteriormente, cuando mediante un calentamiento se provoca la ruptura de
496 los enlaces de puente hidrógeno generando el hinchamiento del gránulo, si luego se
497 aplica un enfriamiento a temperaturas de refrigeración se reduce nuevamente la
498 movilidad de las moléculas y esto propicia la formación de nuevos enlaces intra e
499 intermoleculares en los polímeros. Esto produce una reorganización de las moléculas,
500 es decir un gel. Esta propiedad determina la concentración mínima de harina requerida
501 para que una dispersión de harina forme un gel estable. Un valor bajo (2 a 4% p/p) indica
502 que el material tiene una mejor capacidad para formar gel [21,53].

503 *Estabilidad al descongelamiento*

504 La congelación modifica los atributos de calidad de las pastas de almidón.
505 Durante el enfriamiento, las moléculas de almidón gelificado se hacen menos solubles
506 y sufren retrogradación. La retrogradación se favorece por los largos tiempos de
507 almacenamiento y bajas temperaturas. Los efectos de la retrogradación incluyen
508 cuajado de salsas en deshielo, enranciamiento de productos cocidos, y la formación de
509 una película en la superficie del gel de almidón [21].

510 La sinéresis se calcula como la cantidad de líquido que se separa del gel al
511 descongelarse y centrifugarse, es decir, la expulsión de una parte del disolvente fuera
512 del gel que produce una caída de la viscosidad. Altos valores de retrogradación se
513 asocian con altos valores de sinéresis del gel, esto genera defectos de calidad en los
514 productos. Valores de sinéresis bajos indican una reducción de la retrogradación del
515 almidón después del enfriamiento, condición deseada en aquellos alimentos que serán
516 sometidos al congelamiento [4,53].

517 Se asocian mayores valores de sinéresis a almidones con una mayor proporción de
518 amilosa, ya que esta molécula permite la formación de muchos sitios de enlace entre
519 moléculas adjuntas que promueven la retrogradación, implicando la formación de geles
520 fuertes, opacos, y que sufren sinéresis [61]. La pasta de almidón nativo de mandioca ha
521 sido considerada resistente al proceso de congelación, lo que disminuye generalmente
522 la exudación de agua o sinéresis y el deterioro de la estructura de la pasta [4].

523 **Proceso de horneado**

524 Los productos horneados son populares y atractivos debido a sus características
525 nutricionales, sensoriales y de textura [39].

526 Las reacciones bioquímicas y fisicoquímicas que se producen en las masas durante el
527 horneado son muy complejas, incluyendo
528 horneado son muy complejas, incluyendo
529 desnaturalización de proteínas, pérdida de la
530 estructura granular del almidón, fundido de
531 grasas, reacciones de Maillard y
532 pardeamiento, expansión por la evaporación
533 de agua y expansión térmica de gases, como
534 puede observarse en la Figura 4. Todas estas reacciones simultaneas, dan lugar a

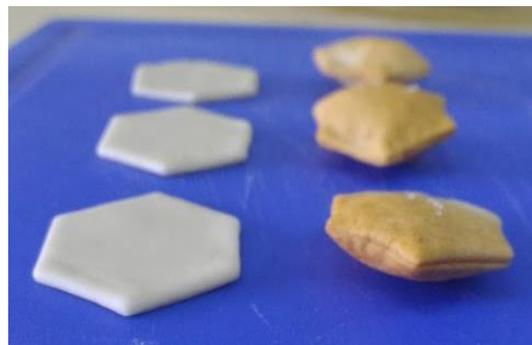


Figura 4 fotografía de los cambios producidos por el horneado

535 cambios organolépticos que determinaran la aceptación o no del producto final. La
536 expansión de los gases y la evaporación del agua, por ejemplo, permiten que ocurran
537 eventos relevantes para la formación de la textura como ser la formación de una
538 estructura porosa [13,62].

539 También la transformación del color se produce durante la etapa de horneado. Este
540 fenómeno se conoce ampliamente como pardeamiento y es el resultado de la reacción
541 de Maillard y la caramelización. La reacción de Maillard ocurre cuando los azúcares
542 reductores y los aminoácidos, las proteínas y / u otros compuestos que contienen
543 nitrógeno se calientan juntos. Por otro lado, la caramelización engloba un grupo
544 complejo de reacciones que ocurren debido al calentamiento directo de sacarosa y
545 azúcares reductores. La importancia del desarrollo del pardeamiento no solo está
546 relacionada con los aspectos sensoriales sino también con las propiedades
547 nutricionales. Desde este ángulo, la reacción de Maillard altera el contenido y la
548 biodisponibilidad de aminoácidos y proteínas, y puede estar relacionado con la
549 formación de compuestos nocivos como acrilamida e hidroximetilfurfural (HMF) [39].

550 *Curva de pérdida de agua*

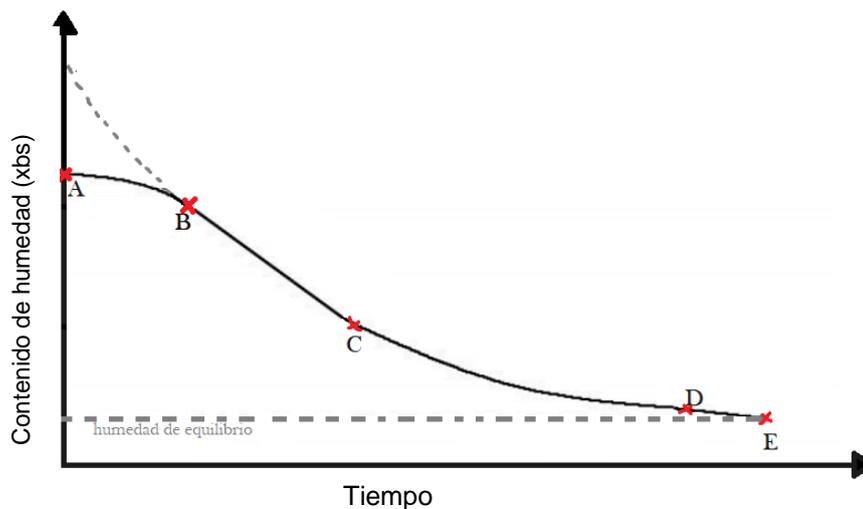
551 Sin duda, uno de los procesos más relevantes durante el horneado es la pérdida
552 de agua por evaporación cuyo estudio es complejo y aún se encuentra en debate en la
553 comunidad científica. A continuación, se explica el marco teórico más comúnmente
554 utilizado hasta el momento.

555 La pérdida de humedad de un material es un proceso que implica transferencia de masa
556 entre un gas y un sólido, donde el agua contenida en el sólido se transfiere por
557 evaporación hacia la fase gaseosa [63]. El modo en el que ocurre esta pérdida de agua
558 depende de distintas variables:

- 559 1- Temperatura: su aumento acelera la eliminación de agua.
- 560 2- Humedad relativa del aire: razón de la presión de vapor de agua presente con
561 respecto a la presión de vapor de saturación a esa temperatura
- 562 3- Humedad de equilibrio: es el equilibrio establecido entre la humedad del producto
563 y el vapor contenido en el agente de secado
- 564 4- Velocidad del aire: flujo de aire que permite facilitar la eliminación del agua
565 separando la humedad saliente del producto

566 5- Estructura del sólido: sólidos amorfos, fibrosos o en forma de gel, sólidos
567 granulares o cristalinos, porosidad, geometría etc. [64].

568 El comportamiento de los sólidos durante la pérdida de agua es medido como la pérdida
569 de humedad en función del tiempo. La velocidad de pérdida de agua, $-dX/dt$, puede ser
570 determinada en cualquier punto derivando la curva de X contra t (Figura 5).



571

Figura 5: curva típica de pérdida de humedad de alimentos

572 De la curva que se describe al evaluar el contenido de agua a lo largo del tiempo se
573 desprenden cuatro etapas del proceso de pérdida de humedad:

574 Etapa A-B: Es una **etapa de calentamiento** (o enfriamiento) inicial del sólido
575 normalmente de poca duración en la cual la evaporación no es significativa por su
576 intensidad ni por su cantidad.

577 Etapa B-C: Es el llamado **primer período de secado o período de velocidad de**
578 **pérdida de humedad constante**; donde se evapora el agua libre o no ligada del
579 material y predominan las condiciones externas. En este período el sólido tiene un
580 comportamiento no higroscópico. En este punto es donde se concentran los debates,
581 ya que la aparición de este periodo es bastante difícil de explicar, pues para que la
582 velocidad permanezca constante el agua tendría que cubrir completamente la superficie
583 del sólido y el periodo decreciente se iniciaría apenas apareciesen algunos puntos
584 secos.

585 Etapa C-D: Es el **segundo período de secado o período de velocidad de pérdida de**
586 **humedad decreciente lineal**; donde se evapora el agua ligada del material y
587 predominan las condiciones o las características internas y externas simultáneamente.
588 El punto D es donde finaliza el periodo de velocidad decreciente lineal. En este punto
589 de la curva, el agua de superficie del sólido está totalmente evaporada y la velocidad de
590 pérdida de agua dependerá de la difusión del agua a la superficie del sólido. Este punto
591 depende de la porosidad del sólido que se está secando.

592 Etapa D-E: **periodo de velocidad decreciente no lineal**: En esta etapa la evaporación
593 ocurre desde el interior del sólido y ocurre hasta que no existe pérdida de agua adicional.
594 Es decir que, la velocidad de pérdida de humedad pasa a ser controlada por el
595 movimiento interno de humedad. En general para los productos alimenticios, es el
596 periodo controlante, o sea el que conlleva más tiempo. En el punto E la velocidad del
597 pérdida de humedad es cero y comienza la humedad de equilibrio poniéndose el sólido
598 en equilibrio con su ambiente externo. La humedad de equilibrio se expresa en base
599 seca (X_{bs}) [65,66] .

600 Durante el proceso de pérdida de agua existen dos mecanismos para remover la
601 humedad:

602 1-Evaporación: ocurre cuando la presión de vapor en la superficie del sólido es
603 igual a la presión atmosférica. La pérdida de agua se debe al aumento de temperatura
604 hasta el punto de ebullición.

605 2-Vaporización: el proceso de pérdida de agua es llevado a cabo por convección,
606 pasando aire caliente sobre el producto. El aire es enfriado por el producto y el agua es
607 transferida hacia el aire. En este caso la presión de vapor de agua sobre el sólido es
608 menor que la presión atmosférica [65].

609 Conforme el alimento disminuye su humedad se establecen, en su interior, diferencias
610 de concentración. Como resultado de ello, se produce la transferencia de agua hacia la
611 superficie. El transporte de materia tiene lugar en sentido opuesto a la transmisión de
612 calor. La migración de agua en el interior del alimento puede estar sujeta a varios
613 mecanismos:

614 1- Movimiento por fuerzas capilares o capilaridad

615 2- Difusión de líquidos, Difusión de superficie y Difusión de vapor de agua [67]

616 *Difusividad efectiva y Energía de activación*

617 En muchas ocasiones resulta complicado distinguir entre ambos mecanismos de
618 migración de agua [67]. Sin embargo, el mecanismo de difusión es el que aparece más
619 frecuentemente en los productos alimenticios. Los modelos basados en este parámetro
620 comprenden procesos como el flujo capilar, difusión del líquido, la difusión del vapor y
621 la evaporación/condensación local, todos ellos se asocian en un único parámetro
622 llamado difusividad efectiva [64]. La energía de activación es la energía mínima
623 necesaria para que se produzca una reacción química, en este caso la difusión.

624 La transferencia de masa no estacionaria en el interior de un sólido está descrita por la
625 segunda ley de Fick: la velocidad de cambio de la composición de la muestra es igual al
626 coeficiente de difusión por la velocidad de cambio del gradiente de concentración. La
627 ecuación que permite hallar el coeficiente de difusión, siguiendo la ley de Fick, tiene una
628 serie de condiciones:

- 629 • La difusión tiene lugar en una sola dirección.
- 630 • El cambio de volumen es despreciable.
- 631 • El coeficiente de difusión es constante

632 Para hallar el coeficiente de difusión, la ecuación de Fick debe adaptarse a la geometría
633 del material en análisis [65]. Sin embargo, el coeficiente de difusión depende de la
634 temperatura, del contenido de agua, la porosidad y composición del material, por lo que
635 generalmente se tienen que determinar experimentalmente sus valores, ya que se hace
636 muy difícil su predicción [68]. Una vez hallado el valor del coeficiente de difusión es
637 posible calcular la humedad a diferentes tiempos de exposición no experimentados,
638 siempre que se mantengan las condiciones de tratamiento térmico.

639 *Otros modelos matemáticos para describir la pérdida de humedad*

640 El modelado de curvas de pérdida de humedad es necesario para evaluar el
641 efecto de los diferentes parámetros y optimizar el proceso, por ello, hay una gran
642 necesidad de modelos estables y fiables que puedan describir, cuantificar y predecir el
643 proceso de descenso de humedad mediante calentamiento [64]. El modelo de pérdida
644 de humedad teórico más utilizado ha sido un modelo de difusión, que puede derivarse
645 del modelo de Fick (segunda ley) [14]. Sin embargo, la aplicación de este modelo es
646 compleja cuando se utilizan materiales de forma irregular [69] o cuando no se cumplen
647 los supuestos subyacentes. Por ello, en los últimos años se han desarrollado numerosos
Lic. Cazzaniga Amanda

648 modelos empíricos o semi-teóricos que se derivan generalmente de la ley de
649 enfriamiento de Newton y la segunda ley de difusión de Fick [64]. Los modelos de
650 pérdida de agua basados en la teoría de difusión de líquidos han sido preferidos por los
651 investigadores en el área de secado de alimentos. Entre estos se encuentran los
652 modelos de Newton, Page, Page modificado, Henderson y Pabis modificado, Midilli et
653 al. Estos modelos semi-teóricos de pérdida de humedad permiten no sólo predecir el
654 mejor proceso, sino que también ofrecen herramientas para predecir las condiciones de
655 almacenamiento y empaque; además, ayudan a establecer el contenido final de
656 humedad de diferentes productos alimenticios y los requisitos del proceso de térmico
657 [63].

658 ***Actividad de agua, isothermas de sorción y desorción***

659 El agua, es el constituyente más abundante de los alimentos naturales, tiene
660 muchos papeles en el procesamiento de alimentos y, si bien la química es simple, el
661 impacto en las reacciones de los alimentos y la calidad de los alimentos es mayor que
662 cualquier otro componente químico. La actividad del agua, a_w , es la presión de vapor
663 del producto dividida por la presión de vapor del agua pura. Se considera como la
664 fracción del contenido de agua de un producto que está libre y disponible para el
665 crecimiento de microorganismos y el desarrollo de reacciones químicas que afectan la
666 estabilidad del material [70–72].

667 La humedad de equilibrio de un alimento en función de la humedad relativa del aire es
668 una información muy útil para los procesos de secado, preservación y
669 acondicionamiento de los materiales alimenticios porque permite predecir cambios en
670 las propiedades físicas, químicas y biológicas; además, facilita estructurar sistemas de
671 almacenamiento, rehidratación y determinar la estabilidad [63,71].

672 Esta relación entre la a_w y el contenido de agua en equilibrio a una temperatura constante
673 se denomina isoterma de sorción de agua, que hace referencia a procesos de adsorción
674 (hidratación o rehidratación) o de desorción (deshidratación). La isoterma de sorción
675 tiene su aplicación en el análisis y diseño de varios procesos como el secado, mezclado,
676 envasado de alimentos y condiciones óptimas de almacenamiento y predicción de la
677 vida útil [71].

678 Existen muchos métodos disponibles para determinar las isothermas de adsorción de
679 agua. Estos métodos pueden clasificarse en tres categorías: gravimétrico;

680 manométrico; higrométrico. El método gravimétrico más ampliamente utilizado: implica
681 la medición de los cambios en la masa. Los cambios de masa se pueden determinar de
682 manera continua y discontinua en sistemas dinámicos o estáticos (es decir, el aire puede
683 circular o estancarse). Los métodos continuos emplean el uso de balanzas electro-
684 balanzas o balanzas de cuarzo. En los sistemas discontinuos, las soluciones de sales o
685 ácido sulfúrico se colocan en sistemas de vacío o atmosféricos con el material
686 alimenticio, para dar una medida de la humedad relativa de equilibrio [71,72].

687 Sobre la base de la adsorción de gases de van der Waals en varios sustratos sólidos se
688 clasifican las isothermas de sorción en cinco tipos generales los cuales se pueden
689 observar en la Figura 6. Las isothermas de sorción de humedad de la mayoría de los
690 alimentos son no lineales, generalmente de forma sigmoidea [72].

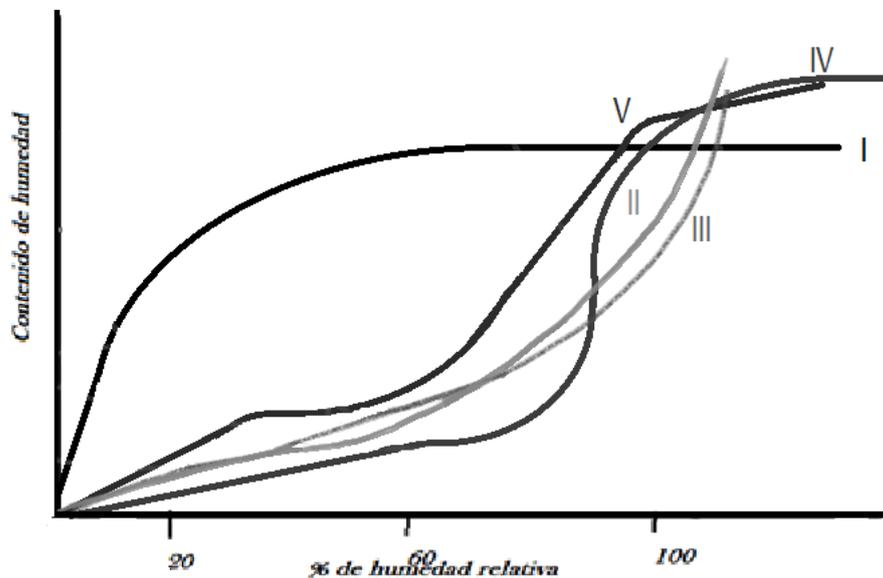
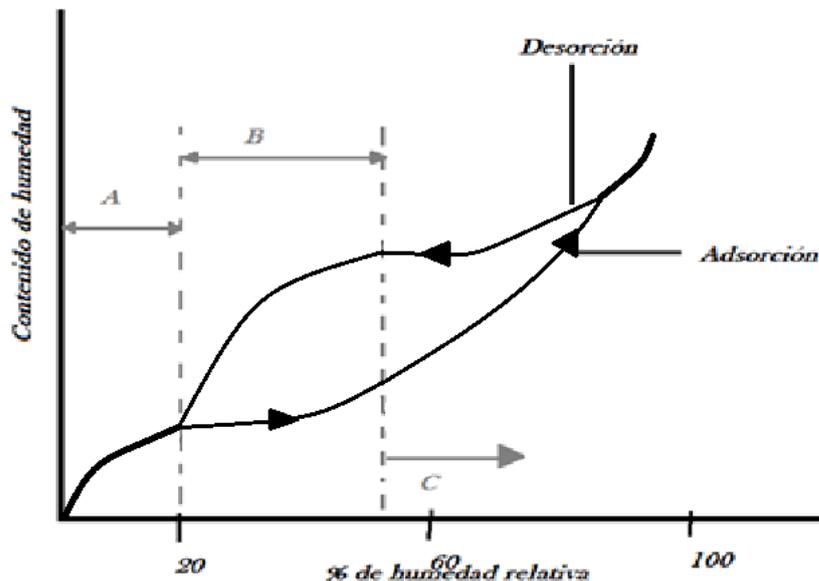


Figura 6 Grafica representativa de los diferentes tipos de isothermas

691 Para fines de interpretación, la isoterma de sorción de agua generalizada para un
692 sistema alimentario hipotético se puede dividir en tres regiones principales (Figura 7).
693 La región A representa agua fuertemente unida con una entalpia de vaporización
694 considerablemente más alta que la del agua pura. La región B, representa moléculas de
695 agua que están menos conectadas, inicialmente como multicapas por encima de la
696 monocapa. En esta región, el agua se mantiene en la matriz sólida por condensación
697 capilar. Esta agua está disponible como disolvente para solutos de bajo peso molecular
698 y para algunas reacciones bioquímicas. En la región C o superior, el exceso de agua

699 está presente en los macro capilares o como parte de la fase fluida en materiales de alta
700 humedad [72].



701

Figura 7 Grafica representativa de las diferentes partes de las isotermas de sorción y desorción

702 Los procesos de adsorción y desorción no son completamente reversibles en algunos
703 materiales, por lo tanto, se puede hacer una distinción entre las isotermas de adsorción
704 y desorción, determinando si los niveles de humedad dentro del producto están
705 aumentando, indicando humectación o si la humedad disminuye gradualmente para
706 alcanzar el equilibrio con su entorno, lo que implica que el producto se está secando. Es
707 debido a ello que se produce la histéresis de sorción de agua que es el fenómeno por
708 el cual existen dos caminos diferentes entre las isotermas de adsorción y desorción [63].

709 El efecto de la temperatura en la isoterma de sorción es de gran importancia dado que
710 los alimentos están expuestos a un rango de temperaturas durante el almacenamiento
711 y el procesamiento y la actividad del agua cambia con la temperatura. La temperatura
712 afecta la movilidad de las moléculas de agua y el equilibrio dinámico entre el vapor y las
713 fases adsorbidas. En general, los investigadores han descubierto que, si la actividad del
714 agua se mantiene constante, un aumento de la temperatura provoca una disminución
715 en la cantidad de agua sorbida. Sin embargo, algunos azúcares (glucosa) y otros
716 constituyentes de alimentos de bajo peso molecular (sal) han demostrado una
717 desviación de este comportamiento, que se vuelven más higroscópicos a temperaturas
718 más altas debido a su capacidad para disolverse en agua [72].

719 En la actualidad las teorías de la estructura de sólidos y de los fenómenos superficiales
720 no permiten predecir la variación del contenido de agua de equilibrio de diversos
721 materiales con base en los principios fundamentales. No obstante, se ha intentado
722 correlacionar los datos experimentales mediante modelos matemáticos los cuales
723 proporcionan resultados satisfactorios en ciertos rangos de actividad de agua y ciertos
724 tipos de alimentos; debido a las limitaciones que ofrecen estos modelos, se hace
725 necesario determinar los contenidos de humedad de equilibrio por vía experimental, bien
726 sea empleando el método dinámico o el método estático [63]. Por ello, si bien, algunos
727 de estos modelos se han desarrollado con una base teórica para describir los
728 mecanismos de sorción (modelos de Guggenheim, Anderson y Boer (GAB) y Brunauer–
729 Emmett–Teller (BET)) la mayoría de ellos son empíricos o semi empíricos [73,74]. En el
730 caso de los modelos de GAB y BET, las ecuaciones predicen el contenido de humedad
731 de la monocapa en una de sus constantes (X_0) y por ello son consideradas como más
732 útiles para determinar las condiciones óptimas de humedad y por ende asegurar la
733 estabilidad durante el almacenamiento. Esto se debe a que el valor de la monocapa (X_0 ,
734 g agua/g masa seca) es considerado como el valor en el cual el alimento es estable
735 durante el almacenamiento ya que este valor corresponde a el agua que se encuentra
736 fuertemente ligada a los sitios activos de la fase sólida absorbente. Esta monocapa de
737 agua tiene una solubilidad reducida para otros compuestos, provoca una reducción en
738 la difusión de solutos solubles en agua en el absorbente y muestra una disminución en
739 el coeficiente de difusión con un contenido de humedad decreciente. La disminución de
740 la velocidad de difusión impide los procesos de secado debido a una difusión más lenta
741 del agua hacia la superficie [71,72].

742 La determinación de las isotermas de sorción a diferentes temperaturas proporciona
743 información sobre las propiedades termodinámicas del sistema alimento-vapor de agua
744 que influye en los procesos de hidratación-deshidratación. El calor isostérico de sorción
745 (Q_{st}) o entalpía, es una propiedad termodinámica que indica la fuerza de enlace entre
746 las moléculas de agua y la superficie del sustrato del alimento. Este parámetro es mayor
747 al calor latente de vaporización del agua pura a una temperatura dada. El Q_{st} en los
748 procesos de deshidratación representa la energía requerida para romper las fuerzas de
749 enlace entre las moléculas de vapor de agua y la superficie del adsorbente, y en los
750 procesos de rehidratación corresponde a la energía necesaria para que se produzca la
751 unión entre ambos. En otras palabras, el Q_{st} es una medida de la estabilidad de los
752 alimentos a condiciones determinadas de almacenamiento [71].

753 **Análisis instrumental de la textura de los alimentos**

754 La textura se define como la manifestación sensorial y funcional de la propiedad
755 estructural, mecánica y de superficie de los alimentos detectada a través de los sentidos
756 de la vista, oído, tacto y sinestésico [75]. La textura es uno de los atributos primarios
757 que junto con el color, sabor y olor conforman la calidad sensorial de los alimentos. Es
758 la característica de calidad más apreciada por el consumidor [76,77].

759 Algunos parámetros sensoriales, especialmente los mecánicos, parecen ser bastante
760 sencillos de evaluar. Por ejemplo, dureza / firmeza están en una escala de resistencia
761 del alimento a las fuerzas de compresión aplicadas. Sin embargo, todavía no se sabe
762 con exactitud cómo el ser humano reacciona al estrés físico o al esfuerzo, y cómo
763 simular con instrumentos los altos índices de deformación experimentados en la boca,
764 una consideración muy importante con los materiales viscoelásticos. También es
765 importante que aún no se sabe en qué parte de la escala instrumental están los límites
766 entre lo duro y lo firme y lo blando, esto es debido a que todas estas propiedades
767 relacionadas a la textura son subjetivas ya que no solo dependen de las características
768 reológicas/ texturales/ mecánicas del producto sino también del consumidor que
769 identifica las sensaciones percibidas al interactuar con el alimento [75,76,78].

770 La textura o propiedades reológicas (propiedades de deformación y flujo) de las masas
771 dependen principalmente de sus componentes y su interacción. Estas propiedades son
772 relevantes debido a que están relacionadas con la facilidad en el manejo durante la
773 elaboración, la capacidad de desarrollo durante la fermentación y son limitantes en la
774 expansión de los gases durante el horneado. Asimismo, el estudio de la reología durante
775 el desarrollo de nuevos productos tiene un rol importante en la determinación de la
776 funcionalidad de los ingredientes [62,79]. Las propiedades reológicas de las masas de
777 harina de trigo han sido bien descritas, pero existe significativamente menos
778 información publicada sobre las características reológicas de masas libres de gluten o
779 con menor contenido de gluten que en su mayoría varían en consistencia desde una
780 pasta blanda (batter) a una masa. La ausencia de gluten en las masas muestra
781 influencias significativas en la reología, en el proceso de producción y en la calidad final
782 de los productos libres de gluten. Por lo general las masas libres de gluten son menos
783 viscosas, menos cohesivas y menos elásticas que las masas de trigo [79,80].

784 En cuanto a los snacks, existen diversos atributos de calidad específicos que atraen a
785 los consumidores, entre ellos, la textura es uno de los más importantes. La textura

Lic. Cazzaniga Amanda

786 crocante se asocia con una caída rápida de la fuerza aplicada durante el proceso de
787 masticación que, a su vez, se basa en la propagación de la fractura en materiales
788 quebradizos. Cuando se aplica fuerza a los alimentos quebradizos se produce la ruptura
789 de la estructura celular y, en consonancia con alguna deformación, se genera un sonido
790 típico que contribuye a la sensación de un producto fresco. Los materiales crocantes
791 generalmente producen una curva de fuerza-deformación irregular producto de sus
792 propiedades estructurales [77,81]. Para la determinación instrumental de la crocancia
793 de productos porosos frágiles con forma irregular se realiza generalmente el registro de
794 curvas de compresión de fuerza, realizadas en muestras individuales, en partículas en
795 capas o a granel [70].

796 Existen una variedad muy amplia de ensayos que se pueden realizar para la
797 determinación de la textura de los alimentos. La elección del ensayo a realizar
798 dependerá de las características del alimento, su tamaño, estructura, viscosidad, etc. Y
799 de los parámetros que se desean evaluar. A continuación, se presenta una breve
800 explicación de los ensayos llevados a cabo a lo largo de esta investigación.

801 *Compresión*

802 La compresión (Figura 8) es el método más común para
803 determinar la textura de los alimentos, y se ha aplicado en
804 bocadillos, alimentos semisólidos como geles, masas, etc.
805 Durante el ensayo, la muestra se deforma y la extensión de la
806 deformación y / o la resistencia ofrecida por la muestra se registra
807 y se usa como un índice de la textura del alimento. De esta
808 manera, una vez que la sonda detecta la superficie de la muestra
809 se inicia la prueba de compresión, en la cual se mide la fuerza
810 necesaria para comprimir la muestra a una distancia determinada
811 o porcentaje de deformación.

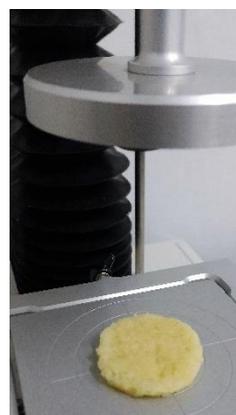


Figura: 8 prueba de compresión

812 Es deseable obtener una buena resolución durante las pruebas, particularmente para
813 alimentos firmes más que para alimentos blandos, ya que el cambio de altura debido a
814 la aplicación de fuerza para alimentos firmes es mucho menor que los alimentos blandos
815 [77].

843 *Extensibilidad*

844 Las pruebas de tracción no se usan
845 ampliamente con los alimentos, lo cual es
846 comprensible porque generalmente el proceso
847 de masticación implica la compresión, no la
848 tensión, de los alimentos entre los molares. Sin
849 embargo, resultan de utilidad para ver que
850 resistencia a la tracción presentarán alimentos
851 que deban ser tratados mecánicamente durante su producción como por ejemplo las
852 masas. Durante el ensayo de extensibilidad (Figura 10) una lámina de masa fijada a la
853 base es extendida mediante un embolo esférico.

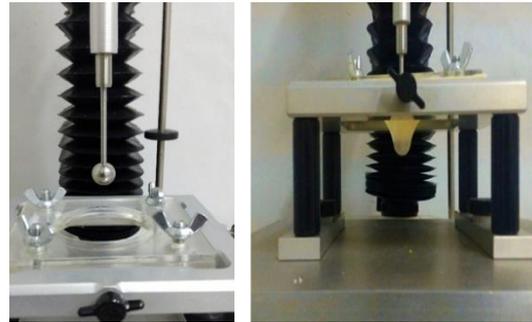


Figura 10 ensayo de extensibilidad

854 *Extrusión*

855 La prueba de compresión y extrusión (Figura 11)
856 consiste en aplicar fuerza a un alimento hasta que fluye a
857 través de una salida (o número de salidas) que puede tener
858 la forma de una o más ranuras u orificios que se encuentran
859 en la celda de prueba. La muestra se comprime hasta que la
860 estructura se rompe y fluye a través de estas salidas. El
861 patrón de fuerzas involucrado en tal prueba es complejo.
862 Generalmente, la fuerza máxima requerida para lograr la
863 extrusión se mide y se usa como un índice de calidad de
864 textura. Durante el ensayo, la muestra se deforma y se
865 comprime cada vez más en el espacio decreciente disponible
866 debajo del émbolo descendente. A medida que la muestra se comprime, la fuerza
867 aumenta hasta que finalmente la muestra comienza a fluir a través del orificio de
868 extrusión. Este proceso continúa hasta que el émbolo de compresión comienza a volver
869 a la posición original y la fuerza cae a cero. La forma y la magnitud de la curva de
870 compresión-extrusión están influenciadas por la elasticidad, la visco-elasticidad, la
871 viscosidad y el comportamiento de ruptura del material; Además influyen también el
872 tamaño/ volumen de la muestra, tasa de deformación, temperatura de la muestra, tipo
873 de celda de prueba, la relaciones entre el tamaño de la muestra y el tamaño de sonda y
874 la homogeneidad de la muestra [84].

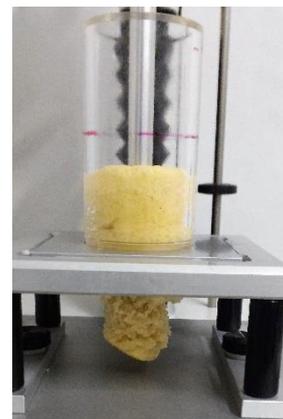


Figura 11 8ensayo de extrusión directa

875 *Ensayo de flexión de tres puntos (Three-Point Bend)*



Figura 92 ensayo Three point bend (TPB)

El método de flexión de tres puntos (Figura 12) también se utiliza para evaluar la dureza y fracturabilidad de los productos. El lento movimiento de la viga superior provoca la deformación del producto antes de romperse. La muestra descansa sobre dos vigas de soporte y una tercera se mueve hacia abajo para "romper" la muestra entre y paralelamente a las otras dos vigas. Este método es ideal para alimentos en forma de barra u hoja y de tamaño y forma uniformes. El grosor de la muestra es importante porque la fuerza de rotura es proporcional al cuadrado del grosor o al cubo del diámetro [85].

886 *Punción*

887 En una prueba de penetración o punción se hace que la sonda penetre en la
888 muestra y la fuerza necesaria para lograr una cierta profundidad de penetración o la
889 profundidad de penetración en un tiempo específico, en condiciones definidas, se mide
890 y se usa como un índice de dureza [85].

891 Muchos investigadores de alimentos han realizado pruebas de punción para evaluar
892 mecánicamente la textura. Durante estas pruebas, se observan varias reducciones de
893 fuerza repentinas en la curva de fuerza, que corresponde principalmente a fracturas
894 localizadas en el alimento. Por tanto, el número de reducciones de fuerza depende de
895 las características de los poros y las paredes de los alimentos. Además, el número varía
896 notablemente con el contenido de agua de los alimentos y está estrechamente
897 relacionado con los atributos sensoriales. Por lo tanto, el número de reducciones de
898 fuerza es un índice útil de la textura y brinda información sobre la estructura. Sin
899 embargo, depende de varios factores, por lo que su interpretación no es sencilla [86].

900 La fuerza de los snacks varía debido a la presencia de poros. La fuerza de penetración
901 requerida es débil cuando la punta del émbolo está sobre los poros y es fuerte cuando
902 la punta del émbolo está en contacto con la pared de los poros. Cuando la pared se
903 fractura por la fuerza aplicada por la punta del émbolo, se observa una reducción
904 repentina de la fuerza. Sin embargo, el intervalo de reducción de la fuerza no es
905 atribuible solo a la porosidad del alimento; la rugosidad en el área de contacto afecta el
906 historial de tiempo de la fuerza. Además, Las reducciones de fuerza durante las pruebas

907 de punción ocurren rápidamente; esto hace que las curvas de fuerza-distancia
908 observadas difieran según la velocidad del émbolo [86].

909 ***Textura auditiva***

910 La textura auditiva es en gran medida sinónimo de crujiente, crocante o
911 crepitación de alimentos, esto se debe a que la emisión acústica en forma de ondas que
912 se genera durante la masticación de los alimentos es un importante atributo relacionado
913 a la textura/estructura de los alimentos. A su vez, estos atributos que caracterizan a los
914 alimentos como crujientes o crocantes son considerados como signos de frescura y
915 conveniencia de procesamiento, y su falta sugiere baja calidad; siendo, al menos
916 parcialmente, responsable de la no aceptación del producto por los consumidores
917 [87,88].

918 La heterogeneidad micro y macroscópica de los materiales es producto de defectos
919 estructurales, poros, impurezas, tensiones internas, etc. La aplicación de estímulos
920 externos (como una fuerza externa) sobre este tipo de materiales perturba el estado de
921 equilibrio generando la aparición de vibraciones de las partículas. Estas vibraciones se
922 activan, permanecen y se propagan a través del medio, incluso después de la
923 desaparición de dicho estímulo. La reacción extendida se debe a las propiedades
924 elásticas y de inercia de los materiales [87].

925 La perturbación del equilibrio que ha aparecido en el tiempo inicial (t_0), en un cierto punto
926 de un cuerpo, escalona hasta cubrir todo el cuerpo después de un periodo de tiempo
927 suficiente. Este efecto se debe a que cada partícula del material interactúa con sus
928 vecinos y pasa una parte de su energía cinética a ellos. Este fenómeno se denomina
929 propagación de la onda. Esta propagación conduce a la liberación de los procesos de
930 deformación locales provocando la disipación de la energía. La mayor parte de esta
931 energía emergente es convertida en trabajo o calor, y una porción relativamente
932 pequeña es irradiada en forma de ondas elásticas. Las ondas resultantes se propagan
933 a través del material y llegan a la superficie exterior y a su vez son transmitidas al fluido
934 o sólido que contiene al material (por ej. aire, saliva, tejido óseo, tejidos blandos, etc.).
935 Las ondas luego pueden ser captadas mediante un sensor de ondas elásticas tal como
936 el oído o un micrófono. Las ondas elásticas se producen en un amplio rango de
937 frecuencias, sin embargo, el rango audible por el ser humano es de 16 a 16000Hz
938 [87,88].

939 Los alimentos húmedos y crujientes, como frutas y verduras frescas, están compuestos
940 de células vivas turgentes (si hay suficiente agua disponible). Cuando la estructura se
941 destruye, al romperse o masticarse, las células explotan y esto produce ruido, la
942 cantidad de ruido producido es menor cuando la tensión superficial del líquido es alta.
943 En alimentos secos y crocantes como los snacks, cuando el contenido de agua
944 aumenta, disminuye la percepción de la crocancia. Estos productos tienen celdas de
945 aire o cavidades rodeadas por celdas frágiles (poros). Cuando estas paredes se rompen,
946 las paredes restantes y los fragmentos vuelven a su forma original, al retroceder se
947 producen vibraciones que generan ondas elásticas. Cuando aumenta el contenido de
948 humedad de los alimentos secos y crocantes, es menos probable que las paredes
949 retrocedan y la cantidad de sonido generado resulta menor. Es así que existe consenso
950 sobre que el mecanismo de producción de sonido difiere entre alimentos crujientes
951 húmedos y crocantes secos [88].

952 Aunque el análisis sensorial da una descripción más completa de las emisiones
953 acústicas ha existido un gran interés en el desarrollo de técnicas instrumentales debido
954 a ciertas ventajas en la aplicación industrial. Los sonidos generados por los alimentos
955 sometidos a fractura o trituración instrumental son relativamente débiles. Además, el
956 micrófono registra no solo el sonido emitido por el alimento si no también sonidos
957 provenientes de diversas fuentes en el entorno (movimiento de aire, eco, instrumentos
958 en movimiento, etc.). Es por ello por lo que la forma de la señal que se registre difiere
959 de las condiciones reales de la percepción humana [87]. Por lo tanto, estas medidas
960 acústicas también se han combinado con medidas de fuerza-deformación para predecir
961 las sensaciones de crocante y crujiente. Se ha descubierto que la combinación de
962 técnicas acústicas y mecánicas describe de manera más adecuada los sonidos de los
963 alimentos que cualquiera de las técnicas por sí solas [88].

964 ***Métodos estadísticos y modelado matemático***

965 *Estadística descriptiva*

966 La estadística descriptiva es la rama de la estadística que formula
967 recomendaciones de cómo resumir, de forma ordenada, clara y sencilla conjuntos de
968 datos pertenecientes a un conjunto de variables. Estas variables pueden ser
969 cuantitativas o cualitativas (categóricas). Las primeras se definen por la existencia de
970 una unidad de medición, que puede ser contable (unidades enteras), medible o
971 ponderada por algún atributo físico con algún instrumento. Las variables cualitativas se

Lic. Cazzaniga Amanda

972 caracterizan por clasificar a los individuos o fenómenos solo con relación a sus atributos
973 [89].

974 *Promedio o media aritmética:*

975 Se obtiene mediante la suma de todos los valores dividido el número total de
976 valores; Es un valor que representa el punto de equilibrio de la distribución de los datos
977 [89]. El promedio se suele representar mediante el símbolo \bar{x} .

978 *Desvío estándar:*

979 Es una medida de dispersión o desviación típica (σ) que permite entender cómo
980 se alejan los datos del promedio y su distribución dentro de los límites medidos. Un
981 intervalo de confianza se estima de la siguiente manera: $\bar{x} \pm (k * \sigma)$, donde k es el número
982 de veces que σ se aleja de \bar{x} .

983 Por acuerdo internacional, el intervalo de confianza se debe de cuantificar
984 uniformemente o de manera estándar (de ahí el término desviación estándar), con un
985 valor de $k= 1.96$, esto es: $\pm (1.9 \sigma)$, que genera un intervalo al 95%. Este acuerdo es
986 considerado en todos los softwares de aplicación estadística. [89,90]

987 *Coefficiente de variación*

988 El coeficiente de variación de Pearson es una medida de dispersión de amplia
989 utilización cuando se pretende comparar la dispersión entre varias poblaciones, de una
990 o diferentes variables. Se define como la relación que se establece entre la desviación
991 estándar y la media aritmética de la variable, esto lo hace un coeficiente adimensional.
992 Es preciso tener en cuenta que la desviación estándar es invariante ante la relación
993 suma, no así la media; de otro modo, si a cada valor de una la muestra se le suma una
994 constante k, la muestra resultante conserva su desviación estándar; y su media se
995 afecta en k-unidades; por tanto, su coeficiente de variación será diferente al de la
996 muestra inicial [91].

997 *Distribución de los datos*

998 Antes de proceder a calcular cualquiera de las medidas descritas, es necesario
 999 que primero se establezca la distribución de los datos que se están analizando. Para
 1000 fines prácticos, para los datos cuantitativos se debe establecer si tienen una distribución
 1001 normal o gaussiana (es decir, que se asemeje a la curva de distribución normal o curva
 1002 de Gauss – Figura 13). La prueba
 1003 Kolmogórov-Smirnov es una de las
 1004 pruebas estadísticas para determinar
 1005 si la distribución de un grupo de datos
 1006 es normal. Pero también se aplican la
 1007 prueba chi-cuadrado que tabula los
 1008 datos y compara el número de
 1009 observaciones en cada intervalo al
 1010 esperado si los datos provinieran de una distribución normal y la prueba de Shapiro-
 1011 Wilks que examina que tan cerca caen los puntos a lo largo de una línea en un gráfico
 1012 normal de probabilidad [89].

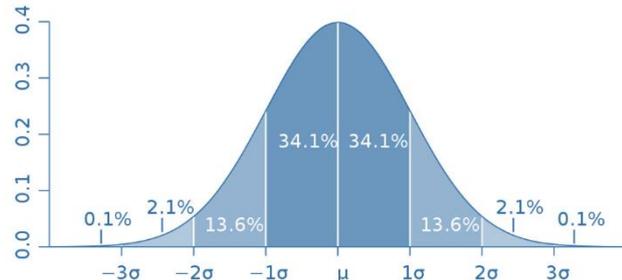


Figura 13 Gráfica de distribución normal.
<https://creativecommons.org/licenses/by/2.0/>

1013 Si se determina que la distribución de los datos es normal, entonces los resultados
 1014 solamente se pueden indicar con dos estimadores: media y desviación estándar. En una
 1015 distribución normal, 95% de los datos estudiados se encuentra dentro de ± 2
 1016 desviaciones estándar a partir de la media. Cuando la distribución no es normal, resulta
 1017 más informativo mostrar los valores percentiles o los cuartiles [89].

1018 *Valores atípicos (outlier)*

1019 Un valor atípico es aquel que no se presenta en la misma distribución que el
 1020 resto de la muestra. Se pueden determinar tanto por métodos gráficos como por
 1021 métodos estadísticos formales.

1022 Uno de los métodos gráficos es la gráfica de aberrantes la cual muestra cada valor de
 1023 los datos junto con líneas horizontales que representan la media muestral y
 1024 desviaciones estándar en ± 1 , 2, 3 y 4. Datos que se encuentren fuera del rango $\pm 3\sigma$ se
 1025 consideran atípicos.

1026 Uno de los métodos estadísticos formales es la prueba de Grubbs o prueba de la
 1027 desviación estudentizada extrema (ESD) aplicable a datos de distribución normal. El
 1028 valor estadístico de prueba (T) se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación (1)

1029

1030

$$T = \sqrt{\frac{n(n-2)t_{max}^2}{(n-1)^2 - nt_{max}^2}} \quad (1)$$

1032

1033

1034 Se obtiene un valor aproximado de P de dos colas calculando la probabilidad de exceder
1035 T basada en una distribución t de Student con n - 2 grados de libertad y multiplicando el
1036 resultado por 2n. Un pequeño valor de P lleva a la conclusión de que ese punto más
1037 extremo es de hecho un valor atípico [92].

1038 ANOVA

1039 El primer paso cuando se comparan varias muestras es llevar a cabo un análisis
1040 de la varianza simple (ANOVA). El análisis ANOVA se utiliza para contrastar la hipótesis
1041 de igualdad de medias poblacionales eligiendo entre las dos hipótesis siguientes:

1042 Hipótesis nula: $\bar{x}_A = \bar{x}_B = \bar{x}_C = \bar{x}_D$

1043 Donde \bar{x}_j representa la media de la población de la cual hemos tomado la muestra j-ésima

1044 Hipótesis alternativa: Las medias no son iguales

1045 El rechazo de la hipótesis nula indicará que las muestras provienen de poblaciones con
1046 medias diferentes.

1047 El análisis de la varianza descompone la variabilidad de los datos observados en dos
1048 componentes: una componente entre grupos, que cuantifica las diferencias entre los
1049 datos agrupados mediante las variables independientes o categóricas. y una
1050 componente dentro de grupos, que cuantifica las diferencias entre los datos dentro de
1051 una variable independiente. Si se estima la variabilidad entre grupos y resulta
1052 significativamente mayor que la variabilidad dentro de grupos se concluye que las
1053 medias de los grupos son diferentes. Para ello, El valor clave es el P-valor. P-valores
1054 pequeños (menores que 0.05 operando al 5% de nivel de significación) llevan al rechazo
1055 de la hipótesis de igualdad de medias [92].

1056 Sin embargo, este análisis se basa en supuestos que deben cumplirse, estos son:

Lic. Cazzaniga Amanda

1057 1. Las poblaciones de cada factor presentan una distribución normal o
1058 gaussiana.

1059 2. Todas las muestras sobre las que se aplican los tratamientos son
1060 independientes. La independencia de los tratamientos que se dan a las variables se
1061 constata mediante el diseño experimental.

1062 3. Las poblaciones tienen todas igual varianza (homoscedasticidad). El supuesto
1063 más importante, debido a la sensibilidad que presenta la prueba ANOVA a la falta de
1064 este requisito. La prueba de "Levene" nos indica si existe o no homogeneidad de
1065 varianzas. En caso de que no se pueda admitir la homogeneidad de varianzas se puede
1066 recurrir a otros métodos, como la prueba de Welch (permutación de ANOVA) que
1067 permite la comparación de variables con varianzas no homogéneas [93,94].

1068 Si la hipótesis de igualdad de medias es rechazada por la prueba ANOVA, debe
1069 examinarse que medias son significativamente diferentes entre sí. Para ello se utilizan
1070 las pruebas para la determinación de grupos homogéneos.

1071 *Determinación de grupos homogéneos*

1072 Las pruebas estadísticas para comparaciones múltiples más frecuentemente
1073 utilizadas se basan en la distribución t de Student, es decir en la comprobación de
1074 hipótesis. Entre estas pruebas el método más utilizado es el LSD de Fisher (Least
1075 Significant Difference). En este método se plantean hipótesis sobre la igualdad de
1076 medias entre pares de muestras. Su limitación radica en que presenta un exceso en el
1077 rechazo de hipótesis nula ($H_0: \bar{x}_1 = \bar{x}_2$) cuando el número de grupos a comparar es
1078 elevado. Este método es el que presenta más diferencias significativas, sin embargo,
1079 existen otros métodos más conservadores como el método de Duncan o el método de
1080 Tukey (HSD), estos métodos se basan en una distribución del rango estudentizada
1081 Estos métodos se pueden utilizar siempre y cuando se cumplan los supuestos que
1082 subyacen a la prueba de ANOVA [95,96].

1083 En el caso de que no se cumpla la homoscedasticidad, existen otros métodos estadísticos
1084 aplicables como el método de Games-Howell. Es una prueba t que utiliza el grado de
1085 libertad de Welch. Este método utiliza una estrategia para controlar el error de tipo I para
1086 toda la comparación y se sabe que mantiene el nivel de significancia preestablecido
1087 incluso cuando el tamaño de la muestra es diferente [96].

1088 *Coeficiente de correlación de Pearson*

1089 Los términos relación o asociación son equivalentes y se usan para designar la
1090 covariación entre al menos dos variables. Dentro de las asociaciones de variables, la
1091 correlación lineal es un caso particular en el que tal correspondencia tiene
1092 características bien definidas. De este modo, cuando se precisa conocer si los valores
1093 de una variable cambian consistentemente conforme a los de la otra o si, por el contrario,
1094 no hay ningún patrón que las asocie, se utiliza un fenómeno estadístico denominado
1095 covarianza. Sin embargo, dicha covarianza precisa que ambas variables cuantitativas
1096 se encuentren expresadas en las mismas unidades. Por esta dificultad al momento de
1097 la aplicación, se desarrolló el coeficiente de correlación. Este coeficiente de correlación
1098 presentado por Pearson utiliza las sumas de cuadrados corregidas para las dos
1099 variables estudiadas y el producto cruzado de las mismas permitiendo señalar la
1100 dirección de la asociación lineal entre las variables y construir un indicador de la fuerza
1101 con que estas se vinculan. Se ha establecido con suficiencia en la teoría estadística,
1102 que factores como el tamaño muestral, la falta de linealidad o la variabilidad en las
1103 características de interés pueden alterar considerablemente la magnitud de esta
1104 medida. Es fundamental distinguir que lo que mide el coeficiente de Pearson es la fuerza
1105 y la dirección de la relación lineal entre las variables. La ausencia de relación lineal entre
1106 las variables de interés no constituye una prueba de independencia entre variables, así
1107 como una asociación con un índice cercano a la unidad no indica causalidad de ningún
1108 tipo. Este coeficiente presenta propiedades tales como la adimensionalidad, un rango
1109 definido entre 1 y -1, relación lineal, simetría e independencia respecto al origen y la
1110 escala. A su vez presenta algunos supuestos subyacentes como que ambas variables
1111 deben ser de intervalo o de razón, aunque no es necesario que ambas tengan el mismo
1112 nivel de medición, deben existir datos para ambas variables y estos datos deben
1113 presentar una distribución normal y no deben contener datos atípicos. Además, los datos
1114 de las variables deben presentar independencia entre grupos y dentro del grupo [97].

DESARROLLO DE PRODUCTOS CRACKERS HORNEADOS A PARTIR DE PURÉ DESHIDRATADO DE MANDIOCA.

CAPITULO 3

MATERIALES Y MÉTODOS

1 **DESARROLLO DE PRODUCTOS CRACKERS HORNEADOS A**
2 **PARTIR DE PURÉ DESHIDRATADO DE MANDIOCA.**

3

4

5

6

7

8

Materiales

9

10

11

12 Materias Primas: Se utilizó harina de trigo tipo 0000 marca Reinharina y Puré de
13 Mandioca Deshidratado (PDM) marca Aldema. Ambos fueron adquiridos en el mercado
14 local (Argentina). El envase de PDM declara lo detallado en la Tabla 3. Los ingredientes
15 declarados son Mandioca, bisulfito de sodio (conservante) y monoestearato de glicerol
16 (emulsionante).

17 *Tabla 3 Información nutricional del Puré Deshidratado de Mandioca*

Energía (Kcal)	600	18
Proteínas (g)	1,17	19
Hidratos de Carbono (g)	88,33	20
Fibra (g)	1,67	21
Colesterol (mg)	0	
		22

23 Se trabajó con 4 niveles de sustitución de harina de trigo por PDM: 0, 50, 75 y 100% de
24 sustitución (Figura 14)



Figura 14 muestras de harina con distintos niveles de sustitución

25 Elaboración de las masas: Los ingredientes utilizados para la elaboración de
26 masas y sus proporciones se encuentran en la Tabla 4. Todas las masas tenían una
27 cantidad idéntica de sal (NaCl), azúcar y aceite de girasol (0,2, 0,3 y 4,5% del peso de
28 la masa, respectivamente). Mediante las cantidades de harina de trigo y PDM detalladas
29 en la muestra, se pretende que, la mezcla de la muestra A contenga 0 % p/p de PDM,
30 la de la muestra B 50 % p/p, y las muestras C y D 75 y 100 % p/p respectivamente.

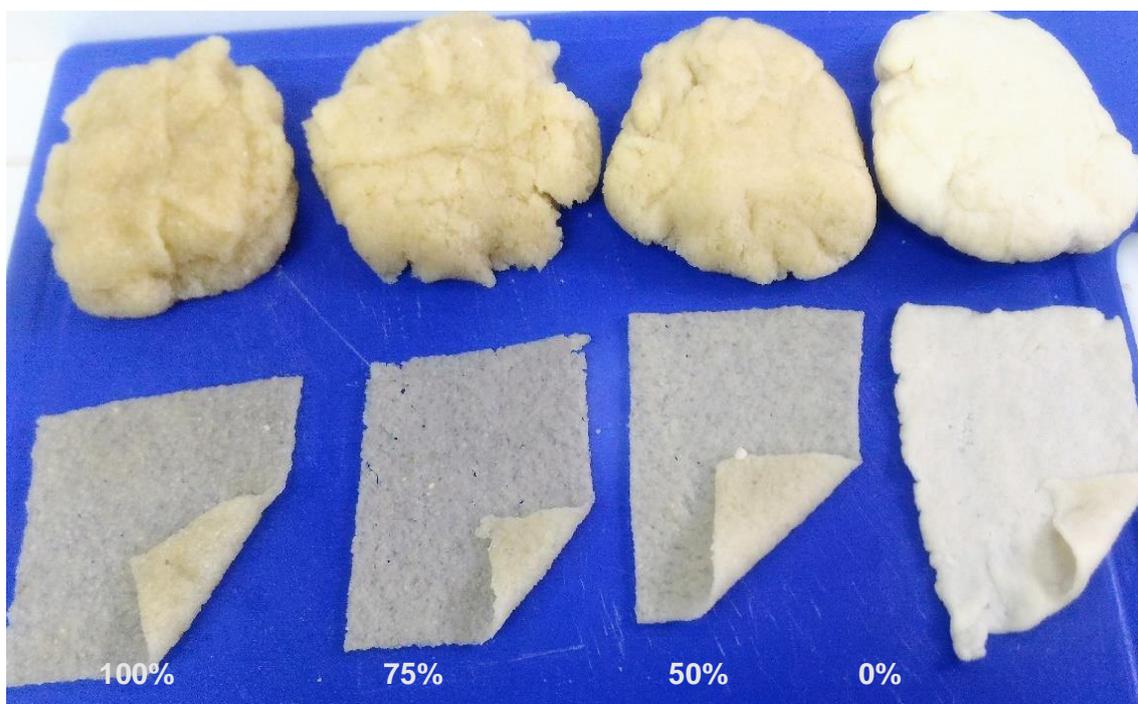
31 Para la elaboración de las masas se procedió primero a mezclar el PDM, la harina de
32 trigo, el azúcar y la sal según las proporciones indicadas. Este procedimiento se realizó
33 agitando a mano un recipiente cerrado. A continuación, se mezcló el aceite de la misma
34 manera. Luego, se incorporó el agua y finalmente se realizó el amasado a mano durante
35 aproximadamente 2 a 3 minutos (Figura 15). Antes de los ensayos en masas, estas se
36 dejaron reposar durante 30 minutos en recipientes herméticos.

37 Tabla 4: Proporciones de harina de trigo, PDM y agua usadas para obtener 100g de masa según
 38 formulación.

Muestra	A	B	C	D
%PDM en la mezcla de harina	0	50	75	100
PDM (g)	0	30,5	43	54
Harina de trigo (g)	63	30,5	14,5	0
Agua (g)	32	34	37,5	41
Sal azúcar y aceite (g)	5	5	5	5
Total (g)	100	100	100	100

39

40



41

Figura 1510: Masas obtenidas a partir de los distintos niveles de sustitución ensayados

42

43 Elaboración de snacks/crackers: Luego del reposo, las masas fueron laminadas
44 mediante rodillos hasta lograr un espesor de 2 mm. Los snacks fueron formados
45 mediante un molde cortante hexagonal de 20 mm de lado. Las diferentes temperaturas
46 del horno se configuraron en cada caso a través de un controlador digital con termocupla
47 y se esperó a que las condiciones se hubieran estabilizado para introducir 15 muestras
48 por vez dispuestas en una bandeja descartable de aluminio (Figura 16). Los tiempos y
49 temperaturas de horneado se especifican en cada método.



Figura 16: muestras horneadas

50 **DESARROLLO DE PRODUCTOS CRACKERS HORNEADOS A**
51 **PARTIR DE PURÉ DESHIDRATADO DE MANDIOCA.**

52

53

54

55

56

57

MÉTODOS

58

59

60

61

62

63

64

65

66

67

68

69

70

71

SECCIÓN I

72

PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y FUNCIONALES DE LAS HARINAS

73

PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y TEXTURALES DE LAS MASAS

74

75

1 Propiedades fisicoquímicas de masas y harinas

2 *Humedad de las harinas:* para determinar la humedad de los sólidos secos se
3 utilizó un método gravimétrico con estufa a vacío similar al método 925.09 de AOAC.
4 Para ello se pesaron en pesa-sustancias metálicos limpios y secos, entre 5-10 g de
5 muestra que se llevaron a estufa de vacío a 70°C entre 3 y 6 horas. El uso de vacío
6 permite acelerar el secado y limitar las reacciones de oxidación. Transcurrido este
7 tiempo, se sacó la cápsula de la estufa y se dejó en un desecador con silica gel, para
8 proceder a pesar cuando se alcance la temperatura ambiente (24-26°C). El secado y
9 pesado se repitió hasta que dos pesadas consecutivas fueran constantes (+- 0.001g).
10 El contenido en agua de la muestra se calculó por diferencia de peso y se expresó en
11 porcentaje de humedad en base
12 húmeda y seca. Las estimaciones se
13 realizaron por cuadruplicado.

14 *pH de las soluciones:* Fue
15 determinado utilizando la técnica 943.02
16 de la AOAC y un potenciómetro Marca
17 HANNA instruments pH211 (Figura 17)
18 previamente calibrado.



Figura 17: fotografía del proceso de medición de pH

19 *Densidad Aparente:* se
20 determinaron las densidades aparentes
21 de las harinas y mezclas sueltas y empacadas. Para ello se pesaron 20,00 g de muestra
22 y se transfirieron mediante embudo a probeta graduada de 50,0ml. este primer valor
23 observado fue considerado el valor de volumen para el cálculo de densidad de la harina
24 “suelta”. A continuación, a la probeta con muestra, se le dio múltiples (10) golpes en la
25 base desde una altura de 10 cm hasta que la muestra llegó a su valor mínimo, este valor
26 de volumen fue considerado para el cálculo de la densidad de la harina “empacada”. La
27 densidad de las masas se calculó como la relación entre el peso y el volumen de la
28 muestra. Cada ensayo se realizó por triplicado.

29 *Tamaño de partícula:* se determinaron mediante el método AOAC 965.22 con
30 modificaciones en los tamaños de malla utilizados. Se utilizaron mallas de 420, 250,
31 210, 177 y 119 μ . El ensayo se realizó por triplicado.

32 *Humedad de las masas:* Para determinar la humedad de las masas, se utilizó el
33 método 44-15.02 de la AACC modificado. Este método indica que para muestras en las
34 cuales se estima una humedad mayor a 13% se procede primeramente a bajar esta
35 humedad por debajo del 10% lentamente. Para ello se colocaron muestras de masa de
36 entre 2 y 3 g en estufa de aire a 60 °C durante 24 h. Y luego se procedió a llevar la
37 muestra en la misma estufa a 130 °C durante 1 h. Cumplido este tiempo se colocaron
38 los pesa-filtro en desecador hasta equipararlos con la temperatura ambiente y se
39 pesaron. El ensayo se realizó por cuadruplicado.

40 *Lípidos:* El contenido lipídico de las harinas se
41 determinó por triplicado mediante método de Twisselmann.
42 Se empleó éter de petróleo (Pe: 35-60 °C) como solvente de
43 extracción (Figura 18). Al término de 4 h de extracción, el éter
44 de petróleo fue evaporado en estufa a 60 °C por 24 h para
45 luego pesar el aceite recuperado [98]. El ensayo se realizó por
46 triplicado.

47 **Propiedades Funcionales de harinas**

48 *Absorción de Agua alcalina (IRAA):* Para conocer la
49 capacidad de retención de agua que poseen las harinas se
50 procedió a la determinación del índice de retención de agua
51 alcalina (IRAA) mediante el Método 56-10, AACC, 2000 [24].
52 El ensayo se realizó por triplicado.

53 *Índice de solubilidad en agua fría (ISA) y Poder de*
54 *hinchamiento (PS):* se determinó mediante el método
55 descrito por Aristizabal & Sánchez [4]. El valor de ISA se calcula mediante la razón
56 entre el peso de la fracción soluble de la muestra multiplicado por el volumen y por un
57 factor de diez sobre el peso seco total de la muestra. El poder de hinchamiento se
58 determina como una razón donde el numerador es el peso del gel y el denominador es
59 el resultado obtenido de restar el peso seco total de la muestra y el peso de la fracción
60 soluble de la muestra. Los ensayos se realizaron por triplicado.

61 *Actividad emulsificante (AE) y estabilidad emulsificante (EE):* Para determinar
62 las propiedades como emulsificante de las harinas se procedió según lo descrito por
63 Argel, Ranalli y Califano [50]. Para realizar el procedimiento se homogeneizó 1 g (base
64 seca) de cada harina en 15 ml de agua durante 30 segundos con agitador magnético,
Lic. Cazzaniga Amanda



Figura 18: fotografía del proceso de extracción de lípidos

65 se adicionaron 15 ml de aceite de girasol y se volvió a homogeneizar por 90 segundos.
66 Los tubos fueron centrifugados a 500 G durante 5 minutos. La AE se expresó como el
67 volumen de la capa emulsificada /volumen total. Para la medida de la estabilidad, los
68 mismos tubos fueron colocados en baño de agua de 80°C por 30 minutos, enfriados
69 bajo canilla, y centrifugados 5 minutos a 750 G. La EE se expresó de la misma manera
70 que la AE. El ensayo se realizó por triplicado.

71 *Absorción de aceite:* La capacidad de absorber aceite de las harinas se
72 determinó a través del método propuesto por Dench, Rivas & Caygill [99] modificado.
73 Se pesaron muestras (0,5 g) en un tubo de centrífuga de 50 ml y se añadió aceite de
74 girasol (3 ml). El contenido se mezcló completamente durante 30 s, se mantuvo a
75 temperatura ambiente durante 20 min y después se centrifugó (1500 G durante 25 min).
76 El exceso de aceite se vertió y el tubo se invirtió durante 30 min para filtrar el excedente.
77 El peso de aceite retenido se calculó por diferencia y la absorción de aceite fue
78 expresada como gramos de aceite absorbido. Las determinaciones se realizaron por
79 triplicado

80 *Concentración mínima de gelificación (CMG):* La CMG se comprobó realizando
81 dispersiones de harina en agua de manera de obtener concentraciones de 2, 4, 6, 8, 10,
82 12, 14, 15, 18 y 20 %. Las suspensiones se homogeneizaron en vortex (Labklass 78HW-
83 1) durante 30 s, y luego se colocaron en baño de agua a 100 °C por 1 hora. Transcurrido
84 el tiempo, se enfrió bajo canilla y se llevó a la heladera (10 °C) por 2 horas. La CMG fue
85 determinada como la concentración a la que los tubos fueron invertidos y no se observó
86 deslizamiento o caída del gel [50]. El ensayo se realizó por triplicado.

87 *Estabilidad al congelamiento:* Para determinar la estabilidad al congelamiento
88 se preparó una suspensión gelificada de almidón al 2 % p/p. Se llevó a 90 °C con
89 agitación constante, durante 10 minutos y luego se dejó enfriar hasta temperatura
90 ambiente. Posteriormente, se pesó 10g de gel y se llevaron a tubos de centrífuga de
91 polipropileno, almacenándolos a -18 °C durante 24 horas. Pasado este tiempo, las
92 muestras congeladas se colocaron en un baño de agua a 30 °C durante 90 minutos.
93 Luego las muestras se centrifugaron a 3600 rpm durante 15 minutos, y fueron
94 decantadas y secadas. El porcentaje de agua liberada (líquido sobrenadante) se registró
95 como la pérdida de peso del gel. Seguidamente las muestras se congelaron nuevamente
96 a -18 °C durante 24 horas. Este procedimiento se repitió tres ciclos, y se registró el
97 porcentaje de agua liberada en cada ciclo. La experiencia se realizó por triplicado.

98 **Propiedades Texturales de las masas**

99 Todas las pruebas de textura se realizaron en un analizador de textura TA. XT
 100 plus (Stable Micro Systems, Surrey, Reino Unido) equipado con una celda de carga de
 101 50 kg. Todas las pruebas se realizaron a una velocidad de 1 mm/s. Los parámetros
 102 utilizados en cada prueba se calcularon utilizando el software Exponent©. De cada
 103 análisis se muestran los datos de trece muestras por cada formulación estudiada.

104 *Análisis de perfil de textura (TPA):* Para este ensayo se utilizó la sonda SMS
 105 P/75. Las masas se mantuvieron a temperatura ambiente controlada (24-26°C,
 106 ~50%HR) y en bolsas selladas durante el descanso propio de su elaboración y en el
 107 período previo a la ejecución de la prueba. Se moldearon
 108 cilindros de masa de 2,5 mm de diámetro por 2 cm de alto
 109 y se dejó descansar nuevamente por 10 min (Figura 19).
 110 El ensayo se realizó mediante una doble compresión a 75
 111 % de deformación y una velocidad pre-test y test de
 112 1mm/s, con un tiempo de espera entre compresiones de 5
 113 segundos. Debido a las características de la muestra los
 114 resultados que se decidieron analizar fueron dureza (N),
 115 elasticidad (adimensional), Cohesividad (adimensional),
 116 Gomosidad (N) y Resiliencia (adimensional). A
 117 continuación, se describe la obtención de estos parámetros mediante la gráfica general
 118 del perfil de textura (Figura 20)

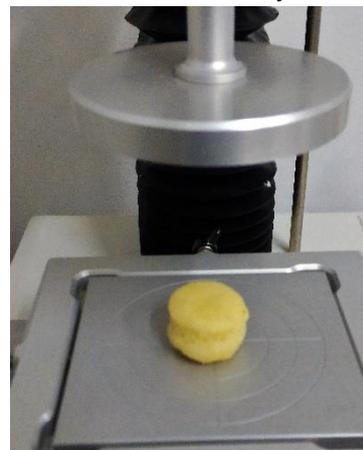


Figura 19: Ensayo de TPA

119 **Dureza:** Se define como la fuerza máxima que tiene lugar en cualquier
 120 tiempo durante el primer ciclo de compresión, se refiere a la fuerza requerida para
 121 comprimir un alimento. Se expresa en unidades de fuerza (N).

122 **Elasticidad:** Este parámetro se refiere a la altura que recupera el material
 123 durante el tiempo que recorre entre el primer ciclo y el segundo. Representa cuanta de
 124 la estructura original del alimento se ha roto por la compresión inicial. Es la propiedad
 125 de un material por la que recupera su forma y dimensiones originales parcial o
 126 totalmente al cesar la acción del esfuerzo aplicado. Es adimensional, una longitud
 127 dividida por otra longitud.

128 **Cohesividad:** Se define como el cociente entre el área positiva bajo la
 129 curva de fuerza de la segunda compresión (Área₂) y el área bajo la curva de la primera

130 compresión (Área1). Representa la fuerza con la que están unidas las partículas, límite
131 hasta el cual se puede deformar antes de romperse. Es adimensional.

132 **Gomosisad:** Esta cuantificación representa la energía requerida para
133 desintegrar un alimento semi-sólido. Es el producto de la *Dureza* por la *Cohesividad*. Se
134 expresa en N.

135 **Resiliencia:** Se define como la medida de la capacidad de un producto
136 de recuperar su posición inicial. Se puede considerar como una elasticidad inicial, ya
137 que se mide durante la primera compresión y es obtenida mediante la división del Área
138 de la primera compresión en dos partes Áreas 3 y 4. Esta división se realiza a partir del
139 punto de fuerza máxima. El valor de resiliencia se calcula dividiendo el área 4 por él
140 área 3. Es adimensional [76,82].

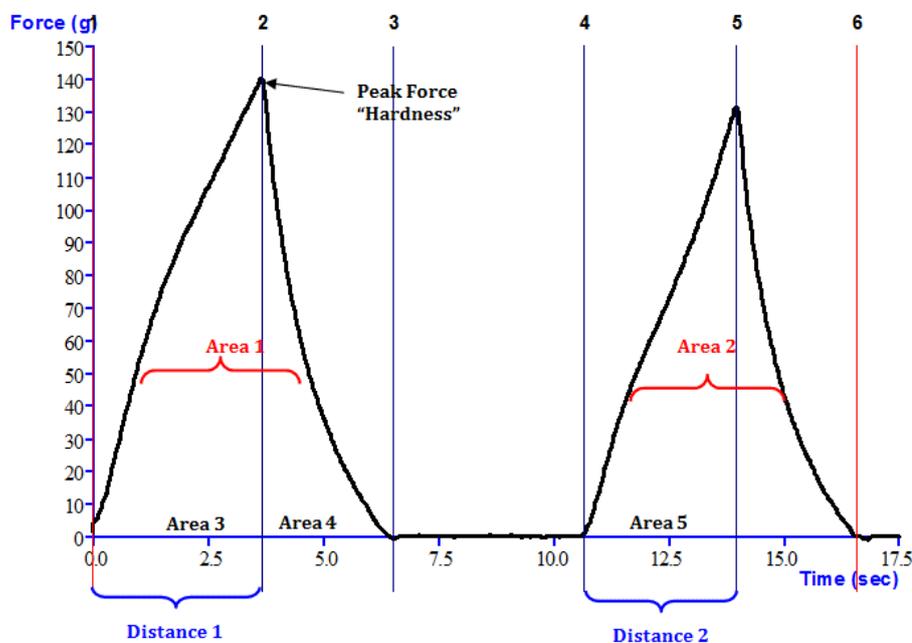


Figura 20 gráfica general del análisis de perfil de textura (Texture Technologies Corp. and Stable Micro Systems, Ltd.)

141 *Extrusión directa (forward extrusión):* Esta prueba, mide la fuerza necesaria
142 para que el pistón extruda la muestra a través de un orificio estándar en la base de la
143 celda. El diámetro óptimo del orificio de salida es determinado mediante pruebas
144 preliminares. Se realizó el ensayo en masas utilizando la base HDP/FE con un diámetro
145 de salida de 40 mm (Figura 21). EL Analizador de Textura TA-XT plus fue equipado con
146 una celda de carga 50 kg (Stable Micro Systems, Surrey, Reino Unido). Antes de la
147 medición, las masas se comprimieron manualmente para garantizar la homogeneidad,
148 ausencia de burbujas de aire y la carga de un volumen constante en el cilindro

Lic. Cazzaniga Amanda

149 contenedor. Luego se dejaron descansar por 15 min
 150 antes de empezar el ensayo. La Fuerza de extrusión
 151 se midió en las siguientes condiciones: pre-test de
 152 velocidad de 1 mm / s, velocidad de ensayo 1 mm / s,
 153 fuerza de disparo de 5 g, la velocidad pos-test 10 mm
 154 / s, distancia de compresión de 50 %. En este tipo de
 155 ensayos, las curvas llegan a una fuerza máxima y
 156 luego se forma una planicie, que se describe como una
 157 meseta prolongada en la curva, esta meseta define el
 158 valor de la consistencia de la muestra. La consistencia
 159 se puede definir como la totalidad de las interacciones
 160 entre diferentes componentes que le da una fuerza
 161 típica a un producto.

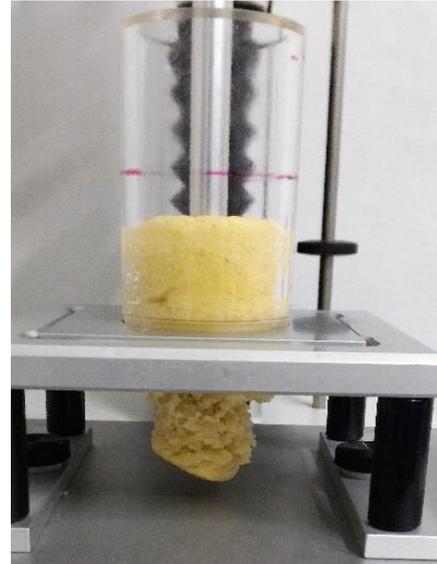


Figura 21: Ensayo de Forward Extrusion

162 *Compresión:* Para realizar esta prueba, se utilizó la sonda SMS P/75, a una
 163 velocidad de 1 mm/s. con una fuerza de disparo de 5 g. Se midió la fuerza necesaria
 164 para recorrer el 50 % de la altura (h=2 mm) de discos de masa de 45 mm de diámetro
 165 (Figura 8). Se midió la fuerza máxima utilizada (N). Se registró además la variación del
 166 diámetro luego de la prueba (diámetro final).

167 *Extensibilidad:* Para el ensayo de extensibilidad de las masas se fabricó en acrílico de
 168 5mm de espesor una pieza similar al accesorio HDP/TPB “Tortilla/Pastry Burst Rig” del
 169 texturómetro TA.XT plus. El diagrama con las medidas y la pieza terminada se ven en
 170 la Figura 22 que se encuentra a continuación. El borde interno que mantiene contacto
 171 con la masa tiene forma redondeada y fue lubricado con petrolato para evitar que el
 172 propio rozamiento durante el ensayo influya en la rotura de la masa.

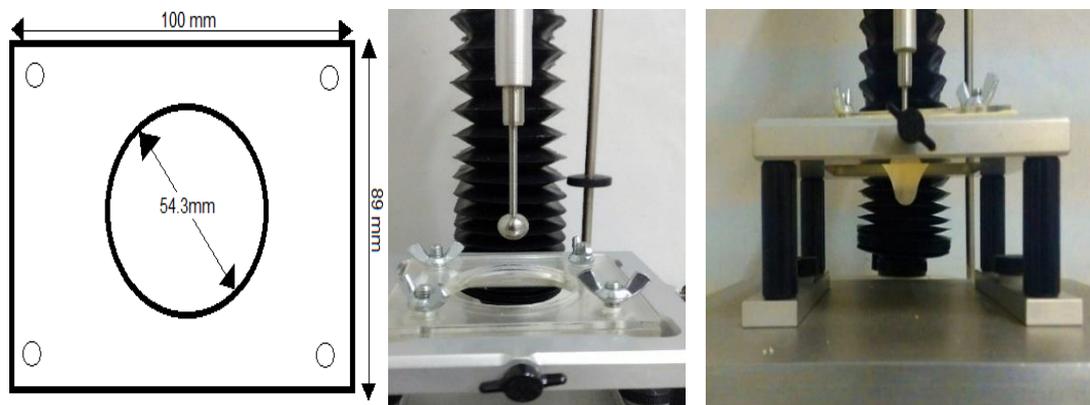


Figura 22: Diseño e implementación de base/soporte de masa para ensayo de extensibilidad

173 Para esta prueba las masas fueron laminadas mediante rodillos, hasta un espesor
174 aproximado de 2 mm. Estas láminas de masas se colocaron sobre la parte inferior de la
175 base procurando su integridad, y cubriendo toda la superficie de la pieza de acrílico
176 fijada mediante los tornillos de sujeción, luego se colocó la parte superior de la base de
177 acrílico y se procedió a la fijación mediante las mariposas. La sonda utilizada fue P /
178 0,5S de 0,5 mm de diámetro esférico de acero inoxidable. Con una velocidad de 1 mm/s
179 y una fuerza de activación de 5 g. Se midió la distancia (mm) hasta la ruptura como
180 extensibilidad y la fuerza máxima (N) como tenacidad.

181 *Adhesividad:* En esta experiencia, discos de masa con un diámetro de 45 mm
182 fueron penetrados a una distancia del 50 % de su altura (h=2 mm) con una sonda de
183 0,5 mm de diámetro esférico de acero inoxidable P / 0,5S la velocidad de pre-test fue de
184 1 mm/s, la velocidad de prueba y la velocidad de test fue de 0,04 mm/s y la fuerza de
185 disparo fue de 1 g. La celda de carga utilizada fue de 5 Kg. La adhesividad se registró
186 como la fuerza máxima al retirar la sonda de la masa (N).

SECCIÓN II

**ESTUDIO DEL COLOR Y SU MODIFICACIÓN CON LAS VARIABLES DE PROCESO
EN LAS DIFERENTES ETAPAS DE PRODUCCIÓN.**

1 **Método de horneado**

2 Para el horneado se ensayaron cuatro temperaturas diferentes, 190, 205, 220 y
 3 235 °C. La temperatura del horno se configuró a través de un controlador digital con
 4 termocupla y cuando se hubo estabilizado, se introdujeron 15 muestras por vez en una
 5 bandeja descartable de aluminio. Primero se evaluó el color resultante de los snacks
 6 con un tiempo de horneado idéntico al del control para todas las muestras. Luego se
 7 evaluó el color para las muestras con PDM reduciendo su tiempo de horneado. El criterio
 8 utilizado para determinar el fin de la cocción fue que la humedad final en base seca
 9 fuese menor al 5 % y no se presentaran indicios de carbonización en la superficie. En
 10 la Tabla 5 se muestran los tiempos de horneado para cada muestra.

11 *Tabla 5: Tiempos y temperaturas de horneado de snacks*

Temperatura (°C)	Muestra	Tiempo de horneado (min)
190	A	14
	B	9
	C	8
	D	9
205	A	9
	B	6
	C	5
	D	7
220	A	9
	B	6
	C	5
	D	7
235	A	7
	B	5
	C	4,5 (4:30)
	D	6

12

13 **Colorimetría**

14 Las coordenadas de color se determinaron usando un colorímetro marca HunterLab,
 15 modelo Miniscan EZ (Hunter Associates Laboratory, Reston, Virginia, USA). Se midió el
 16 color según el sistema CIE L* a* b*, utilizando las coordenadas L* (luminosidad) que
 Lic. Cazzaniga Amanda

17 varía entre 100 (blanco) y 0 (negro), a* varía
 18 entre + 60 (rojo) y -60 (verde) y b* varía entre +
 19 60 (amarillo) y -60 (azul). El equipo fue
 20 estandarizado usando los patrones blanco y
 21 negro. Este equipo toma los datos de 20 puntos
 22 diferentes en una sola toma y arroja como
 23 resultado el promedio.



Figura 2113 fotografía de la metodología de medición de color

24 Se prepararon las muestras de harinas, masas
 25 o snacks horneados sobre una placa y se
 26 cubrieron utilizando un papel "film" sobre la
 27 muestra como protección del lente medidor. Se trabajó realizando cada medición por
 28 triplicado (Figura 23).

29 La diferencia de color entre muestras fue analizada mediante el parámetro Diferencia
 30 Total de Color (ΔE^*). El valor de ΔE^* es una combinación de los parámetros L*, a* y b*
 31 (Ecuación 2) y es ampliamente usado para caracterizar las variaciones de color de los
 32 alimentos durante su proceso [20].

33

34

$$35 \quad \Delta E^* = [(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2]^{1/2} \quad \text{Ec. 2}$$

36 Donde L*, a* y b* son los parámetros de color de la muestra analizada y L₀*, a₀* y b₀* son los parámetros
 37 de color de la muestra de referencia (muestra A).

38

39

40 Se determinó también el índice de pardeamiento (IP), de acuerdo con los datos
 41 obtenidos de L*, a* y b*, mediante la Ecuación 3. El índice de pardeamiento: indica la
 42 pureza del color marrón y es considerado un índice de importancia en los procesos
 43 donde existe pardeamiento enzimático y no enzimático [30].

44

$$45 \quad IP = [100 (x - 0,31)]/0,17 \quad \text{Ec. 3}$$

$$46 \quad \text{Donde } x = \frac{a^* + 1,75L}{(5,645L + a^* - 3,012b^*)}$$

Lic. Cazzaniga Amanda

47 Con fines de permitir la comparación de los valores obtenidos utilizando otros
48 parámetros de medición, se calcularon a partir de los parámetros de color L* a* y b* los
49 siguientes parámetros:

50 **Croma (C*):** representa la distancia desde el eje de luminosidad (L*) y comienza
51 en el centro con un valor de 0. Se determinó a partir de la Ecuación 4.

52

53
$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad (\text{Ec. 4})$$

54

55 **Matiz, tono o HUE (h*):** Se define como el estado puro del tono. Como la
56 sumatoria de longitudes de onda que puede reflejar una superficie. En el sistema CIE
57 L*C*H* se representa como el ángulo del tono, y se expresa en grados que van de 0 °
58 (inclusive) a 360 ° (excluido). Se calculó a partir de la Ecuación 5.

59

60
$$H^* = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (\text{Ec. 5})$$

61

62

63

64

65

SECCIÓN III

ESTUDIO DE LA CINÉTICA DE PÉRDIDA DE HUMEDAD APLICADA AL HORNEADO DE LAS MUESTRAS

1 **Contenido de humedad y curva de pérdida de humedad:**

2 Todas las pruebas experimentales que se realizaron mantuvieron valores de
3 temperatura y caudal de aire sin variaciones considerables. Los resultados se obtuvieron
4 por triplicado.

5 El contenido de humedad inicial de las muestras y el peso del sólido seco (SS) se
6 determinó mediante el método gravimétrico. Para la experiencia se sometió a las
7 muestras a estufa a 103 ± 2 °C durante 6 horas, y se utilizó una balanza analítica de
8 precisión 0,0001 g para determinar el peso de las muestras antes y después de ser
9 llevadas a estufa.

10 El contenido de humedad de la muestra en base seca (Xbs) se determinó por la
11 Ecuación 6.

12

13
$$Xbs = \frac{P-SS}{SS} \left[\frac{g \text{ agua}}{g \text{ SS}} \right] \quad \text{Ec.6}$$

14 Donde P es el peso total de la muestra a tiempo t.

15

16

17 La proporción de humedad (MR) de las muestras a lo largo del tiempo de horneado se
18 calculó utilizando la Ecuación 7.

19

20

21
$$MR = \frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} \quad \text{Ec. 7}$$

22 Donde X_t , X_0 y X_e son los contenidos de agua inicial y humedad de equilibrio respectivamente.

23

24

25 La velocidad de pérdida de humedad (N) se expresa como la cantidad de humedad
26 evaporada por unidad de área respecto al tiempo. N se calculó utilizando la Ecuación 8,
27 los resultados se expresan en g agua / mm²*min.

$$N = \frac{-SS(X_i - X_{i-1})}{A(t_i - t_{i-1})} \quad \text{Ec.8}$$

29 Donde SS son los sólidos secos, X es el contenido de humedad a tiempo t, A es el área y t es el tiempo.

30

31

32 **Modelado matemático de curvas de pérdida de humedad**

33 Los datos experimentales de las curvas MR por tiempo fueron ajustados a quince
34 modelos para capa delgada. Los modelos utilizados pueden observarse en la *Tabla 6*.

35 *Tabla 6: Modelos matemáticos para curvas de pérdida de humedad para muestras de capa delgada*

Nombre del modelo	Ecuación
Newton	$MR = \exp(-kt)$
Page	$MR = \exp(-kt^n)$
Page mod.	$MR = \exp[-(kt)^n]$
Lewis	$MR = \exp(-kt)$
Henderson and Pabis	$MR = a \exp(-kt)$
Henderson and Pabis mod.	$MR = a (\exp(-kt)) + b(\exp(-gt)) + c(\exp(-ht))$
Logarithmic	$MR = a \exp(-kt) + c$
Two terms exponential	$MR = a \exp(-K_0 t) + b \exp(-k_1 t)$
Two terms	$MR = \exp(-kt) + 1(1 - a)\exp(-kat)$
Wang and Singh	$MR = 1 + at + bt^2$
Approximation to diffusion	$MR = a \exp(-kt) + 1(1 - a)\exp(-kbt)$
Chavez Mendez	$MR = (1 - (1 - L_2)L_1 t)^{1/(1-L_2)}$
Midilli and co.	$MR = a \exp(-kt) + bt$
Thompson	$MR = 1 + at + bt^2$
Verma	$MR = a \exp(-kt) + (1 - a)\exp(-gt)$

36

37 La regresión no lineal se realizó mediante el software estadístico GraphPad Prism 4.
38 Como criterios de adecuación del modelo a los datos experimentales se utilizaron los
39 parámetros estadísticos R^2_{ajus} , RMSE y AICc correspondientes a las Ecuaciones 9, 10 y
40 11 respectivamente.

41

42

43

$$44 \quad R^2_{ajust} = 1 - \frac{SS_r / (n-K)}{SS_t / (n-1)} \quad \text{Ec.9}$$

Lic. Cazzaniga Amanda

45 Donde, SSr es la suma de cuadrados de la discrepancia entre el valor Y de la curva y los datos; SSt es la
46 suma de cuadrados de las diferencias entre la media general de Y , y cada valor de Y ; n es el número de
47 puntos de datos y K es el número de parámetros ajustados

48

49

$$50 \quad RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{Ec. 10}$$

51 Donde, $MR_{exp,i}$ es el valor observado experimentalmente y $MR_{pre,i}$ es el valor predicho por el modelo. N es
52 el número de observaciones.

53

54

$$55 \quad AICc = 2k - 2 \ln(L) + \frac{2k^2 + 2k}{n - k - 1} \quad \text{Ec. 11}$$

56 Donde k es el número de parámetros en el modelo estadístico y L es el máximo valor de la función de
57 verosimilitud para el modelo estimado.

58

59

60 **Determinación de la difusividad efectiva de la humedad y la energía de activación**

61 La Ecuación 12 correspondiente a la segunda ley de Fick la cual describe la tasa
62 de acumulación (o agotamiento) de la concentración dentro del volumen como
63 proporcional a la curvatura local del gradiente de concentración [100]. D_{eff} es la
64 difusividad efectiva de la humedad expresada en $m^2 s^{-1}$.

65

66

$$67 \quad \frac{\partial X^*}{\partial t} = \nabla [D_{eff} \nabla X^*] = D_{eff} \nabla^2 X^* \quad \text{Ec. 12}$$

68 Dónde X es la humedad y t es tiempo.

69

70 Estableciendo los supuestos de que el transporte de masa se realiza por difusión, que
71 no existen variaciones de volumen en la muestra, que los valores de temperatura y

72 difusión son constantes y que los tiempos de exposición a la temperatura son los
73 suficientemente largos, se utilizó la Ecuación analítica 13 [100].

74

75

76
$$X^* = \frac{8}{\pi^2} \exp\left[-\frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right] \quad \text{Ec. 13}$$

77 Donde L es la mitad del espesor de la muestra y X es el MR (Ec. 7).

78

79 La Ecuación 13 puede transformarse en la Ecuación 14 por lo que el D_{eff} puede
80 calcularse obteniendo la pendiente de la curva de los datos experimentales.

81

82

83
$$\ln(X^*) = \ln \frac{8}{\pi^2} - \frac{\pi^2 D_{eff}}{4L^2} t \quad \text{Ec. 14}$$

84

85

86 A partir del valor de D_{eff} , mediante la ecuación de Arrhenius (Ecuación 15) se puede
87 calcular la energía de activación (E_a). Graficando el $\ln(D_{eff})$ vs $1/T$ de donde se obtiene
88 una recta cuya pendiente es $(-E_a/R_g)$.

89

90

91
$$D_{eff} = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{R_g T}\right) \quad \text{Ec. 15}$$

92 Donde D_0 es el factor pre-exponencial de la ecuación de Arrhenius, E_a es la energía de activación, R_g es
93 la constante de los gases y T es la temperatura del aire se encuentra en K.

94

95

96 **Determinaciones fisicoquímicas**

97 La densidad de las masas se calculó al igual que en la sección I, dividiendo el peso por
98 el volumen.

99 En el caso de los productos horneados debido a que son productos porosos se calculó
100 el volumen real mediante picnometría. Para evitar que el aire contenido en la muestra
101 afecte el cálculo del volumen del sólido, se sometió al picnómetro, cargado con alcohol
102 96° y muestra, a vacío con el fin de retirar todas las burbujas de aire, luego se enrazó
103 con alcohol nuevamente para reponer las pérdidas ocasionadas y se procedió al
104 pesado. El cálculo de la masa del alcohol desplazada se realizó de la manera que indica
105 la Ecuación 16.

106

107

$$108 \quad m = m_{p+a} - [m_{p+a+A} - (m_{p+a} - m_p)] \quad \text{Ec. 16}$$

109 Donde m_p , a y A son el peso del picnómetro, el peso de la muestra y el peso del volumen de alcohol que
110 cabe en el picnómetro.

111

112

113 Una vez determinada la masa de alcohol desplazada (m), se calcula el volumen ocupado
114 por la muestra (V_{real}) según la ecuación 17.

115

116

$$117 \quad V_{real} = \frac{m}{\rho_A} \quad \text{Ec. 17}$$

118 Donde ρ_A = densidad del Alcohol 96°.

119

120

121 Para determinar la variación en el área que sufre la muestra al someterse al proceso de
122 horneado, se utilizó la Ecuación 18

123

124

Lic. Cazzaniga Amanda

125 $AV = 100 \frac{a_f - a_i}{a_i}$

Ec. 18

126 Donde a_f y a_i son el área inicial y el área final de la muestra respectivamente

127

128

SECCIÓN IV

ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LAS MUESTRAS
HORNEADAS Y SU VARIABILIDAD CON LOS PARÁMETROS DE HORNEADO

1 **Densidad aparente y densidad real**

2 La densidad aparente se calculó simplemente relacionando el peso con el
3 volumen total de la muestra. Debido a que los snacks son productos porosos se calculó
4 el volumen real mediante picnometría como se describió en Determinaciones
5 fisicoquímicas de la sección anterior.

6 **Porosidad**

7 Una vez determinadas la densidad real y la densidad aparente del producto
8 poroso, el cálculo de la porosidad (ϵ) se lleva a cabo utilizando la Ecuación 19.

9

10

11
$$\epsilon = \frac{\rho_{real} - \rho_{aparente}}{\rho_{real}}$$
 Ec.19

12

13

14 **Tasa de propagación o “spread ratio”**

15 La tasa de propagación se determinó mediante la relación entre la longitud
16 máxima y el promedio del espesor de las muestras. El promedio del espesor fue
17 obtenido mediante cinco mediciones por cada unidad. Las mediciones fueron realizadas
18 mediante calibre digital. Los datos de tasa de propagación se calcularon por triplicado.

19 **Expansión/ acortamiento**

20 Se determinó midiendo la variación en el área que sufre la muestra al someterse
21 al proceso de horneado, se utilizó la Ecuación 18.

22 **Color**

23 Las coordenadas de color se determinaron usando un colorímetro marca
24 HunterLab, modelo Miniscan EZ (Hunter Associates Laboratory, Reston, Virginia, USA)
25 como se indica en la sección anterior, así como también el índice de pardeamiento.

26 **Humedad**

27 Se determinó mediante el método gravimétrico. Se sometió a las muestras a
28 estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ hasta peso constante, y se utilizó una balanza analítica de precisión
29 0,0001 g para determinar el peso de las muestras antes y después de ser llevadas a
30 estufa.

Lic. Cazzaniga Amanda

SECCIÓN V

ESTUDIO DE LAS ISOTERMAS DE SORCIÓN DE LAS MUESTRAS HORNEADAS

1 **Materiales**

2 La temperatura de horneado de todos los productos fue de 220°C la cual se
3 estableció a través de un controlador digital con termocupla. Se esperó a que las
4 condiciones del horno se hubieran estabilizado para introducir 15 muestras por vez
5 dispuestas en una bandeja descartable de aluminio. Las diferentes formulaciones se
6 hornearon a diferentes tiempos ya que de esta manera se logró que características
7 fisicoquímicas tales como humedad, color, porosidad y expansión o contracción durante
8 el horneado, fueran similares [9]. La muestra A se horneó durante 7 minutos, las
9 muestras B y C 5 minutos y la muestra D 4,5 minutos.

10 **Determinación de las curvas de adsorción**

11 Para la obtención de los datos de contenido de
12 agua de equilibrio (CAE) se empleó el método
13 gravimétrico estático, en el cual el peso de las muestras
14 es monitoreado discontinuamente una vez que se han
15 colocado en los sistemas estáticos y térmicamente
16 estabilizados. Para determinar los valores de adsorción,
17 se partieron las muestras de snacks en pequeños trozos
18 y se pesaron en placas de vidrio hasta lograr una
19 muestra de $2,00 \pm 0,02$ gr. Luego se colocaron en
20 recipientes herméticos preparados con soluciones saturadas de LiCl, $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{K}$, K_2CO_3 ,
21 NaBr, KI, NaCl, KCl, KSO_4 , como puede observarse en la Figura 24. Los recipientes
22 fueron colocados en heladera o estufa para mantenerlos a $10, 30$ y 50 ± 1 °C. Se permitió
23 que las muestras se equilibraran hasta valores de peso constante ($\pm 0,001$ g) lo cual se
24 produjo en un periodo entre 25 y 30 días. Las determinaciones se realizaron por
25 triplicado. La masa seca se determinó gravimétricamente mediante secado en estufa a
26 105 °C durante 24 h.



Figura 24: metodología utilizada para la determinación del contenido de humedad de equilibrio

27 **Modelado matemático**

28 Los modelos matemáticos utilizados para ajustar los datos de CAE (g H₂O/ g
29 Sólidos secos) y a_w se presentan en la *Tabla 7*. La regresión no lineal se realizó
30 mediante el software estadístico GraphPad Prism 4. Como criterios de adecuación del
31 modelo a los datos experimentales se utilizaron los parámetros estadísticos R^2_{ajust} ,
32 RMSE y AICc correspondientes a las ecuaciones 9, 10 y 11 respectivamente que se
33 encuentran detallados en la sección III.

Lic. Cazzaniga Amanda

34 Tabla 7: modelos matemáticos utilizados en el ajuste de datos de adsorción

Modelo	Ecuación	Parámetros
GAB >0,05 < 0,98*	$X = \frac{X_m \cdot C \cdot k \cdot a_w}{(1 - k a_w) \cdot (1 + (C - 1) \cdot k a_w)}$	X_m : Humedad de la monocapa. Humedad del producto correspondiente a la situación en que los puntos de adsorción primarios estén saturados por moléculas de agua (g agua/ g sólidos secos). C: relación entre la función de reparto de la primera molécula absorbida en un sitio y la función de reparto de las moléculas sorbidas más allá de la primera molécula en la multicapa. k: factor de corrección porque corrige las propiedades de las moléculas multicapa en relación con el líquido a granel. X: Contenido de agua de equilibrio (CAE)
FERRO FONTAN < 0,90*	$X = \left[\frac{A}{\ln\left(\frac{B}{a_w}\right)} \right]^{\frac{1}{C}}$	A: Constante B: Parámetro que representa la estructura del agua adsorbida C: Parámetro relacionado con el calor isostérico neto. X: CAE
HALSEY 0,1 - 0,8*	$X = \left[\frac{A}{\ln\left(\frac{1}{a_w}\right)} \right]^B$	A: constante del modelo y característica para cada alimento B: parámetro que caracteriza el tipo de interacción entre el sólido y el vapor X: CAE
HENDERSON < 0,95*	$X = \left(\frac{-LN(1 - a_w)}{A} \right)^{\frac{1}{B}}$	A y B: constantes del modelo y características para cada alimento X: CAE
OSWIN < 0,98*	$X = A \cdot \left[\frac{a_w}{1 - a_w} \right]^B$	A y B: constantes del modelo y características para cada alimento X: CAE
PELEG < 0,98*	$X = k_1 \cdot a_w^{n_1} + k_2 \cdot a_w^{n_2} \quad (8)$	k_1, k_2, n_1, n_2 constantes ecuación de Peleg (adimensional) X: CAE
SMITH 0,35 - 0,9*	$X = B - A \cdot \ln(1 - a_w)$	A y B: constantes del modelo y características para cada alimento X: CAE
Chung & Pfost < 0,95*	$Y = (1/B) \cdot (\ln(\ln(X)/-A))$	A y B: constantes del modelo características para cada alimento X: CAE.

35 *Rango de actividad de agua valido para el modelo

SECCIÓN VI

ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS TEXTURALES Y AUDITIVAS DE LOS
SNACKS HORNEADOS.

1 **Materiales**

2 La temperatura de horneado de todos los productos fue de 220 °C la cual se
3 estableció a través de un controlador digital con termocupla. Se esperó a que las
4 condiciones del horno se hubieran estabilizado para introducir 15 muestras por vez
5 dispuestas en una bandeja descartable de aluminio. Las diferentes formulaciones se
6 hornearon a diferentes tiempos ya que de esta manera se logró que características
7 fisicoquímicas tales como humedad, color, porosidad y expansión o contracción durante
8 el horneado, fueran similares [9]. La muestra A se horneó durante 7 minutos, las
9 muestras B y C 5 minutos y la muestra D 4,5 minutos.

10 Se analizaron también muestras de diferentes snacks horneados presentes en el
11 mercado: Galletitas snack “REX” (Bagley), Galletitas con copos de Maíz “Cereales
12 Bagley con Maíz” (Bagley), Galletitas con arroz “Cereales Bagley con Arroz” (Bagley),
13 “Tostadas de arroz” (Riera), Galletitas snacks “Kesitas” (Bagley).

14 **Propiedades texturales**

15 Todos los ensayos fueron realizados en un texturómetro TA XT plus (Stable
16 Micro Systems, Surrey, UK). Los parámetros obtenidos fueron calculados utilizando el
17 software Exponent©. Se obtuvieron, para cada ensayo, 13 datos por formulación y
18 muestra comercial.

19 *Ensayo de punción:* mediante pruebas preliminares se
20 estableció que no existen diferencias significativas en
21 los datos obtenidos según el lugar de punción. Se
22 utilizó una celda de carga de 50 kg, una velocidad de
23 prueba de 0.5 mm/s y una distancia de penetración del
24 50 % de la altura de la muestra. La dureza se registró
25 como el área de la curva y la fracturabilidad como la
26 distancia lineal. En la Figura 25 puede observarse una
27 fotografía del ensayo de punción en proceso.

28 *Ensayo de flexión de tres puntos (3PB):* Se utilizó una
29 celda de carga de 5 kg, una velocidad de prueba de 3
30 mm/s. y una distancia de penetración del 50 % de la
31 altura de la muestra. Debido a que esta técnica es
32 sensible a la geometría de la muestra se procedió a

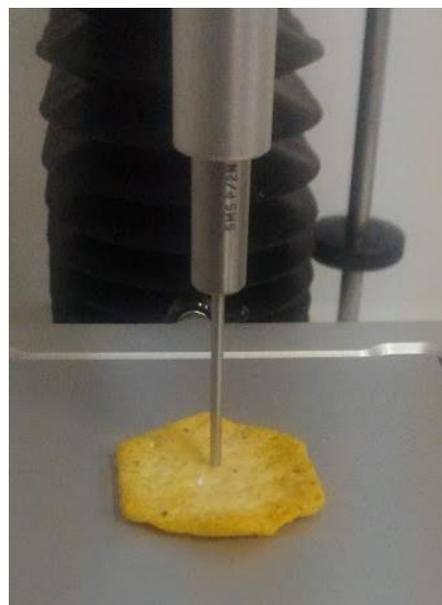


Figura 25: Fotografía de la ejecución del ensayo de punción

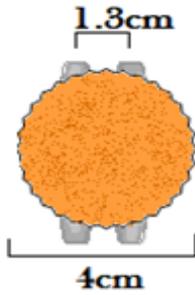


Figura 2612: Esquema de la metodología utilizada para el ensayo 3PB.

ajustar la distancia entre los puentes de sostén para cada muestra de manera tal que la muestra quedase siempre dividida por el largo en tercios iguales (Figura 26). La dureza se registró como el pico máximo de fuerza y la fracturabilidad como la distancia recorrida hasta el pico máximo de fuerza.

Sonido

Se utilizó un micrófono Samsung Q1U, con una resolución de 16 Bits y una tasa de muestreo de 48 kHz.

41 Durante el ensayo de 3PB, el micrófono se colocó a una distancia fija de 6.5 cm de la
 42 muestra y se registró el sonido emitido durante la fractura. Los datos fueron obtenidos
 43 mediante el software libre, de código abierto Audacity® 3.0.0. El análisis de los datos de
 44 sonido se realizó mediante una versión de prueba del software Matlab R2021a. La
 45 programación (Figura 27) desarrollada devuelve el número de picos, el valor promedio
 46 de los picos, el valor máximo y el valor mínimo y el desvío estándar.

```

muestra = "T";
muestras = 8;
tabla = zeros(muestras,5);

for c = 1:muestras;
    name = muestra + "-" + c + ".wav";
    [x, fs] = audioread(name);
    peak = findpeaks(x, 'MinPeakProminence', 0.1);
    peakdb = 96 + mag2db(abs(peak));
    tabla(c,1) = length(peak);
    tabla(c,2) = mean(peakdb);
    tabla(c,3) = max(peakdb);
    tabla(c,4) = min(peakdb);
    tabla(c,5) = std(peakdb);
end
  
```

47

Figura 27:13 script utilizado para el análisis de sonido

48 **Propiedades fisicoquímicas**

49 Se realizaron las determinaciones de densidad aparente y real, porosidad y
 50 humedad con los métodos que se describen en la sección IV.

51 El espesor de las muestras se utilizó como el promedio de tres mediciones por muestra
 52 en al menos 3 muestras de cada formulación o muestra comercial, realizadas mediante
 53 un calibre digital.

54

DESARROLLO DE PRODUCTOS CRACKERS HORNEADOS A PARTIR DE PURÉ DESHIDRATADO DE MANDIOCA.

CAPITULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

SECCIÓN I

PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y FUNCIONALES DE LAS HARINAS

PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y TEXTURALES DE LAS MASAS

1 **Análisis fisicoquímicos de las muestras de harinas y sus mezclas**

2 Las propiedades físicas y funcionales de las materias primas, mezclas y sus
3 diferencias se pueden observar en la Tabla 8. La humedad (Figura 28) de las muestras
4 aumentó a medida que aumentaba el porcentaje de harina de trigo. El valor de humedad
5 del PDM fue similar a la humedad hallada en PDM producido a partir de la variedad de
6 mandioca “concepción” por Brousse [101]. Este valor también es similar a aquellos
7 encontrados en almidones de mandioca por diversos autores como Hernández-Medina,
8 M; et. al, Alvis, A; et. al y Doue, G., et. al. [102–104]. Sin embargo, el valor de humedad
9 encontrado para PDM fue menor que el valor de referencia provisto por FAO [4] para
10 almidones de mandioca y mayor que el reportado por Inca Vásquez [58] para productos
11 similares a partir de papa. El contenido de lípidos concuerda con los valores publicados
12 por otros investigadores como Salcedo Mendoza, J; Figueroa Florez, J; Hernández
13 Ramos [21] y Techeira et al. [59] para productos de mandioca. Los contenido humedad
14 y de lípidos son propiedades ligadas a la calidad y conservación de las harinas. Un valor
15 bajo en estos parámetros limitaría el crecimiento microbiano y la generación de rancidez
16 [105]. La fuente botánica probablemente sea la responsable de estas diferencias en la
17 composición. La harina de trigo presentó un contenido de lípidos más alto que el PDM.
18 Esto se debe a que ambas fuentes botánicas tienen una composición química diferente,
19 en el caso de la mandioca se reconoce que es un cultivo bajo en lípidos [106].

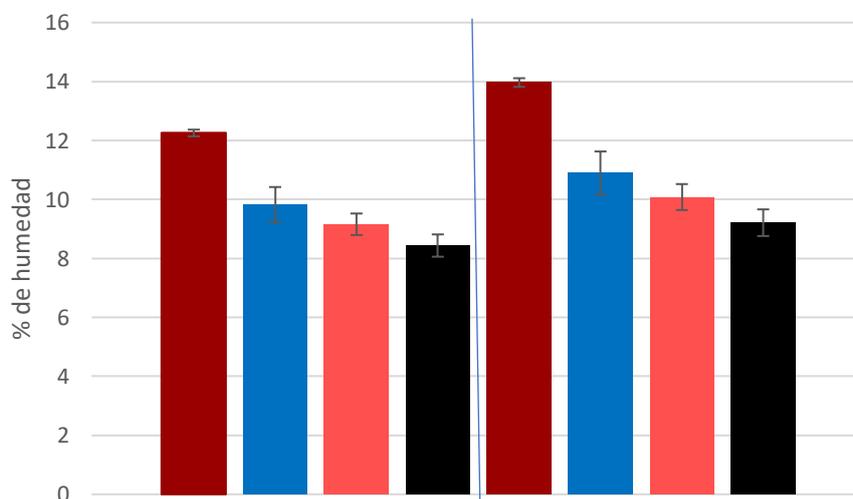


Figura 28: Porcentaje de humedad en base húmeda (bh) y base seca (bs) de las harinas y mezclas
A: Harina de trigo (HT), B: HT 50 %p/p+ Puré deshidratado de Mandioca (PDM) 50 %p/p, C:HT
25%p/p+PDM75%p/p, D: PDM

20

21

22 El tamaño de partícula influye en las operaciones de mezclado, calentamiento y
 23 enfriamiento afectando las propiedades reológicas de las masas [107]. El tamaño de
 24 partícula promedio de PDM fue mayor que el encontrado en la harina de trigo. Esta
 25 propiedad se correlacionó con ISA, IRAA, PS y densidad (índice de Pearson $\geq 0,90$). La
 26 densidad del PDM puede considerarse como una consecuencia del mayor tamaño de
 27 partícula [108]

28 *Tabla 8: Propiedades fisicoquímicas y funcionales de cuatro niveles de mezclas de harina de trigo y Puré*
 29 *deshidratado de Mandioca (PDM). Valores promedios \pm desvío standard.*

Muestra	A	B	C	D	Correlación. ($p < 0.05$) ¹
Humedad (base seca)	13,9 \pm 0,1 ^a	11,2 \pm 0,5 ^b	10,2 \pm 0,3 ^b	9,1 \pm 0,2 ^c	-0,965
Lípidos (%)	1,02 \pm 0,05 ^a	0,85 \pm 0,04 ^b	0,63 \pm 0,02 ^c	0,50 \pm 0,03 ^d	-0,998
Densidad (g/mL)	0,43 \pm 0,01 ^a	0,67 \pm 0,02 ^b	0,72 \pm 0,04 ^c	0,80 \pm 0,03 ^c	0,944
Densidad empacada (g/mL)	0,53 \pm 0,01 ^a	0,82 \pm 0,02 ^b	0,81 \pm 0,03 ^b	0,80 \pm 0,03 ^b	0,836
Promedio de tamaño de partícula (μ)	169,94 \pm 3,39 ^a	244,37 \pm 7,98 ^b	282,17 \pm 11,47 ^c	322,06 \pm 8,79 ^d	0,991
pH	6,04	n/d	n/d	5,98	n/d
IRAA (%)	63,75 \pm 4,99 ^a	246,0 \pm 13,7 ^b	242,7 \pm 23,3 ^b	359,5 \pm 19,4 ^c	0,931
ISA (g soluble /g muestra)	10,2 \pm 0,4 ^a	28,6 \pm 0,4 ^b	34,2 \pm 0,7 ^c	35,7 \pm 0,9 ^c	0,965
PS	3,64 \pm 0,08 ^a	4,2 \pm 0,1 ^b	5,2 \pm 0,3 ^c	6,3 \pm 0,4 ^d	0,929
AE (mL/mL)	0,71 \pm 0,03 ^a	0,49 \pm 0,01 ^b	0,50 \pm 0,01 ^b	0,51 \pm 0,04 ^b	($p > 0,05$)
EE (mL/mL)	0,45 \pm 0,03 ^a	0,49 \pm 0,01 ^b	0,49 \pm 0,01 ^b	0,51 \pm 0,02 ^b	0,770
CAA (g aceite/g muestra)	0,28 \pm 0,02 ^a	0,38 \pm 0,06 ^b	0,37 \pm 0,01 ^b	0,45 \pm 0,04 ^c	0,850
CMG (%)	26	20	18	14	-0,9954
Sinéresis I	20,0 \pm 0,4 ^a	n/d	n/d	20,8 \pm 0,6 ^a	n/d
Sinéresis Total	82 \pm 1 ^a	n/d	n/d	78 \pm 3 ^b	n/d

30 Estadísticamente no hay diferencia significativa entre aquellas muestras con el mismo superíndice en la misma fila. n/d datos no disponibles. 1 con
 31 el factor "% de sustitución". ISA: índice de solubilidad den agua; IRAA: índice de absorción de agua alcalina, PS: poder de hinchamiento ;AE: actividad
 32 emulsionante; EE: estabilidad emulsionante; CAA: Capacidad de absorción de aceite; CMG: Cantidad mínima de gelificación

33 No se encontró diferencia significativa entre densidad suelta y empaquetada para PDM.
34 Ambas densidades en PDM fueron más altas que las densidades halladas para la harina
35 de trigo y otros productos en polvo obtenidos a partir de mandioca por Techeira et al. y
36 Salcedo Mendoza et al. [21,59].

37 El pH hallado para ambas muestras es ligeramente ácido y son muy similares entre sí.
38 Estos valores son algo menores a los encontrados por Techeira et al. [59] en harinas de
39 mandioca y algo mayores a los encontrados en almidones de mandioca por Doue, G. et
40 al. [104]

41 ***Análisis de las propiedades funcionales de las muestras de harinas y sus mezclas***

42 El índice de retención de agua alcalina (IRAA) evalúa la proporción de agua
43 alcalina que una harina (con 14% de humedad) puede retener después de la hidratación
44 y centrifugación. El pH alcalino se utiliza para prevenir la interacción de las proteínas
45 que da lugar a la formación de gluten y la influencia del gluten en la retención de agua
46 [24]. Los valores de IRAA para PDM son más de cinco veces más altos en comparación
47 con la harina de trigo (Tabla 8). Además, el valor del índice de solubilidad en agua (ISA)
48 para PDM fue menor que los valores obtenidos por Techeira et al. [59] para harina de
49 mandioca blanca, pero significativamente más alto que la harina de trigo y más altos
50 que los valores usualmente reportados para almidones y harinas de mandioca.

51 El alto IRAA e ISA del PDM podrían ser consecuencia del alto grado de gelatinización
52 de las moléculas de almidón y un bajo grado de ordenamiento intragranular con respecto
53 a productos como el almidón y harina de mandioca. Esta condición facilita la dispersión
54 de componentes moleculares polares (amilosa y amilopectina) y otros sitios de unión
55 para el agua [109]. Las mezclas B y C mostraron un aumento significativo en el IRAA e
56 ISA en comparación con la harina de trigo. Se encontraron índices de correlación
57 superiores a 0,90 entre los parámetros IRAA, ISA y el tamaño medio de partícula. Los
58 valores de SP encontrados para PDM estuvieron dentro del rango establecido por la
59 FAO para almidones de yuca [4]. La asociación de un ISA y un PS altos, como se
60 observa en el PDM, podría reflejar la baja fuerza de asociación en los gránulos
61 producidos por la modificación física del almidón [110,111]. Otros autores obtuvieron
62 comportamientos similares cuando analizaron IRAA, ISA y PS en muestras de harina
63 con reemplazos por almidón resistente, concluyendo que la variación en el contenido de
64 almidón dañado es el principal factor que provoca aumentos en la capacidad de
65 hidratación de harinas o mezclas de harinas [24,51,109].

66 El valor de capacidad mínima de gelificación (CMG) del PDM es significativamente
67 menor que el obtenido para la harina de trigo, y se correlacionó negativamente (- 0,95)
68 con el tamaño de partícula promedio y con los valores de IRAA, ISA y PS. La
69 gelatinización produce la dispersión de fragmentos y moléculas granulares que junto
70 con el hinchamiento de los gránulos de almidón constituyen factores críticos en la
71 formación de suspensiones viscosas, las cuales exhibirían características de gel a
72 concentraciones adecuadas de harina [24]. El PDM tiene un alto contenido de almidón
73 pregelatinizado [112] y esto podría ser la razón por la que se produce la formación de
74 geles fuertes a concentraciones del 14% de PDM, similares a las fuentes de proteínas
75 tradicionales como el suero o la soja, generalmente utilizadas para mejorar la textura de
76 los alimentos [50].

77 Las muestras de PDM exhibieron una capacidad de absorción de aceite (CAA) más alta
78 que la harina de trigo, En la producción de masa, una mayor capacidad de absorción de
79 aceite puede generar un incremento en la densidad aparente y real de masas y
80 productos finales, El aceite afecta la textura de las masas actuando como lubricante,
81 Esta propiedad cobra relevancia para la formulación de muchos productos ya que está
82 relacionada con la capacidad de retención de sabores y la suavidad que adquiere el
83 producto [50,113]. La retención por factores físicos puede ser el principal determinante
84 de la absorción de grasas en PDM ya que la matriz de proteínas y la disposición de
85 aminoácidos no parecen proporcionar una explicación suficiente en un sistema con
86 niveles bajos de proteínas [4,50,99].

87 Ninguna de las muestras analizadas mostró valores altos de Actividad Emulsionante
88 (AE) o Estabilidad Emulsionante (EE) en comparación con otras harinas no tradicionales
89 como las harinas de Arroz, Quinoa y Lentejas [53]. Salcedo Mendoza et al. [21]
90 reportaron valores más altos de AE en almidón de mandioca que los presentados en
91 este trabajo. No hubo diferencias significativas entre las muestras B, C y D para AE,
92 Estos valores fueron significativamente más bajos que los de la harina de trigo,
93 Probablemente esto se deba a que la sustitución por PDM disminuye la cantidad de
94 proteína total en la emulsión. De la misma forma, las mezclas B, C y D mostraron valores
95 estadísticamente similares de EE, pero estos fueron mayores que los obtenidos para la
96 harina de trigo, Se obtuvo una correlación de alto grado (- 0,97) entre CMG y EE.

97 El puré de mandioca presenta similar cantidad de agua separada del gel durante el
98 congelamiento que la harina de trigo en un primer ciclo de
99 congelamiento/descongelamiento. Sin embargo, al observar la sinéresis total existe una

100 clara distinción entre ambas muestras, siendo el PDM más estable que la harina de trigo,
101 Este valor de sinéresis total obtenido para el PDM es similar al obtenido por Techeira et
102 al. [59] quienes utilizan una concentración de 4% de harina de mandioca para la
103 determinación.

104 ***Análisis de las propiedades fisicoquímicas y texturales de las masas elaboradas***
105 ***a partir de las muestras de harinas y sus mezclas***

106 Las propiedades fisicoquímicas de las masas (crudas) y los datos estadísticos
107 obtenidos de las pruebas de textura se pueden ver en la Tabla 9.

108 *Propiedades fisicoquímicas*

109 Los resultados para la humedad (base húmeda) se encuentran en el rango de
110 36,88 a 43,40 % siendo el menor valor para la masa B y el mayor para la masa de PDM
111 (D). El resultado de este análisis refleja las diferencias entre las cantidades de agua que
112 fueron necesarias para formar una masa en cada una de las formulaciones. El rango de
113 humedad típico de una masa procesable normalmente es de 20 a 40 %, por lo que se
114 puede afirmar que las masas elaboradas se encuentran dentro de este rango cercano
115 al límite superior, excepto la masa de PDM que lo supera [114]. Lertworasirikul [14] logro
116 una masa con mezcla de harina de mandioca y otras harinas con una humedad similar
117 a la hallada en este estudio para las masas con sustitución por PDM. Se halló un índice
118 de correlación de 0,80 entre la humedad y el nivel de sustitución por PDM.

119

120

121

122

123

124

125

126

127

128

129 Tabla 9: Propiedades texturales de las masas elaboradas y su correlación con el factor de sustitución.
 130 Valores promedios \pm desvío standard.

Muestra	A	B	C	D	Correlación ($p < 0,05$) ¹
Propiedades fisicoquímicas					
Humedad (db)	58,4 \pm 0,9 ^a	60,5 \pm 1,0 ^b	61,9 \pm 0,3 ^c	76,7 \pm 1,3 ^d	0,8018
Densidad (g/mm ³)	1,25 \pm 0,03 ^a	1,20 \pm 0,1 ^a	1,29 \pm 0,06 ^a	1,30 \pm 0,2 ^a	($p > 0,05$)
Análisis de perfil de textura (TPA)					
Fuerza máx. o	9,8 \pm 0,3 ^a	28,3 \pm 0,8 ^b	30,4 \pm 1,2 ^c	40,2 \pm 3,0 ^d	0,9742
Dureza (N) /kgf	/1,00 \pm 0,03	/2,89 \pm 0,08	/3,09 \pm 0,12	/4,09 \pm 0,31	
Elasticidad	0,23 \pm 0,02 ^a	0,34 \pm 0,01 ^b	0,41 \pm 0,01 ^c	0,680 \pm 0,003 ^d	0,9068
Cohesividad	0,320 \pm 0,020 ^a	0,430 \pm 0,001 ^b	0,480 \pm 0,020 ^c	0,690 \pm 0,010 ^d	0,9286
Gomosidad (N) /kgf	3,09 \pm 0,5 ^a /0,31 \pm 0,05	12,43 \pm 0,4 ^b /1,27 \pm 0,04	14,7 \pm 0,6 ^c /1,49 \pm 0,06	27,05 \pm 0,02 ^d /2,76 \pm 0,02	0,9532
Resiliencia	0,05 \pm 0,01 ^a	0,121 \pm 0,001 ^b	0,15 \pm 0,01 ^c	0,30 \pm 0,01 ^d	0,9114
Extrusión directa o Forward extrusion					
Consistencia (N) /kgf	19,99 \pm 1,39 ^a /2,04 \pm 0,14	64,6 \pm 6,8 ^b /6,58 \pm 0,69	61,5 \pm 4,6 ^b /6,27 \pm 0,47	86,4 \pm 7,2 ^a /8,81 \pm 0,73	0,9410
Área bajo la curva	710,9 \pm 62,9 ^a	2345,4 \pm 257,2 ^b	2017,8 \pm 35,8 ^b	2677,2 \pm 183,6 ^c	0,9030
Compresión					
Fuerza Máx. (N), / kgf	30,7 \pm 2,8 ^a /3,13 \pm 0,28	71,2 \pm 8,3 ^b /7,26 \pm 0,85	75,5 \pm 2,3 ^b /7,69 \pm 0,23	34,17 \pm 4,02 ^a /3,48 \pm 0,41	($p > 0,05$)
Propagación (mm)	5,5 \pm 0,5 ^a	2,1 \pm 0,2 ^b	1,3 \pm 0,6 ^b	0,5 \pm 0,2 ^c	-0,8111
Extensibilidad					
Extensibilidad (mm)	46,8 \pm 4,4 ^a	21,9 \pm 1,4 ^b	22,8 \pm 1,7 ^b	27,8 \pm 1,3 ^c	-0,7457
Tenacidad (N) / kgf	0,60 \pm 0,06 ^a /0,061 \pm 0,006	0,58 \pm 0,08 ^b /0,059 \pm 0,008	0,39 \pm 0,05 ^c /0,040 \pm 0,005	1,1 \pm 0,1 ^d /0,11 \pm 0,01	($p > 0,05$)

131 Estadísticamente no hay diferencia significativa entre aquellas muestras con el mismo superíndice en la misma fila. 1 con el factor "% de sustitución".

132 Las masas fueron elaboradas con A: Harina de trigo (HT), B: HT 50 %p/p+ Puré deshidratado de Mandioca (PDM) 50 %p/p, C: HT

133 25%p/p+PDM75%p/p, D: PDM

134 *Análisis de Perfil de Textura (TPA)*

135 La Figura 29 muestra los gráficos típicos obtenidos de la prueba de TPA en las
 136 masas elaboradas. El valor de dureza para la masa D fue significativamente mayor que

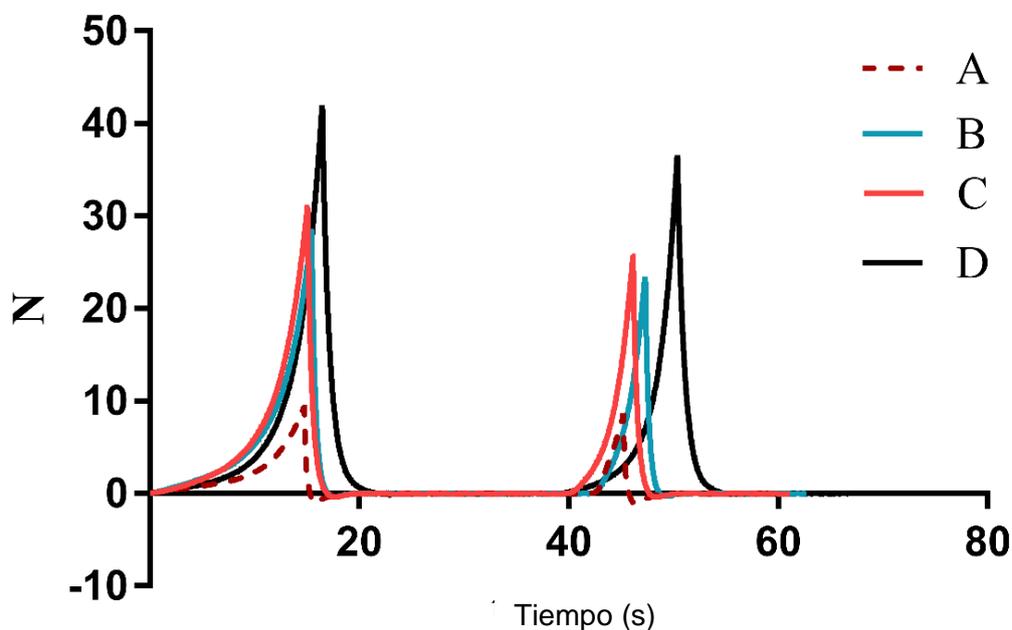


Figura 29: gráfica representativa de la prueba de TPA para las distintas muestras de masas elaboradas. Las masas fueron elaboradas con A: Harina de trigo (HT), B: HT 50 %p/p+ Puré deshidratado de Mandioca (PDM) 50 %p/p, C: HT 25%p/p+PDM75%p/p, D: PDM.

137 el obtenido para la masa A, La dureza de las masas B, C y D también fue mayor que la
 138 encontrada por Rodríguez-Sandoval, et al. [115] en muestras de masa de mandioca
 139 reconstituida. Sin embargo, la diferencia puede estar relacionada con que la humedad
 140 de la masa de mandioca reconstituida (65 % de base húmeda) fue mayor que la de las
 141 masas elaboradas en esta investigación.

142 La elasticidad aumentó con la proporción de PDM, es decir a medida que aumenta el
 143 nivel de reemplazo, la masa retiene más de su estructura original después de la primera
 144 compresión. La masa de PDM triplica la elasticidad de la formulación A. En la práctica,
 145 este parámetro indica el comportamiento que tendrá la masa durante el amasado o
 146 conformado y posteriormente. Martínez, et al. [116] obtuvieron efectos similares en
 147 masas con sustitución parcial de harinas sin gluten por fibras insolubles.

148 La cohesión mostró la misma tendencia a aumentar cuando aumentó la proporción de
 149 PDM, El valor de cohesión de la masa D fue más del doble que el de la formulación A.
 150 Rodríguez-Sandoval et al. [115] encontraron valores de cohesión más bajos en la
 151 muestra de masa de mandioca reconstituida que en la masa de PDM.

Lic. Cazzaniga Amanda

152 La gomosidad y la resiliencia también aumentan cuando aumenta el nivel de sustitución.
153 La masa de PDM presenta valores de gomosidad más de nueve veces superiores a la
154 formulación A. Asimismo, la masa de PDM presentó valores de resiliencia seis veces
155 mayores que la masa A.

156 La dureza obtenida por TPA se correlacionó positivamente con IRAA (0,97), tamaño de
157 partícula promedio (0,97) y humedad de la masa (0,79) y negativamente con CMG
158 (-0,99). La gomosidad tuvo una correlación de - 0,98 con CMG y de 0,93 con la humedad
159 de la masa. La resiliencia se correlacionó con la humedad de la masa (0,97), el PS (0,94)
160 y con el tamaño medio de partícula (0,91). La humedad de las masas se correlacionó
161 (0,96) con los valores de elasticidad y cohesión obtenidos mediante TPA. La gomosidad,
162 la elasticidad y la cohesión se correlacionaron con SP ($\geq 0,95$). Estos parámetros de
163 textura también se correlacionaron con el tamaño medio de partícula ($\geq 0,90$) y con IRAA
164 ($\geq 0,85$).

165 *Ensayo de extrusión directa o Forward Extrusion*

166 La consistencia es un concepto difícil de medir y definir ya que implica
167 numerosas propiedades como dureza, viscosidad, plasticidad y elasticidad. La
168 consistencia se puede utilizar como pauta para establecer las características requeridas
169 para que los equipos industriales puedan procesar la masa durante operaciones como
170 amasado, laminado, corte, etc. [117]

171 La consistencia de la masa se incrementó con el nivel de sustitución. Según Martínez et
172 al. [116], un marcado aumento en la consistencia de las masas podría estar relacionado
173 con un mayor tamaño de partícula, lo que está de acuerdo con la correlación encontrada
174 (0,94) en este estudio entre la consistencia de las masas y el tamaño medio de partícula.
175 Además, se encontró una correlación entre consistencia e IRAA (0,93).

176 El trabajo total requerido para extruir la masa de PDM es cuatro veces mayor que el
177 necesario para la masa A. El trabajo total requerido para las masas B y C mostró valores
178 estadísticamente similares que también representó un trabajo total mayor que para la
179 masa A. El trabajo total se correlacionó positivamente con IRAA (0,95) y tamaño medio
180 de partícula (0,89). Para formar una masa, el PDM requirió el 11 % de su capacidad de
181 retención de agua, mientras que la harina de trigo requería el 50 % de su capacidad de
182 retención de agua, esto podría obstaculizar el movimiento de las partículas en la masa
183 de PDM. Además, el mayor tamaño de partícula probablemente también afecte la
184 capacidad de movimiento de las partículas, ya que, bajo la misma fuerza, las partículas

185 más grandes presentan mayor dificultad para moverse que las partículas más pequeñas
186 [107]. Esto también podría brindar una explicación para los altos valores de los
187 parámetros texturales "Dureza" y "gomosidad" en TPA.

188 *Prueba de compresión:*

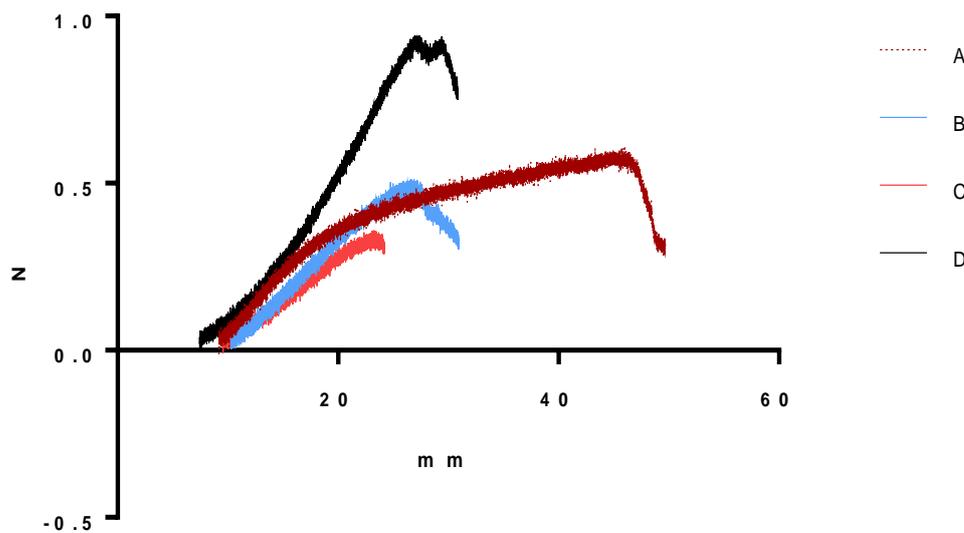
189 En el ensayo de compresión a diferencia de los ensayos anteriores, los valores
190 de fuerza para la masa de PDM y la masa de harina de trigo no presentan diferencias
191 significativas entre sí. La diferencia en los resultados obtenidos en este ensayo frente a
192 los obtenidos mediante TPA en cuanto a dureza pueden deberse en parte a la geometría
193 de la masa que es diferente para ambos ensayos. Las masas B y C duplican los valores
194 de resistencia máxima de las otras masas, pero no tienen una diferencia significativa
195 entre ellas. No se encontró correlación significativa entre este parámetro y las otras
196 propiedades estudiadas. La interacción entre PDM y la red de gluten podría ser
197 responsable del diferente comportamiento de los reemplazos parciales.

198 La masa de PDM muestra un menor aumento en el diámetro final que la formulación A.
199 Las masas B y C no tuvieron diferencias significativas entre ellas en cuanto al diámetro
200 final, y sus valores también fueron menores que los de la formulación A. Para todas las
201 masas estudiadas, la fuerza máxima y el aumento de diámetro después de la
202 compresión fueron menores que los obtenidos por Laguna Cruañes en galletas con
203 agregado de almidón resistente [118]. El aumento en el diámetro final de los discos de
204 masa se correlacionó con la elasticidad TPA (- 0,80) y con el tamaño medio de partícula
205 (- 0,82). Al menos en parte, este comportamiento podría explicarse por la dificultad que
206 tienen las partículas grandes para fluir como se mencionó anteriormente.

207 *Ensayo de Extensibilidad*

208 Un ejemplo de las gráficas obtenidas durante el ensayo de extensibilidad puede
209 observarse en la Figura 30. En este ensayo la masa de PDM mostró un 40 % menos de
210 extensibilidad que la masa A. Las masas B y C presentaron valores de extensibilidad
211 estadísticamente similares entre sí y un 55 % más bajos que la masa A. Los valores de
212 extensibilidad obtenidos para las masas B, C y D fueron relevantes ya que superan las
213 encontradas por otros autores en láminas de masa elaboradas con harinas alternativas
214 o masas con sustituciones parciales, considerando el porcentaje de reposición evaluado
215 [61,119]. Por otro lado, la masa de PDM presentó mayor tenacidad que la masa A. El
216 aumento de la tenacidad tuvo una correlación positiva con la humedad de la masa
217 (0,86).

Lic. Cazzaniga Amanda



218

Figura 30: graficas obtenidas durante el ensayo de extensibilidad de las masas con contenido creciente de PDM. Las masas fueron elaboradas con A: Harina de trigo (HT), B: HT 50 %p/p+ Puré deshidratado de Mandioca (PDM) 50 %p/p, C: HT 25%p/p+PDM75%p/p, D: PDM.

219 La disminución de la extensibilidad y el aumento de la tenacidad se han atribuido, en
 220 investigaciones previas, al aumento del contenido de almidón dañado, presencia de fibra
 221 o bajo contenido de agua. Esto es debido a que las primeras generan una disrupción en
 222 la matriz del gluten y la restricción hídrica afectaría la formación del gluten [24,51,120].
 223 Esto podría explicar el comportamiento de las masas B y C ya que las partículas de
 224 PDM podrían estar interrumpiendo la matriz de gluten lo que produciría su debilitamiento
 225 y afectando la extensibilidad de las masas y también, al presentar una mayor capacidad
 226 de absorción de agua, podrían estar impidiendo la correcta hidratación del gluten.

227 *Ensayo de Adhesividad*

228 Los datos recolectados mediante la prueba de adhesividad presentaron
 229 desviaciones estándar mayores al 100 % por lo que cualquier análisis estadístico
 230 aplicado carecería de sentido y no permitiría el abordaje de una discusión
 231 fundamentada. Los datos obtenidos se encuentran en el anexo,

232 *Efecto de la incorporación de PDM en la textura de las masas*

233 El nivel de sustitución obtuvo una correlación positiva de alto grado ($> 0,95$) con
 234 todos los parámetros texturales analizados por la prueba TPA y con la prueba de
 235 extrusión directa (forward extrusion). Se encontró una fuerte correlación negativa
 236 ($< -0,90$) entre el nivel de sustitución y la propagación (diámetro final) después de la

237 prueba de compresión. Se encontró una correlación positiva ($> 0,80$) entre el nivel de
238 sustitución y la extensibilidad y también con la humedad de las masas.

239 Otros autores reportaron que masas sin gluten aún con la adición de hidrocoloides o
240 masas con diferentes niveles de reemplazo por productos a base de papa, mandioca o
241 almidón resistente, tienen menor dureza, gomosidad, cohesión, elasticidad, resiliencia y
242 consistencia que las masas con gluten [121–125]. Al contrario, en esta investigación los
243 resultados obtenidos demuestran que el aumento en el nivel de reemplazo con PDM
244 genera un aumento significativo en todos los parámetros de TPA y también en la
245 consistencia evaluada a través de la prueba de extrusión hacia adelante. Esto podría
246 ser de interés para mejorar la maquinabilidad de masas o rebozados sin gluten, y para
247 el desarrollo de productos basados en PDM. Sin embargo, un aumento excesivo de la
248 consistencia de las masas podría generar problemas relacionados con la fuerza
249 necesaria para el procesamiento industrial. Todavía es necesario estudiar el
250 comportamiento a escala industrial.

SECCIÓN II

ESTUDIO DEL COLOR Y SU VARIACIÓN CON VARIABLES DE PROCESO EN LAS
DIFERENTES ETAPAS DE PRODUCCIÓN,

1 **Color de las harinas**

2 Del análisis de los datos obtenidos para las harinas, PDM y mezclas, se
 3 desprende que la luminosidad (L^*) descendió con el aumento de la proporción de puré,
 4 y a su vez este proporcionó un aumento en la coloración roja (a^*) y amarilla (b^*). Los
 5 resultados obtenidos pueden observarse en la Tabla 10. Resultados similares fueron
 6 observados en la sustitución de harina de trigo por harina de quinoa o soja en rebozados,
 7 donde también se produjo una disminución de L^* , sin embargo, en esos estudios
 8 disminuyeron también los parámetros a^* y b^* [126].

9 *Tabla 10: Parámetros CIE – L^* a^* b^* , CIE- $L^*C^*H^*$ e índice de pardeamiento (IP) en harinas y masas. Valores*
 10 *promedios \pm desvío standard.*

		Tamaño medio de partícula	L^*	a^*	b^*	C^*	H^*	IP
Harinas	A	169,9 \pm 3,4 ^a	95,3 \pm 0,5 ^a	0,6 \pm 0,03 ^d	7,5 \pm 0,22 ^d	7,6 \pm 0,2 ^d	1,52 \pm 0,004 ^a	8,54 \pm 0,26 ^d
	B	244,4 \pm 8,0 ^b	92,8 \pm 1,6 ^b	1,1 \pm 0,05 ^b	10,0 \pm 0,09 ^c	10,0 \pm 0,1 ^c	1,477 \pm 0,003 ^c	11,98 \pm 0,35 ^c
	C	282,2 \pm 11,5 ^c	91,5 \pm 0,6 ^b	1,2 \pm 0,09 ^a	13,0 \pm 0,47 ^b	13,0 \pm 0,5 ^b	1,463 \pm 0,004 ^d	15,92 \pm 0,59 ^b
	D	322,1 \pm 8,8 ^d	86,4 \pm 1,7 ^c	0,9 \pm 0,04 ^c	18,2 \pm 1,60 ^a	18,2 \pm 1,6 ^a	1,486 \pm 0,005 ^b	23,93 \pm 2,54 ^a
Masas	A		85,8 \pm 0,3 ^a	1,06 \pm 0,06 ^d	15,76 \pm 0,7 ^a	15,79 \pm 0,7 ^c	1,50 \pm 0,001 ^a	20,75 \pm 1,10 ^d
	B		77,2 \pm 0,9 ^b	2,22 \pm 0,16 ^c	22,03 \pm 0,5 ^b	22,14 \pm 0,5 ^b	1,47 \pm 0,01 ^b	34,99 \pm 1,14 ^c
	C		75,1 \pm 0,3 ^c	2,97 \pm 0,28 ^b	24,11 \pm 0,2 ^c	24,29 \pm 0,2 ^a	1,45 \pm 0,01 ^c	40,79 \pm 0,56 ^b
	D		70,6 \pm 0,7 ^d	3,27 \pm 0,20 ^a	24,37 \pm 0,5 ^c	24,59 \pm 0,5 ^a	1,44 \pm 0,01 ^c	44,77 \pm 1,21 ^a

11 No hay diferencia estadística entre niveles que tienen el mismo superíndice en la misma columna. Las muestras fueron elaboradas con A: Harina de
 12 trigo (HT), B: HT 50 %p/p+ Puré deshidratado de Mandioca (PDM) 50 %p/p, C: HT 25%p/p+PDM75%p/p, D: PDM.

13 No se hallaron diferencias significativas de luminosidad entre las muestras B y C
 14 elaboradas con mezclas de PDM y harina, a pesar de que PDM es significativamente
 15 menos luminoso que la harina de trigo.

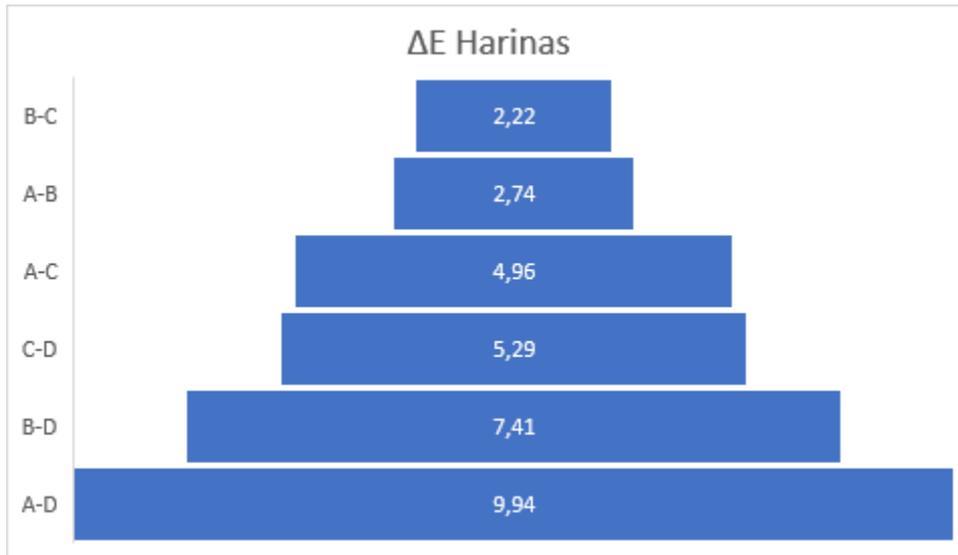
16 Diferencias en las características de color de las harinas generalmente se deben a
 17 contrastes en los pigmentos presentes, que a su vez dependerán del origen botánico de
 18 la planta y también de la composición [127]. En este sentido, para el PDM se obtuvieron
 19 valores significativamente mayores de L^* y b^* que los obtenidos por Techeira et al. [59]
 20 para harinas de mandioca de variedades blanca y amarilla. Sin embargo, en el PDM las
 21 reacciones de caramelización y de Maillard que se producen durante su elaboración
 22 (horneado) parecen brindar una mejor explicación en cuanto a su color.

23 El índice de pardeamiento (IP), que indica la pureza del color marrón, aumentó con el
24 porcentaje de PDM (Tabla 10). Esto es debido a que el componente b^* es el principal
25 factor que determina el IP (Ecuación 3) y en el PDM este se encontró en mayor
26 proporción.

27 En el sistema de coordenadas CIE $L^*C^*H^*$, los valores del parámetro de color Croma
28 (C^*) corresponden al grado de saturación del color. A mayores valores de a^* y b^* ,
29 corresponden mayores valores de Croma. La coordenada H^* representa el color
30 verdadero, eficaz para la visualización de la apariencia del color de los productos
31 alimenticios [128]. El valor de C^* se incrementó con el aumento en la proporción de
32 PDM. Esto indica que la harina de trigo es menos cromática, es decir tiene un nivel de
33 saturación del color menor que el PDM. El H^* en todos los casos fue similar y representó
34 un color ubicado en el cuadrante rojo-amarillo pero cercano al eje $+a^*$ (rojo).

35 Los resultados hallados para la diferencia total de color (ΔE) pueden verse en la *Figura*
36 *31*. La mayor diferencia en el color se encontró entre las muestras de harina de trigo y
37 PDM. Sin embargo, la diferencia de color, entre la muestra de D y la muestra B fue
38 mayor que la que existió entre B y A. Así mismo, la diferencia entre la muestra A y la C
39 fue menor que entre C y D. Esto indicaría que la composición del color de las mezclas
40 de harina y PDM está más influenciada por el color de la harina que por el del PDM. Si
41 bien, el agregado de PDM a la harina también significa una variación en el color, esta
42 es menor.

43 Los valores más bajos de ΔE se encontraron entre las muestras A y B, y B y C. Sin
44 embargo, la diferencia entre muestras podría ser percibida no solo por el color sino
45 también por la diferencia en granulometría de ambas muestras (Tabla 10 -Figura 1). La
46 granulometría mantuvo una correlación positiva con la proporción de PDM (0,991 p
47 <0,05).



48

Figura 31:14 Diferencia total de color entre harina de trigo, PDM y mezclas. Las muestras fueron elaboradas con A: Harina de trigo (HT), B: HT 50 %p/p+ Puré deshidratado de Mandioca (PDM) 50 %p/p, C: HT 25%p/p+PDM75%p/p, D: PDM.

49 **Color de las masas**

50 De los resultados de la Tabla 10, se observa que las masas mantuvieron la
 51 tendencia presentada por las harinas a disminuir la luminosidad (L^*) con el aumento de
 52 la proporción de puré, y a su vez este proporcionó un aumento en la coloración roja (a^*)
 53 y amarilla (b^*). La variación en los parámetros a^* y b^* mostró diferencia significativa
 54 entre las muestras A, B y C, pero las muestras C y D se mostraron homogéneas en las
 55 tres coordenadas CIE- $L^*a^*b^*$.

56 Las variaciones en la coloración de las masas respecto a las harinas están relacionadas
 57 principalmente con la incorporación de agua, pero también con la incorporación de otros
 58 ingredientes (Tabla 10). En la muestra de masa A, el valor de la tonalidad amarilla (b^*)
 59 se duplicó respecto al valor de la muestra A de harina. Este aumento en el valor b^* de
 60 las masas respecto de las harinas, también ocurrió en las demás muestras, pero a
 61 medida que aumentaba la proporción de PDM la diferencia entre harinas y masas
 62 disminuyó.

63 Los valores de a^* (rojo) tuvieron el comportamiento inverso a los valores de b^* , es decir
64 que las muestras con mayor cantidad de PDM mostraron una mayor diferencia entre a^*
65 de harinas y a^* de masas a medida que aumentaba la proporción de PDM.

66 En el sistema CIE- $L^*C^*H^*$, el ángulo indicado por la coordenada H^* se mantuvo para las
67 masas en valores similares a los obtenidos para las harinas, es decir cercanos al eje
68 $+a^*$.

69 El parámetro C^* aumenta en función de los valores de a^* y b^* reflejando el aumento en
70 la saturación del color que se produjo con el aumento en la proporción de PDM, aunque
71 no se encontró diferencia significativa a partir del 75 % de sustitución de harina por PDM
72 (muestra C). Los cambios que se producen en la saturación del color cuando se produce
73 una masa están vinculados a la incorporación de agua en el sistema [129,130]. Al
74 incorporar agua a las harinas se producen una serie de transformaciones fisicoquímicas
75 como ser la hinchazón de los gránulos de almidón o la formación de la red de gluten,
76 estas transformaciones e interacciones entre compuestos generan cambios en la
77 capacidad de absorción de las ondas electromagnéticas. Es así como, la variación en
78 las proporciones de diferentes componentes de las materias primas (almidón, proteínas,
79 pigmentos, azúcares, etc.) producen cambios en la coloración de las masas [131]. En
80 este estudio se observó que la elaboración de la masa con respecto a las harinas
81 produjo una disminución de la luminosidad y un aumento en la saturación, es decir un
82 aumento en el reflejo de las longitudes de onda correspondientes a los colores amarillo
83 y rojo.



84

Figura 32: Diferencia total de color entre masas obtenidas a partir de harina de trigo, PDM y mezclas y diferencia total de color entre las masas y las harinas. Las muestras fueron elaboradas con A: Harina de trigo (HT), B: HT 50 %p/p+ Puré deshidratado de Mandioca (PDM) 50 %p/p, C: HT 25%p/p+PDM75%p/p, D: PDM.

85 Como puede observarse en la Figura 32, todas las muestras ensayadas mostraron
 86 variación en el color total (ΔE) entre las muestras de harinas y las masas. La mayor
 87 variación en el color fue encontrada entre las muestras que contenían mezclas de harina
 88 y PDM. La menor variación se halló en la muestra D.

89 Los valores de ΔE entre las masas fueron mayores respecto a los valores de ΔE que se
 90 hallaron entre harinas. Al igual que los resultados hallados para las harinas, en las
 91 masas la mayor diferencia estuvo dada entre las muestras A y D y la menor entre B y C
 92 (Figura 32).

93 El ΔE hallado para la masa D y las muestras de masas B y C (figura 32) fue menor que
 94 el hallado entre sus harinas (Figura 31). Esto también se vio reflejado en un aumento en
 95 la diferencia de las muestras B y C con la muestra A. Es decir que, al formar las masas,
 96 el color de las mezclas B y C tendió hacia el color de la masa D, indicando que
 97 efectivamente el PDM influyó significativamente en el color de las masas.

98 **Color de los productos horneados**

99 En la Tabla 11 pueden observarse los valores de los parámetros de color
 100 obtenidos para los snacks horneados utilizando las mismas condiciones de tiempo y
 101 temperatura que se reconocieron como satisfactorias para la muestra control (A).

102 Todas las muestras con PDM presentaron una menor luminosidad que la muestra A, a
 103 todas las temperaturas. Se halló una correlación de -0,74 ($p < 0,05$) entre la luminosidad
 104 (L^*) y el porcentaje de PDM, Los parámetros a^* , b^* , C^* y H^* no presentaron correlaciones
 105 significativas con porcentaje de PDM ni con la temperatura. Si bien el IP no mantuvo
 106 una correlación significativa con el porcentaje de PDM, la mayoría de las muestras con

107 PDM presentaron valores mayores a los presentados por la muestra A. Las diferencias
 108 en la coloración se pueden observar en las Figuras 33 y 34 donde se muestran las
 109 fotografías de las muestras horneadas a 220 °C en tiempos crecientes con diferencias
 110 de 1 minuto.

111 *Tabla 11: parámetros CIE L*a*b* y CIE-LCH e índice de pardeamiento (IP) de los snacks horneados bajo*
 112 *las mismas condiciones de tiempo/temperatura y horneados a diferentes tiempos. Valores promedios ±*
 113 *desvío standard.*

°C	Tiempo (Min)		L*	a*	b*	C*	H*	IP	Humedad final % (b. seca)
190	14	A	69,7±1,04 ^a	8,2±0,6 ^a	24,8±0,4 ^{ab}	26,15±0,1 ^{ab}	1,25±0,03 ^b	51,9±1,0 ^b	
		B	33,2±4,0 ^b	6,7±0,7 ^{ab}	18,9±2,7 ^a	20,08±2,6 ^b	1,23±0,04 ^b	91,5±24,6 ^a	
		C	44,3±7,6 ^{ab}	5,0±1,4 ^b	31,00±5,4 ^b	31,43±5,4 ^a	1,41±0,05 ^a	118,0±2,7 ^a	
		D	43,6±1,6 ^b	7,0±0,8 ^a	31,2±6,2 ^b	31,94±6,2 ^a	1,35±0,03 ^a	126,5±31,3 ^a	
205	9	A	74,0±0,9 ^a	5,3±0,5 ^a	21,4±0,6 ^a	22,1±0,7 ^b	1,33±0,02 ^a	38,9±2,0 ^b	
		B	30,2±1,7 ^c	9,6±1,1 ^b	18,3±4,5 ^a	20,7±3,7 ^b	1,07±0,1 ^b	112,5±24,5 ^b	
		C	52,9±2,9 ^b	8,4±1,5 ^b	21,3±0,3 ^a	22,9±0,6 ^b	1,19±0,06 ^{ab}	62,2±4,4 ^b	
		D	20,1±2,4 ^d	19,7±1,5 ^c	21,6±3,5 ^a	29,2±3,5 ^a	0,83±0,05 ^c	315±112 ^a	
220	9	A	72,3±0,9 ^a	6,5±0,4 ^c	23,5±0,9 ^a	24,4±0,8 ^a	1,30±0,02 ^a	45,2±1,6 ^c	
		B	30,3±2,8 ^b	14,4±3,2 ^b	16,5±3,7 ^b	22,2±2,5 ^{ab}	0,85±0,2 ^b	110,0±13,6 ^a	
		C	26,5±2,6 ^{bc}	18,6±1,1 ^a	-4,1±0,6 ^d	19,0±1,1 ^b	-0,22±0,03 ^c	29,5±4,9 ^c	
		D	23,4±2,6 ^c	11,0±2,3 ^b	9,9±3,2 ^c	14,9±2,9 ^c	0,72±0,2 ^b	87,6±17,4 ^b	
235	7	A	69,4±0,9 ^a	7,0±0,5 ^a	23,9±0,9 ^a	25,0±0,9 ^{ab}	1,28±0,02 ^a	49,07±1,8 ^c	
		B	44,2±4,8 ^c	9,4±5,9 ^a	26,4±4,7 ^a	28,6±2,5 ^a	1,22±0,25 ^a	102,3±4,3 ^a	
		C	31,8±1,4 ^d	8,1±3,3 ^a	31,8±8,1 ^a	8,5±3,0 ^c	0,30±0,17 ^b	24,8±6,4 ^b	
		D	53,6±4,2 ^b	6,3±2,2 ^a	21,1±5,7 ^a	22,3±4,9 ^b	1,25±0,17 ^a	57,7±8,5 ^b	
190	14	A	69,7±1,4 ^a	8,2±0,6 ^a	24,8±0,4 ^a	26,1±0,1 ^b	1,25±0,03 ^c	51,9±1,0 ^b	2,1±0,1 ^d
	9	B	68,0±1,7 ^a	7,8±0,6 ^a	25,0±0,8 ^a	26,2±0,9 ^b	1,27±0,02 ^{bc}	53,5±2,0 ^b	4,1±0,1 ^b
	8	C	70,3±1,4 ^a	7,0±0,5 ^a	28,7±1,1 ^c	29,5±1,1 ^a	1,33±0,02 ^a	58,7±2,9 ^a	3,4±0,2 ^c
	9	D	66,0±2,7 ^a	7,4±0,5 ^a	26,5±0,4 ^b	27,5±0,4 ^b	1,30±0,02 ^{ab}	58,5±2,9 ^a	4,0±0,3 ^{ab}
205	9	A	74,0±0,9 ^a	5,3±0,5 ^b	21,4±0,6 ^b	22,1±0,7 ^c	1,33±0,02 ^b	38,9±2 ^c	3,4±0,1 ^d
	6	B	72,3±1,0 ^{ab}	6,9±0,5 ^a	22,4±0,3 ^b	23,5±0,2 ^{bc}	1,27±0,02 ^c	43,5±0,8 ^{bc}	3,6±0,1 ^c
	5	C	69,9±2,3 ^{ab}	4,8±0,4 ^b	24,2±1,2 ^a	24,7±1,2 ^{ab}	1,37±0,01 ^a	46,8±4,7 ^{ab}	4,9±0,1 ^b
	7	D	71,8±1,0 ^b	6,2±0,3 ^a	25,5±0,9 ^a	26,2±0,8 ^a	1,33±0,02 ^b	49,4±2,6 ^a	6,0±0,1 ^a
220	9	A	72,3±0,9 ^{ab}	6,5±0,4 ^b	23,5±0,9 ^{ab}	24,4±0,8 ^a	1,30±0,02 ^b	45,2±1,6 ^{ab}	5,6±0,03 ^b
	6	B	69,6±0,8 ^c	8,5±0,5 ^a	22,6±2,7 ^b	24,2±1,3 ^a	1,21±0,02 ^c	47,6±2,7 ^a	5,7±0,1 ^b
	5	C	74,4±2,4 ^a	4,1±0,3 ^c	23,0±0,9 ^{ab}	23,4±0,9 ^a	1,39±0,01 ^a	40,5±3,4 ^b	6,5±0,3 ^a
	7	D	71,2±0,4 ^{cb}	3,9±0,3 ^c	24,6±1,1 ^a	24,9±1,1 ^a	1,41±0,01 ^a	45,6±2,4 ^a	4,8±0,1 ^c
235	7	A	69,4±0,9 ^{ab}	7,0±0,5 ^a	23,9±0,9 ^a	25,0±0,9 ^a	1,28±0,02 ^{bc}	49,1±1,8 ^a	7,1±0,3 ^a
	5	B	71,5±2 ^{ab}	6,8±0,6 ^a	21,4±0,6 ^b	22,4±0,7 ^{bc}	1,26±0,02 ^c	42,7±2,6 ^b	4,9±0,1 ^b
	4,5	C	72,4±2,4 ^a	3,8±0,2 ^c	21,3±0,4 ^b	21,6±0,4 ^c	1,39±0,01 ^a	38,0±0,7 ^c	6,5±0,4 ^a
	6	D	68,7±0,6 ^b	5,9±0,4 ^b	23,3±1,3 ^a	24,0±1,2 ^{ab}	1,32±0,03 ^b	46,9±2,0 ^a	7,3±0,3 ^a

114 No hay diferencias significativas entre aquellos niveles que comparten el mismo superíndice en la misma columna. Las muestras fueron elaboradas
 115 con A: Harina de trigo (HT), B: HT 50 %p/p+ Puré deshidratado de Mandioca (PDM) 50 %p/p, C: HT 25%p/p+PDM75%p/p, D: PDM.

116

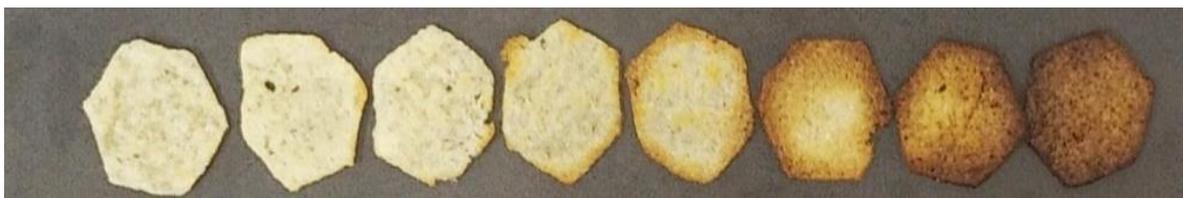


Figura 33: Desarrollo del color durante el horneado en la formulación D a 220°C desde el minuto 2 al minuto 9

117



Figura 34: Desarrollo del color durante el horneado en la formulación control a 220°C desde el minuto 1 al minuto 9

118

La variación del color que ocurre durante el horneado es consecuencia de las reacciones de caramelización y de Maillard que se producen en mayor o menor medida en todas las masas. Sin embargo, la proporción de azúcares, almidón y proteínas gobernará dicho proceso ante iguales condiciones de horneado.

122

Los valores obtenidos para las coordenadas de L^* , a^* y b^* con tiempos de horneado diferenciados pueden observarse también en la *Tabla 12*.

123

124

Los valores de L^* disminuyeron frente a los valores de L^* de harinas y masas, mientras los valores de a^* y b^* aumentaron. En coordenadas $L^* C^* H^*$, esto se tradujo en una mayor saturación del color y un menor ángulo acercándose aún más al eje de $+a^*$.

125

126

127

Para la humedad final se obtuvo un índice de correlación de 0,80 con la temperatura y de -0,66 con el tiempo de horneado. No se hallaron correlaciones ($p < 0,05$) entre la humedad o el contenido de PDM y los valores de coordenadas de L^* , a^* y b^* . Para la temperatura de horneado y el parámetro b^* fue hallada una correlación de -0,74.

128

129

130

131

Con respecto a las masas los valores de b^* aumentaron y los de L^* disminuyeron en los snacks, en consecuencia, también los valores de IP de las muestras horneadas aumentaron respecto a los valores de las masas. Esto no se vio en los casos de la muestra C a 220 y 235 °C donde se observó una disminución en el índice de pardeamiento respecto al valor de la masa. La muestra A, a todas las temperaturas, fue la que más incrementó el valor de IP respecto al de la masa (*Tabla 12*). La muestra D mostró menos diferencia entre los valores de IP de masa y de snacks horneados.

132

133

134

135

136

137

138

139 *Tabla 12: Cambios en el índice de pardeamiento (IP) según el tiempo de horneado. Valores promedios ±*
 140 *desvío standard.*

Muestra	°C	Tiempo	IP	Diferencia de IP snack-masa	Tiempo	IP	Diferencia de IP snacks-masa	Diferencia de IP snack-snack
A	190	14	51,9±1,0 ^a	31,15	14	51,9±1,0 ^a	31,15	
	205	9	38,8±2,0 ^b	18,05	9	38,8±2,0 ^b	18,05	
	220	9	45,2±1,6 ^c	24,45	9	45,2±1,6 ^c	24,45	
	235	7	49,1±1,8 ^a	28,35	7	49,1±1,8 ^a	28,35	
B	190	14	91,52±22,88 ^a	56,53	9	53,5±2,0 ^a	18,51	-38,02
	205	9	112,5±23,94 ^a	77,51	6	43,5±0,8 ^b	8,51	-69,0
	220	9	110,03±6,95 ^a	75,04	6	47,6±4,3 ^c	12,61	-62,43
	235	7	102,35±4,29 ^a	67,36	5	42,7±2,6 ^b	7,71	-59,65
C	190	14	118,03±1,42 ^a	77,24	8	58,7±2,9 ^a	17,01	-59,33
	205	9	62,21±3,03 ^b	21,42	5	46,8±4,7 ^b	9,01	-15,41
	220	9	29,55±0,61 ^c	-11,24	5	40,5±3,4 ^c	-0,29	10,95
	235	7	24,83±6,22 ^c	-15,96	4:30	38,0±0,7 ^c	-2,79	13,17
D	190	14	126,52±0,89 ^a	81,75	9	58,5±2,9 ^a	13,73	-68,02
	205	9	314,93±87,04 ^b	270,16	7	49,4±2,6 ^b	4,63	-265,53
	220	9	87,57±4,04 ^a	42,8	7	45,6±2,4 ^b	0,83	-41,97
	235	7	57,71±3,89 ^a	12,94	6	46,9±2,0 ^b	2,13	-10,81

141 No hay diferencias significativas entre aquellos niveles que comparten el mismo superíndice en la misma columna. Las muestras fueron elaboradas
 142 con A: Harina de trigo (HT), B: HT 50 %p/p+ Puré deshidratado de Mandioca (PDM) 50 %p/p, C: HT 25%p/p+PDM75%p/p, D: PDM.

143 Entre las diferentes muestras de snacks horneados a diferentes tiempos tampoco se
 144 observó una tendencia definida en los valores de IP respecto a la proporción de PDM
 145 en las muestras o respecto a la temperatura de horneado (Tabla 13).

146 El desarrollo más acelerado de la coloración podría deberse a coeficientes de difusión
 147 de agua mayores en las muestras con PDM que faciliten una evaporación acelerada del
 148 agua respecto a las muestras sin PDM, por ello, esta propiedad se estudia más adelante
 149 en la sección III. Esto permitiría el inicio más temprano de la caramelización de azúcares
 150 y reacción de Maillard. El punto de inicio de los parámetros de color, es decir el color de
 151 las masas también puede ser un factor determinante de esto.

152 Respecto a los snacks horneados a diferentes tiempos en la *Tabla 13* puede observarse
 153 que la mayor variación entre el color de la masa y de los productos horneados estuvo
 154 dada para la muestra A. La variación disminuyó a medida que aumentó la proporción de

155 PDM. Es decir que el color de la masa tiene una diferencia total de color baja con los
156 productos finales en el caso de la muestra D.

157 La diferencia de color entre las muestras A y D a todas las temperaturas fue siempre
158 menor a 5 puntos. Es decir que variar el tiempo de horneado logró acercar el color de
159 las muestras con PDM a la muestra control de harina de trigo. En este sentido, lograr el
160 color similar a la muestra control siempre requirió de menor tiempo, esto podría
161 traducirse en menor costo energético en esta etapa de la producción.

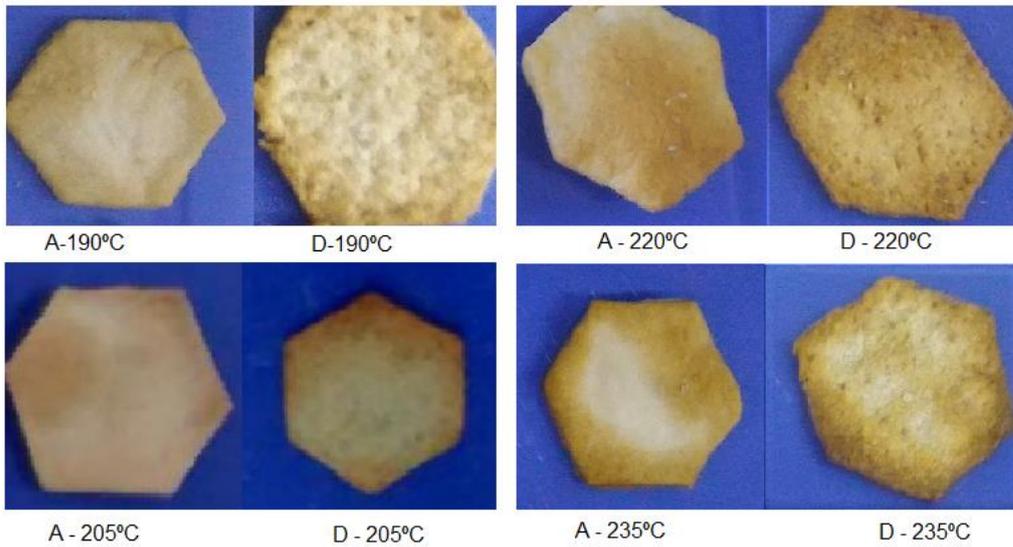
162 *Tabla 13: diferencia total de color entre snacks horneados y entre cada snack y su masa*

°C	Muestra	min	B	C	D	Masa	min	B	C	D	Masa
190	A	14	35,05	26,29	26,83	19,86	14	1,76	3,19	4,15	19,86
	B			15,26	14,89	42,41	9		3,64	2,53	11,18
	C				2,08	31,60	8			4,48	7,21
	D					28,12	9				6,57
205	A	9	44,12	21,28	55,82	15,50	9	2,34	5,68	2,92	15,50
	B			22,96	14,71	47,73	6		4,88	1,73	7,41
	C				34,77	22,97	5			3,23	7,16
	D					53,26	7				3,80
220	A	9	43,24	54,83	50,93	16,53	9	3,48	3,23	3,03	16,53
	B			21,42	10,18	48,73	6		6,52	5,26	9,89
	C				16,26	58,31	5			3,58	1,72
	D					50,00	7				0,87
235	A	7	25,48	43,48	16,06	9,29	7	3,27	5,10	1,44	19,29
	B			27,23	11,26	34,11	5		3,14	3,50	7,35
	C				28,96	48,78	4:30			4,70	3,96
	D					21,92	6				3,45

163 Las muestras fueron elaboradas con A: Harina de trigo (HT), B: HT 50 %p/p+ Puré deshidratado de Mandioca (PDM) 50 %p/p, C:HT
164 25%p/p+PDM75%p/p, D: PDM.

165 En cuanto a las demás muestras, también se lograron buenos acercamientos a los
166 valores de color de la muestra A. Aunque la muestra C fue la que presentó los mayores
167 valores de ΔE con la muestra control A.

168 Si bien, se pudo evaluar el color, no es posible evaluar la homogeneidad en el color de
169 las muestras mediante los métodos aplicados. En la fotografía que se muestra en la
170 Figura 35 se puede apreciar como varía la homogeneidad del color entre muestras.



171 *Figura 35: Aspecto final de los productos horneados a diferentes temperaturas*

SECCIÓN III

ESTUDIO DE LA CINÉTICA DE PÉRDIDA DE HUMEDAD APLICADA AL HORNEADO DE LAS MUESTRAS

1 **Características fisicoquímicas**

2 En la Tabla 14 se pueden observar los resultados obtenidos de contenido de
3 sólidos secos, humedad inicial, densidad inicial y final y la tasa de expansión durante el
4 horneado a diferentes temperaturas.

5 *Tabla 14: Propiedades fisicoquímicas de las muestras. Valores promedios \pm desvío standard.*

Muestras	Densidad real inicial (g/cm ³)	Humedad inicial (bs) %	SS (g)	Temperatura de horneado (°C)/min	Densidad real final (g/cm ³)	Variación del área %
A	1,25 \pm 0,03 ¹	64,7 \pm 1,8 ¹	1,37 \pm 0,21 ¹	190/14	1,63 \pm 0,11 ^{a1}	-13,3 \pm 1,0 ^{b1}
				205/9	1,44 \pm 0,04 ^{ab1}	-14,5 \pm 2,3 ^{b1}
				220/9	1,54 \pm 0,13 ^{ab1}	-10,2 \pm 1,0 ^{a1}
				235/6	1,52 \pm 0,06 ^{b1}	-20,7 \pm 3,2 ^{c1}
B	1,19 \pm 0,1 ¹	59,4 \pm 2,8 ²	1,42 \pm 0,17 ¹	190/14	1,66 \pm 0,16 ^{a1}	-6,6 \pm 0,7 ^{b2}
				205/9	1,27 \pm 0,11 ^{ab2}	-8,3 \pm 0,6 ^{a2}
				220/9	1,56 \pm 0,08 ^{bc1}	-6,8 \pm 0,4 ^{b2}
				235/6	1,40 \pm 0,13 ^{c1}	-6,3 \pm 0,8 ^{b2}
C	1,29 \pm 0,06 ¹	71,1 \pm 2,4 ³	1,22 \pm 0,02 ¹	190/14	1,44 \pm 0,08 ^{a2}	-10,1 \pm 1,0 ^{a3}
				205/9	1,29 \pm 0,11 ^{ab2}	-5,4 \pm 0,6 ^{b3}
				220/9	1,32 \pm 0,03 ^{a2}	-5,2 \pm 0,5 ^{b3}
				235/6	1,32 \pm 0,12 ^{b1}	-8,0 \pm 0,4 ^{c3}
D	1,3 \pm 0,19 ¹	81,5 \pm 1,2 ⁴	1,17 \pm 0,15 ¹	190/14	1,36 \pm 0,09 ^{a2}	-2,8 \pm 0,3 ^{a4}
				205/9	1,23 \pm 0,09 ^{b2}	3,72 \pm 0,5 ^{b4}
				220/9	1,37 \pm 0,11 ^{a2}	13,2 \pm 0,8 ^{c4}
				235/6	1,10 \pm 0,04 ^{c2}	4,3 \pm 0,4 ^{b4}

6 No hay diferencia estadísticamente significativa entre aquellos niveles que comparten el mismo super índice (entre temperaturas superíndice en letras
7 y entre muestras superíndice en números). Las muestras fueron elaboradas con A: Harina de trigo (HT), B: HT 50 %p/p+ Puré deshidratado de
8 Mandioca (PDM) 50 %p/p, C: HT 25%p/p+PDM75%p/p, D: PDM.

9 Se puede observar que no existe diferencia estadísticamente significativa en cuanto a la densidad y el
10 contenido de sólidos secos entre las masas elaboradas, sin embargo, la humedad en base seca si presenta
11 un aumento significativo con el contenido de PDM. Esto se debe a que el PDM presenta una mayor
12 capacidad de absorción de agua que genera una mayor demanda de agua para lograr la formación de una
13 masa. La densidad real tras el horneado también presenta algunas diferencias significativas
14 produciéndose una disminución de esta con el aumento de PDM en la muestra. La influencia en la densidad
15 real (y por lo tanto en la porosidad del producto) de la temperatura parece depender de la muestra que se
16 observa. Esto se ve confirmado cuando se establece un índice de correlación ($p < 0,05$) negativo del 0,58
17 entre la densidad real y la cantidad de PDM en la muestra y también negativa del 0,28 con la temperatura

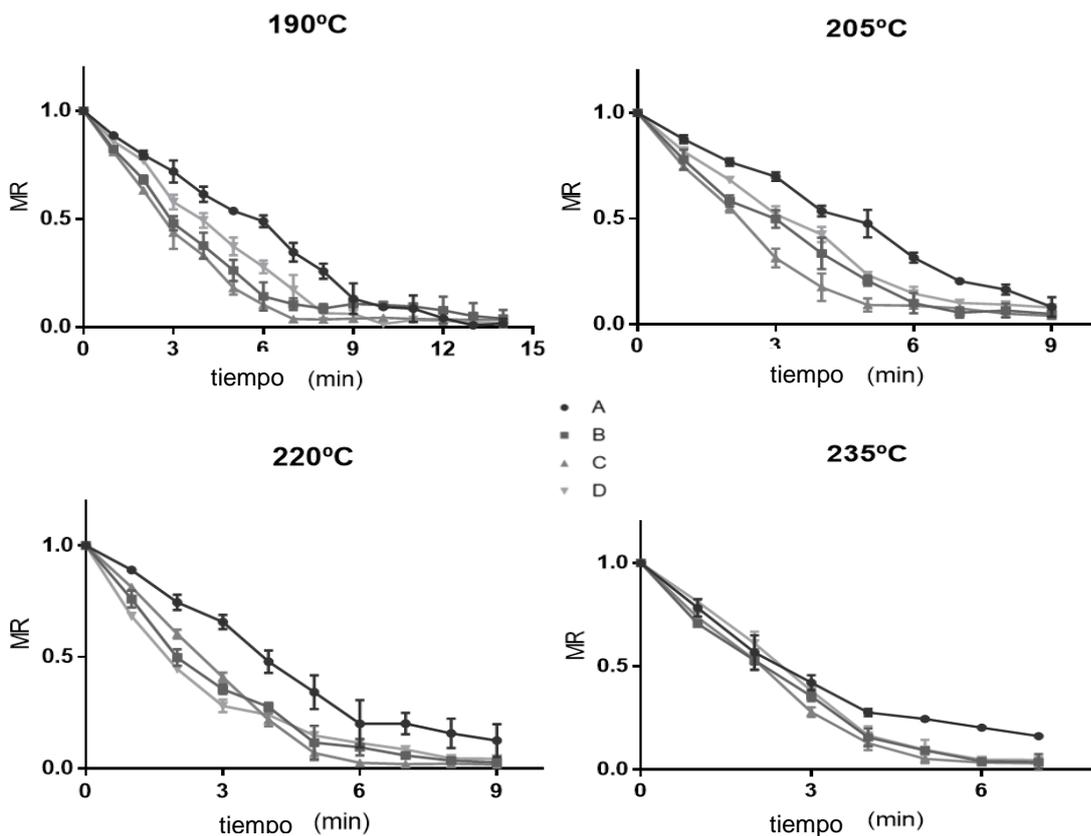
Lic. Cazzaniga Amanda

18 utilizada. Esta correlación, aunque resulta poco significativa, está relacionada con que a mayor cantidad
 19 de PDM en la muestra y también con el aumento de la temperatura se obtiene una densidad real menor
 20 en el producto.

21 Se puede observar también que todas las muestras sufrieron contracción durante el tratamiento térmico,
 22 exceptuando la muestra D a las temperaturas de 205, 220 y 235 °C, en las cuales se manifestó un
 23 incremento en el área final respecto a la inicial. La variación porcentual del área estuvo correlacionada
 24 positivamente (0,81) con la cantidad de PDM en la muestra y la humedad inicial (0,68) y negativamente
 25 con la densidad real (-0,45). La variación en el tamaño de la muestra a lo largo del proceso térmico puede
 26 provocar errores en los cálculos de energía de activación (E_a) y Difusividad efectiva ($Deff$) ya que al utilizar
 27 la ecuación de la segunda ley de Fick se asume que el tamaño y la geometría del material permanecen
 28 constantes durante el tratamiento térmico.

29 **Curvas de cinética de pérdida de humedad y de velocidad de pérdida de humedad**

30 En las Figura 36 pueden observarse las curvas de pérdida de humedad
 31 obtenidas para las muestras a cuatro temperaturas de horneado.



32 *Figura 36: Curvas de pérdida de humedad a las diferentes temperaturas experimentadas. Las*
 33 *muestras fueron elaboradas con A: Harina de trigo (HT), B: HT 50 %p/p+ Puré deshidratado de*
Mandioca (PDM) 50 %p/p, C: HT 25%p/p+PDM75%p/p, D: PDM.

34 En las curvas de la Figura 36 podemos observar que la primer etapa o etapa de
35 calentamiento no es visible, lo que implica que las muestras alcanzan la temperatura de
36 pérdida de humedad antes del primer minuto de exposición. Se observa claramente en
37 todas las curvas el primer período de secado o periodo de velocidad de decrecimiento
38 lineal correspondiente al decrecimiento lineal del contenido de humedad respecto del
39 tiempo. En este período se evapora el agua libre o no ligada del material. Esta etapa
40 está fuertemente determinada por las características del medio o externas. Aún no se
41 encuentra una explicación para este período ya que según el conocimiento teórico actual
42 para que la velocidad permanezca constante el agua tendría que cubrir completamente
43 la superficie del sólido y el periodo decreciente se iniciaría apenas apareciesen algunos
44 puntos secos en la superficie.

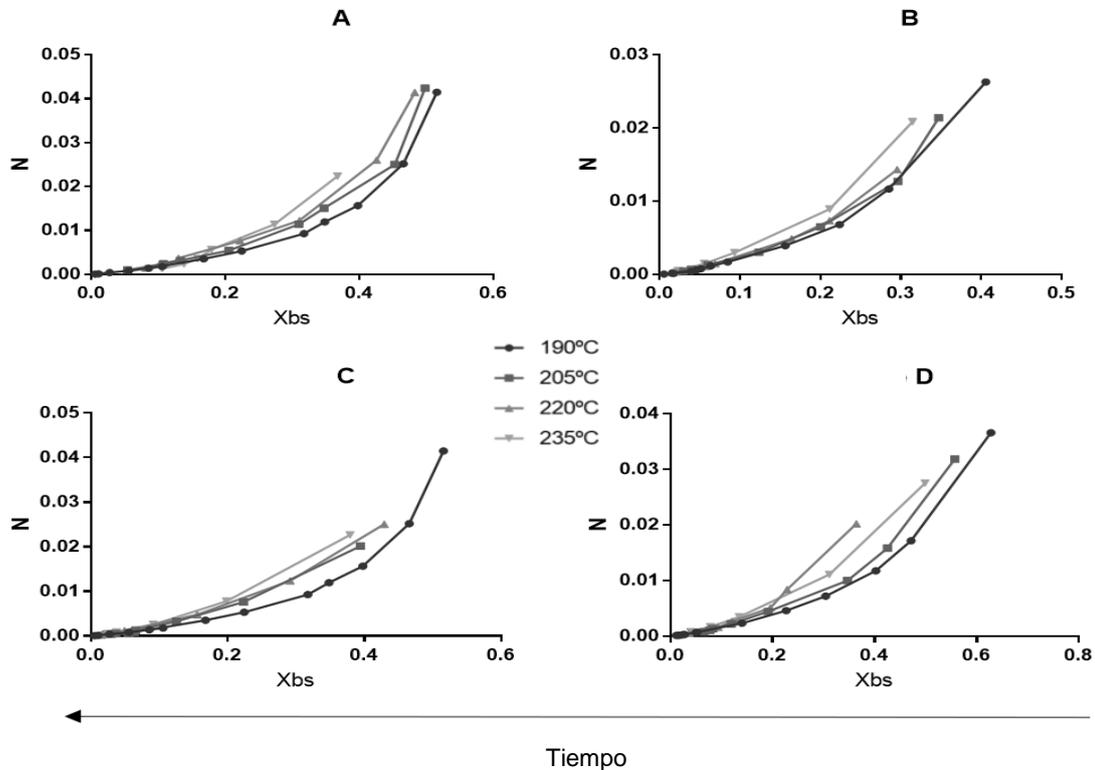
45 Luego del período lineal podemos observar el segundo período de secado o de
46 velocidad de pérdida de humedad decreciente lineal. En esta etapa se evapora el agua
47 ligada del material. Esta etapa está determinada por las condiciones internas de material
48 y también del medio. Esta etapa inicia cuando el agua de la superficie del sólido se ha
49 evaporado y por lo tanto la velocidad de pérdida de humedad depende de la difusión de
50 humedad a la superficie del sólido. En general la difusión de la humedad está
51 relacionada con la porosidad y el tamaño de partícula de la muestra cuando se trata de
52 productos en polvo o granos como las harinas y los cereales.

53 Finalmente se puede observar el período de velocidad decreciente no lineal donde la
54 velocidad de pérdida de humedad es controlada principalmente por la difusión interna
55 de humedad. Este período llega a su fin cuando la velocidad de pérdida de humedad es
56 igual a cero debido a que la muestra alcanza un equilibrio con el ambiente externo.

57 A pesar de que durante el tratamiento térmico a temperaturas mayores a 100 °C ocurren
58 otros procesos como la caramelización, pardeamientos, reacciones de Maillard, es de
59 esperar que el proceso de pérdida de humedad este gobernado el flujo convectivo de
60 vapor de agua. Podemos observar en estos gráficos que efectivamente, aún a
61 temperaturas elevadas, la difusión (por vapor de agua) gobierna buena parte del
62 proceso de deshidratación.

63 En la Figura 37 se presentan las curvas de velocidad de pérdida de humedad obtenidas.
64 En ellas puede observarse como la variable temperatura afecta fuertemente el inicio del
65 proceso de deshidratación. Sin embargo, las curvas tienden a unirse reflejando como

66 las características internas de la muestra son las determinantes del proceso una vez
67 que el proceso de difusión es el que controla la velocidad de pérdida de humedad.



68

Tiempo

69 *Figura 37: Curvas de velocidad de pérdida de humedad (N : g/mm^2s) de las muestras a las diferentes temperaturas*
70 *de ensayadas. Valores promedio de 3 muestras. Las muestras fueron elaboradas con A: Harina de trigo (HT), B:*
71 *HT 50 %p/p+ Puré deshidratado de Mandioca (PDM) 50 %p/p, C:HT 25%p/p+PDM75%p/p, D: PDM.*

71 **Modelado de las curvas de pérdida de humedad**

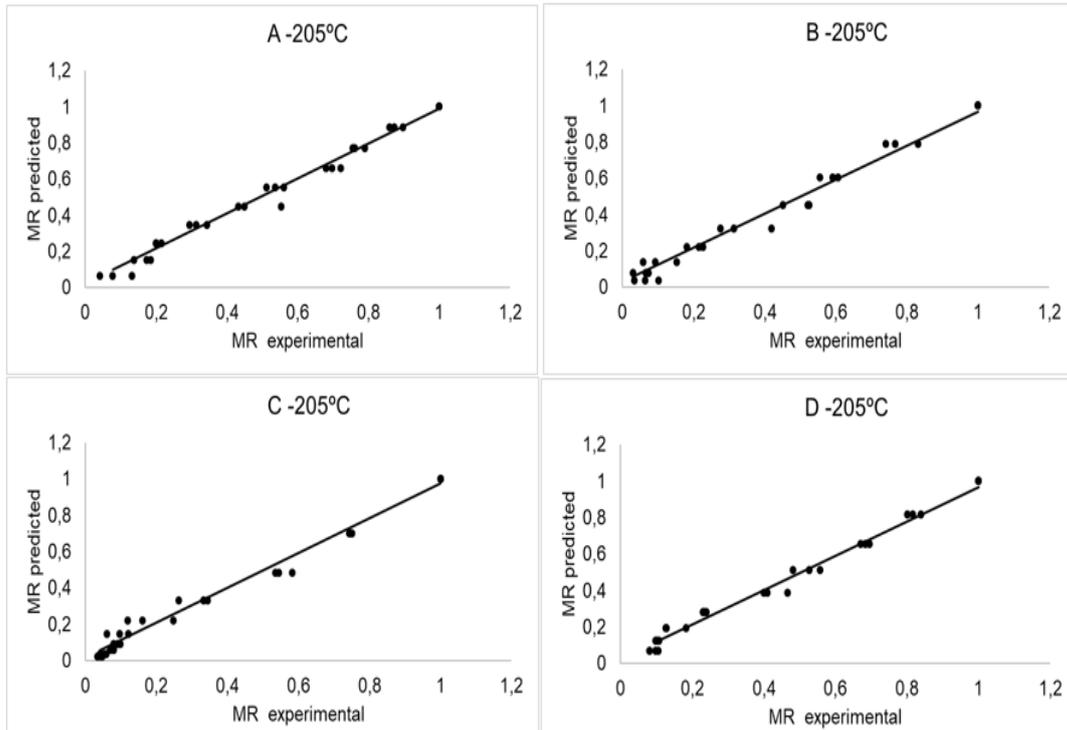
72 En la Tabla 15 se detallan los resultados del ajuste obtenidos durante el
73 modelado de las curvas de pérdida de humedad.

74 Los modelos que presentaron mejor ajuste variaron según la muestra examinada y la
75 temperatura. Todas las muestras obtuvieron buenos ajustes con el modelo de Chávez
76 & Méndez. En el caso de la muestra A, también presentaron buen ajuste los modelos
77 de Wang & Singh y Thompson, mientras que para las muestras B, C, y D, es decir
78 aquellas con contenido de PDM, presentaron buen ajuste para el modelo de Page.

79 Los intervalos de confianza permitieron inferir que cada uno de los términos de los
80 modelos Page y Chávez Méndez, tuvieron significancia estadística en la predicción del
81 parámetro MR en los factores estudiados (temperatura y muestra). Estos modelos
82 contaron con altos valores de R^2_{ajus} y bajos valores para RMSE, por lo que se concluye

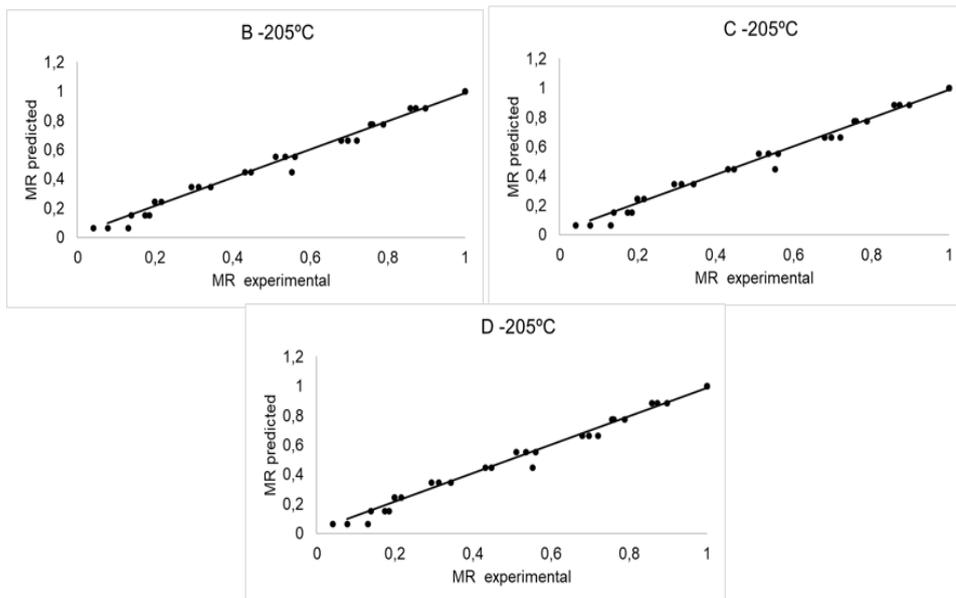
83 resultan ser ecuaciones apropiadas para describir la relación entre el tiempo y la
84 humedad adimensional.

85 Los modelos de Page y el de Chávez Méndez mostraron ser los más apropiados para
86 representar el horneado de las masas para snacks, puesto que son los modelos capaces
87 de representar los procesos de deshidratación durante el horneado de todas o la mayor
88 parte de las muestras. A modo de ejemplo las figuras 38 y 39 presentan el ajuste entre
89 los valores experimentales y los calculados por los modelos para las distintas muestras
90 a 205 °C.



91

Figura 38: MR experimental y calculado usando el modelo de Chávez & Méndez para las 4 formulaciones. Las muestras fueron elaboradas con A: Harina de trigo (HT), B: HT 50 %p/p+ Puré deshidratado de Mandioca (PDM) 50 %p/p, C: HT 25%p/p+PDM75%p/p, D: PDM.



92

Figura 39: MR experimental y calculado usando el modelo de Chávez & Méndez para las 3 formulaciones con PDM. Las muestras fueron elaboradas con A: Harina de trigo (HT), B: HT 50 %p/p+ Puré deshidratado de Mandioca (PDM) 50 %p/p, C: HT 25%p/p+PDM75%p/p, D: PDM.

- 93 El modelo de Lewis refleja la idea de que la transferencia de humedad de los materiales
 94 puede considerarse similar a la ley del calor de un cuerpo sumergido en un fluido frío.
 95 Este es uno de los modelos más simples. El inconveniente más importante de este

96 modelo es que, por lo general, subestima las últimas etapas y sobreestima las primeras
 97 etapas del proceso de pérdida de humedad. El modelo de Page es una modificación
 98 empírica del modelo de Lewis para eliminar las deficiencias de ese modelo al agregar
 99 una constante empírica adimensional (n) al término de tiempo. Este parámetro tiene el
 100 efecto de moderar el tiempo, y el modelo en este caso da mejores resultados para la
 101 predicción de la pérdida de humedad [132].

102 El modelo de Chávez-Méndez et al. (1995) [133] es un modelo empírico, sin embargo,
 103 la similitud de esta última expresión con la solución analítica del problema de secado
 104 favorece su aceptación [65]. Chávez-Méndez et al. (1995) [133] concluyen en su
 105 demostración de la aplicación de este modelo a mandioca y mango que cuando se
 106 requiere simular el proceso de secado es más conveniente utilizar un modelo de orden
 107 cinético superior ya que las ecuaciones derivadas de la segunda ley de Fick no son
 108 explícitas para humedad. Sin embargo, para estudios sobre transferencia de masa con
 109 el propósito de modelar las curvas de pérdida de humedad cuyo propósito es determinar
 110 la difusividad del agua en productos alimenticios, se deben utilizar series exponenciales
 111 con regresión no lineal.

112 *Tabla 15: Parámetros de ajuste para las curvas de pérdida de humedad de los diferentes modelos*
 113 *matemáticos*

°C	Modelos	A			B			C			D		
		R ²	RMSE	AICc	R ²	RMSE	AICc	R ²	RMSE	AICc	R ²	RMSE	AICc
190	Newton	*			0,97	0,05	-263	0,97	0,05	-267	0,96	0,07	-265
	Page	0,98	0,05	-266	0,98	0,05	-268	0,99	0,030	-303	0,99	0,03	-296
	Page mod.	0,92	0,09	-210	0,97	0,05	-261	0,97	0,05	-264	0,96	0,07	-235
	Lewis	*			0,97	0,05	-263	0,97	0,05	-267	0,96	0,07	-235
	Henderson & Pabis	0,93	0,08	-219	0,97	0,05	-264	0,97	0,05	-271	0,96	0,06	-241
	Henderson & Pabis mod.	0,98	0,04	-270	0,98	0,04	-271	0,99	0,03	-294	0,99	0,04	-288
	Logarithmic	0,98	0,05	-264	0,97	0,05	-262	0,98	0,05	-269	0,98	0,05	-261
	T. T. exponential	0,98	0,05	-263	0,97	0,05	-264	0,98	0,05	-269	0,98	0,05	-257
	Two terms	0,94	0,09	-220	0,97	0,05	-264	0,98	0,05	-271	0,96	0,06	-241
	Wang and Singh	0,98	0,05	-271	0,96	0,06	-252	0,98	0,05	-268	0,99	0,04	-291
	A, to diffusion	0,97	0,06	-252	0,97	0,05	-261	0,98	0,05	-273	0,98	0,05	-263
	Chavez Mendez	0,98	0,04	-276	0,97	0,05	-265	0,98	0,04	-290	0,98	0,04	-282
	Midilli and co.	0,98	0,04	-275	0,95	0,07	-236	0,98	0,05	-269	0,97	0,05	-258
	Thompson	0,98	0,05	-271	0,96	0,06	-252	0,97	0,05	-267	0,99	0,04	-291
Verma	0,98	0,05	-264	0,97	0,05	-268	0,98	0,05	-273	0,98	0,05	-263	
205	Newton	0,93	0,08	-148	0,97	0,06	-168	0,98	0,05	-179	0,97	0,06	-168
	Page	0,97	0,05	-178	0,98	0,04	-180	0,99	0,04	-191	0,99	0,03	-197
	Page mod.	0,93	0,08	-147	0,97	0,06	-168	0,98	0,05	-177	0,97	0,06	-168
	Lewis	0,94	0,08	-149	0,97	0,06	-168	0,98	0,05	-179	0,97	0,06	-168
	Henderson & Pabis	0,94	0,07	-152	0,97	0,06	-167	0,98	0,04	-179	0,97	0,05	-170

	Henderson & Pabis mod.	0,98	0,04	-190	0,98	0,04	-168	0,98	0,03	-181	0,99	0,03	-191
	Logarithmic	0,96	0,06	-165	0,98	0,05	-176	0,98	0,04	-178	0,98	0,04	-182
	T. T. exponential	0,99	0,04	-196	0,97	0,06	-162	0,98	0,04	-183	0,98	0,04	-184
	Two terms	0,94	0,07	-152	0,97	0,06	-167	0,98	0,04	-179	0,97	0,05	-170
	Wang and Singh	0,99	0,04	-194	0,98	0,04	-187	0,98	0,04	-186	0,99	0,03	-196
	A. to diffusion	0,98	0,06	-177	0,98	0,04	-178	0,98	0,04	-181	0,98	0,04	-185
	Chavez Mendez	0,99	0,03	-197	0,98	0,04	-184	0,98	0,04	-185	0,99	0,04	-192
	Midilli and co.	0,98	0,04	-190	0,98	0,04	-186	0,97	0,05	-171	0,99	0,03	-202
	Thompson	0,99	0,04	-194	0,98	0,04	-187	0,98	0,04	-186	0,99	0,03	-196
	Verma	0,98	0,04	-191	0,98	0,04	-180	0,98	0,04	-181	0,98	0,04	-185
220	Newton	0,94	0,08	-148	0,98	0,04	-187	0,95	0,08	-151	0,96	0,06	-164
	Page	0,97	0,06	-166	0,99	0,03	-197	0,99	0,03	-213	0,99	0,02	-218
	Page mod.	0,93	0,08	-145	0,98	0,04	-187	0,95	0,08	-148	0,99	0,03	-216
	Lewis	0,94	0,02	-148	0,98	0,04	-187	0,95	0,08	-151	0,99	0,03	-219
	Henderson & Pabis	0,94	0,07	-150	0,98	0,04	-187	0,95	0,07	-153	0,99	0,02	-228
	Henderson & Pabis mod,	0,96	0,06	-154	0,99	0,03	-184	0,99	0,04	-185	0,997	0,01	-241
	Logarithmic	0,95	0,06	-156	0,99	0,04	-190	0,97	0,05	-166	0,99	0,03	-207
	T. T. exponential	0,96	0,06	-156	0,98	0,04	-181	0,99	0,03	-194	0,99	0,03	-202
	Two terms	0,94	0,07	-150	0,98	0,04	-187	0,96	0,07	-153	0,99	0,02	-230
	Wang and Singh	0,96	0,06	-159	0,98	0,04	-187	0,99	0,03	-192	0,97	0,05	-172
	A. to diffusion	0,97	0,06	-164	0,90	0,03	-197	0,99	0,03	-199	0,99	0,03	-215
	Chavez Mendez	0,96	0,06	-159	0,98	0,03	-195	0,98	0,04	-182	0,99	0,03	-214
	Midilli and co.	0,96	0,06	-161	0,98	0,05	-176	0,99	0,03	-200	0,99	0,03	-205
	Thompson	0,96	0,06	-159	0,98	0,04	-187	0,99	0,04	-192	0,97	0,06	-171
	Verma	0,95	0,07	-154	0,97	0,06	-169	0,97	0,06	-160	0,99	0,02	-221
235	Newton	0,98	0,04	-153	0,98	0,05	-139	0,97	0,06	-128	0,96	0,07	-126
	Page	0,98	0,04	-151	0,99	0,03	-155	0,99	0,03	-163	0,997	0,02	-187
	Page mod.	0,98	0,04	-153	0,98	0,05	-139	0,97	0,06	-126	0,96	0,07	-126
	Lewis	0,98	0,04	-153	0,98	0,05	-139	0,97	0,06	-128	0,96	0,07	-126
	Henderson & Pabis	0,98	0,04	-150	0,98	0,05	-137	0,97	0,06	-130	0,97	0,06	-129
	Henderson & Pabis mod,	0,98	0,03	-142	0,99	0,03	-147	0,99	0,04	-146	0,99	0,04	-146
	Logarithmic	0,98	0,04	-149	0,99	0,04	-150	0,98	0,05	-138	0,98	0,04	-145
	T. T. exponential	0,98	0,04	-145	0,99	0,03	-152	0,98	0,04	-140	0,99	0,04	-147
	Two terms	0,98	0,04	-151	0,98	0,05	-138	0,97	0,06	-131	0,97	0,06	-129
	Wang and Singh	0,98	0,03	-155	0,99	0,03	-164	0,99	0,03	-160	0,99	0,03	-158
	A. to diffusion	0,98	0,04	-148	0,99	0,03	-155	0,98	0,04	-142	0,98	0,04	-146
	Chavez Mendez	0,98	0,04	-151	0,99	0,03	-161	0,99	0,03	-155	0,99	0,03	-159
	Midilli and co.	0,98	0,04	-149	0,99	0,03	-126	0,99	0,03	-160	0,99	0,02	-171
	Thompson	0,98	0,03	-155	0,99	0,03	-165	0,99	0,03	-160	0,99	0,03	-158
	Verma	0,98	0,04	-148	0,99	0,03	-155	0,98	0,05	-142	0,99	0,04	-146

114

Las muestras fueron elaboradas con A: Harina de trigo (HT), B: HT 50 %p/p+ Puré deshidratado de Mandioca (PDM) 50 %p/p, C:HT

115

25%p/p+PDM75%p/p, D: PDM.

Lic. Cazzaniga Amanda

116 En la Tabla 16 se presentan los valores de los parámetros del modelo page y de Chávez
117 Méndez para cada muestra y temperatura.

118 En cuanto a los parámetros del modelo de Chávez Méndez se encontró que los
119 parámetros L_1 y L_2 estuvieron correlacionados positivamente con la velocidad promedio
120 de pérdida de humedad (0,59 y 0,56). Para el modelo de Page se obtuvo un índice de
121 correlación positivos menores a 0,5 entre k y la cantidad de PDM en la muestra, la
122 energía de activación, la $Deff$ y la temperatura. También se halló una correlación
123 negativa entre k y la velocidad de pérdida de humedad promedio (-0,72). No se hallaron
124 correlaciones para el parámetro n y las variables estudiadas.

125

Tabla 16: Constantes de los modelos de Page y Chávez & Méndez

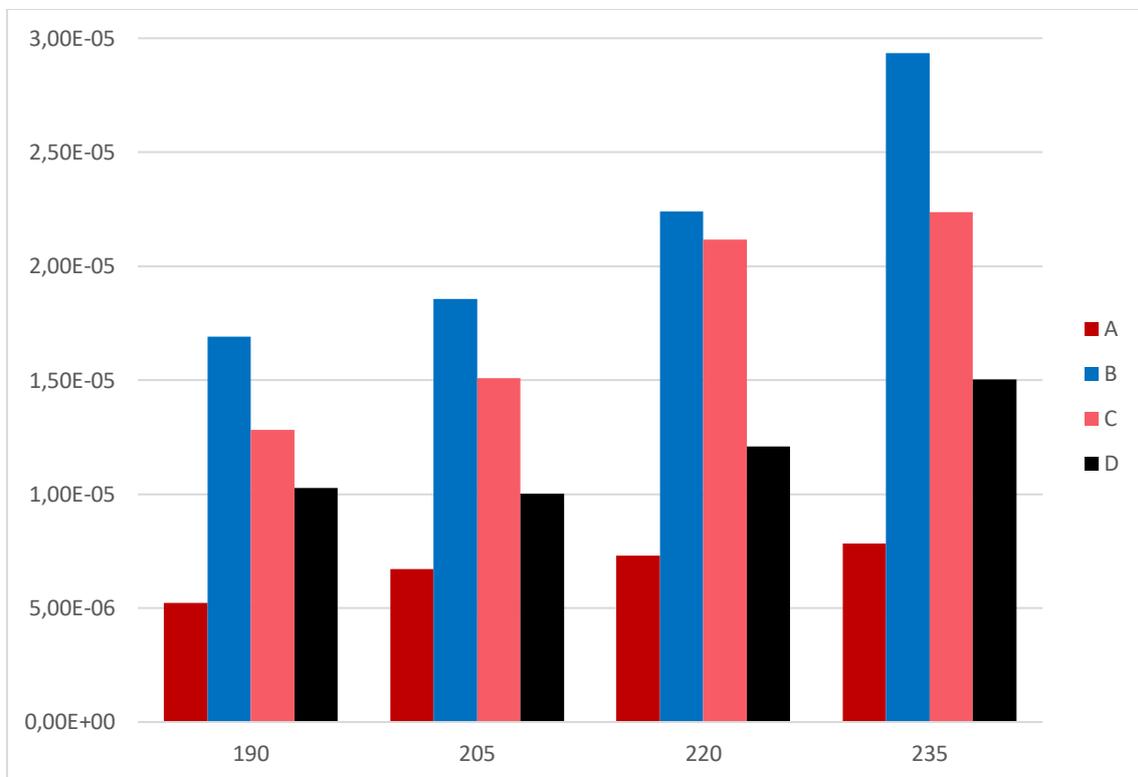
°C	Chávez and Méndez				Page				
	L1	Intervalo de confianza	L2	Intervalo de confianza	k	Intervalo de confianza	n	Intervalo de confianza	
A	190	0,04586	0,04119 to 0,08695	-0,5576	-0,6629 to -0,5252	0,0517	0,03802 to 0,06827	1,594	1,454 to 1,751
	205	0,0876	0,08532 to 0,08994	-0,15	-0,1706 to -0,1306	0,1078	0,09952 to 0,1125	1,319	1,284 to 1,356
	220	0,04556	0,01534 to 0,07697	-0,8199	-2,357 to -0,3186	0,1037	0,07466 to 0,1388	1,423	1,245 to 1,624
	235	0,00327	0,003096 to 0,003455	-8,002	-8,263 to -7,752	0,2799	0,24 to 0,3233	1,007	0,9025 to 1,118
B	190	0,002074	0,001958 to 0,0022	-9,721	-10,05 to -9,407	0,2015	0,1649 to 0,2413	1,153	1,039 to 1,284
	205	0,0359	0,03419 to 0,03759	-1,52	-1,587 to -1,451	0,2064	0,1677 to 0,2493	1,256	1,127 to 1,399
	220	0,01569	0,003023 to 0,0356	-3,398	-9,484 to -1,799	0,2891	0,2528 to 0,3279	1,168	1,073 to 1,271
	235	0,05181	0,04983 to 0,05393	-1,39	-1,446 to -1,337	0,2865	0,2449 to 0,3312	1,274	1,154 to 1,405
C	190	0,02043	0,01362 to 0,02762	-2,496	-3,357 to -2,416	0,2206	0,2107 to 0,2311	1,225	1,207 to 1,273
	205	0,0043	0,004024 to 0,004534	-7,99	-8,281 to -7,725	0,3274	0,3013 to 0,3387	1,132	1,085 to 1,183
	220	0,04591	0,03763 to 0,06102	-1,42	-1,71 to -1,15	0,1647	0,1419 to 0,1891	1,624	1,513 to 1,745
	235	0,06627	0,04627 to 0,07982	-1,156	-1,647 to -1,098	0,2524	0,2383 to 0,2676	1,471	1,42 to 1,525
D	190	0,03053	0,0262 to 0,03451	-1,34	-1,556 to -1,289	0,0965	0,07972 to 0,1151	1,492	1,389 to 1,605
	205	0,039	0,02105 to 0,05874	-1,23	-2,157 to -0,7514	0,155	0,1302 to 0,1815	1,338	1,234 to 1,452
	220	0,005558	0,005348 to 0,005781	-7,014	-7,18 to -6,854	0,3596	0,3464 to 0,3735	1,073	1,043 to 1,105
	235	0,08309	0,05253 to 0,108974	-0,719	-1,247 to -0,6799	0,1959	0,1786 to 0,2138	1,495	1,423 to 1,57

127 Donde L1 y L2 son constantes del modelo, k es una constante de velocidad de secado y n es un parámetro
 128 de secado. Las muestras fueron elaboradas con A: Harina de trigo (HT), B: HT 50 %p/p+ Puré deshidratado
 129 de Mandioca (PDM) 50 %p/p, C: HT 25%p/p+PDM75%p/p, D: PDM.

130 **Difusividad efectiva (Deff) y Energía de Activación (Ea)**

131 Los valores de difusividad efectiva obtenidos se muestran en la Figura 39. Estos
 132 valores son elevados respecto de los obtenidos generalmente en alimentos, que en
 133 forma general se encuentran entre 10^{-6} a 10^{-11} m²/s. Una posible explicación de estos
 134 valores elevados de difusividad es que por las elevadas temperaturas que se utilizan
 135 durante el horneado lo que ocurre es la difusión de vapor que siempre presenta valores
 136 de difusividad mayores que la difusividad de agua. Sin embargo, García-Mogollón et al,
 Lic. Cazzaniga Amanda

137 [134] obtuvieron valores similares a los hallados en este trabajo en el orden de 10^{-3} a
 138 10^{-4} m²/s en chips de mandioca, por lo que es posible que la materia prima utilizada
 139 también este influyendo en estos valores de difusividad. En la gráfica de barras (Figura
 140 40) puede observarse que no existe una tendencia a aumentar o disminuir la difusión
 141 con la temperatura. Tampoco se observa una tendencia con la variable muestra, aunque
 142 en todos los casos la muestra A, sin PDM, presentó la menor difusividad efectiva. Lo
 143 cuál está en discordancia con lo hallado por Ghasemi, A y Chayjan, R, A, quienes
 144 reportaron un aumento en $Deff$ con la temperatura [135] pero en concordancia con los
 145 resultados vistos en la sección II. Esto podría deberse a un tope máximo de temperatura
 146 a partir del cuál ya no se produce una diferencia. El factor pre-exponencial de la ecuación
 147 de Arrhenius (Do) obtuvo valores en un rango entre $7,8537E-06$ y $2,94974E-05$ m²/s.



148

149 *Figura 40: Difusividad efectiva para todas las muestras a todas las temperaturas ensayadas. Las*
 150 *muestras fueron elaboradas con A: Harina de trigo (HT), B: HT 50 %p/p+ Puré deshidratado de Mandioca*
 150 *(PDM) 50 %p/p, C: HT 25%p/p+PDM75%p/p, D: PDM.*

151 La $Deff$ estuvo correlacionada ($p < 0,05$) negativamente con la velocidad de pérdida de
 152 humedad promedio (-0,65) y positivamente con la Ea (0,80). Ea y la velocidad de pérdida
 153 de humedad también mantuvieron una correlación negativa de 0,67 y una correlación
 154 positiva muy débil con la humedad inicial (0,29).

155 La energía de activación calculada para la muestra A fue de $15,23 \pm 0,75$ kJ/mol y la
156 muestra D por su parte mostró una energía de activación de $15,85 \pm 0,88$ kJ/mol,
157 estadísticamente similares. La muestra B presentó una energía de activación de $23,33$
158 $\pm 2,22$ kJ/mol y la muestra C $26,35 \pm 2,37$ kJ/mol, sin diferencia significativa entre sí
159 Estas magnitudes representan la energía requerida para iniciar la difusión de humedad,
160 Engkos et al (2020) reportó una E_a de $27,17$ kJ/mol en yuca elefante [136]. Torregroza-
161 Espinoza A et al. también reportó un rango de valores amplio de entre $9,90$ y
162 $51,71$ kJ/mol para diferentes variedades de yuca industrial [137]. Caldas, D. A. et al. [138]
163 obtuvo que para rodajas de yuca de 2 mm la energía de activación resultó $20,312$ kJ/mol.
164 Salazar Ramires, E. et al. [139] halló un E_a de 66 kJ/mol K en pastas sin gluten a partir
165 de harina de yuca. Según Torregroza-Espinoza A et al. [137] la energía de activación de
166 los alimentos generalmente permanece en un rango entre $12,7$ y 110 kJ/mol, por lo que
167 los valores obtenidos para las muestras ensayadas serían cercanos a los ya obtenidos
168 por otros autores en alimentos de similar origen y dentro del rango general para los
169 alimentos

SECCIÓN IV

**ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LAS MUESTRAS
HORNEADAS Y SU VARIABILIDAD CON LOS PARÁMETROS DE HORNEADO**

Propiedades fisicoquímicas de los productos horneados

En la Tabla 17 se presentan los resultados obtenidos para la humedad final de las muestras, densidad aparente y real, porosidad, tasa de propagación y porcentaje de acortamiento o expansión. Las humedades halladas para los snacks a diferentes tiempos y temperaturas se mantuvieron por debajo del 7,5 % en base seca, lo cual es un buen indicio para la vida útil del producto, calidad organoléptica y el aumento de la vida útil [9], aunque este indicador no es único y otras variables como la distribución de la humedad dentro de la geometría [10] y la actividad de agua deberían evaluarse. Por ello, este último punto se aborda en la sección V. Sin embargo, adelantado algunos resultados, se estableció que la humedad en base seca correspondiente a una actividad de agua de 0,6 a 30 °C es de 5,25 % para la muestra D, 13 % para la A, 10 % para B y C. Por lo tanto, todas las muestras mantienen una actividad de agua segura microbiológicamente, excepto la muestra D a 205 °C y 235 °C. Las variables independientes de temperatura-tiempo y contenido de PDM mantuvieron correlaciones ($p < 0,05$) de - 0,69 y de 0,25 respectivamente con la humedad de la muestra. La leve dependencia de la humedad con el factor “contenido de PDM” puede deberse a que el PDM presenta una mayor capacidad de absorción de agua [2], por lo que, las muestras con PDM requirieron una mayor cantidad de agua para lograr formar una masa (Tabla 4) y por lo tanto la humedad inicial de la masa también fue mayor. La correlación negativa con la temperatura tiene que ver con una mayor tasa de evaporación ya que las moléculas de agua alcanzan más rápidamente ese estado a mayor temperatura, sin embargo, esto no resulta ser una correlación lineal (correlación < 1) ya que también se forman más rápido estructuras que impiden la salida del vapor hacia la superficie, impidiendo así su liberación desde la matriz hacia el medio circundante. Resultados dentro del mismo rango de humedad fueron hallados para snacks con diferentes proporciones de harina de papa y harina de soja [11]. Estudios en snacks fritos con reemplazo de harina de trigo por harina de mandioca arrojaron valores de humedad mayores [12].

Los resultados obtenidos para la densidad aparente, real y porosidad indican que la estructura puede ser considerada como porosa o celular (Figura 41) [13]. En cuanto a la densidad aparente, se puede apreciar una tendencia leve a disminuir con el incremento en el contenido de PDM, la correlación entre ambas variables fue de -0,57 (Tabla 17). Galletas de arroz japonesas presentaron densidades aparentes similares a las halladas en este trabajo [14]. Las variables densidad real y porosidad no mostraron tendencia alguna con el porcentaje de sustitución ($p > 0,05$), sin embargo, la temperatura

Lic. Cazzaniga Amanda

sí estuvo correlacionada negativamente con la densidad real (-0,48) y con la porosidad (-0,59). A medida que la temperatura de cocción aumenta, eventos como la cristalización o desnaturalización suceden antes en el tiempo, esto no permite la formación de estructuras más amplias ya que la presión que ejerce el vapor de agua no consigue expandir los poros antes de que ocurra la cristalización o vitrificación de la matriz. En este sentido, a medida que aumenta la porosidad disminuye la densidad aparente de la muestra con una correlación de -0,64. Esto puede ser el resultado tanto del aumento del número de poros, del tamaño de los poros o ambas, que trae aparejado una disminución en el espesor de las paredes de la estructura.



Figura 41: corte transversal de muestra D (100% PDM) donde se observa la porosidad

La humedad también estuvo levemente correlacionada (-0,27) con la porosidad de la muestra, probablemente por el aporte de masa que genera la presencia de mayor cantidad de humedad. La porosidad para las muestras B y D fue máxima a 190 °C. Las demás muestras presentaron valores similares a la muestra control a las demás temperaturas excepto C y D a 235 °C que mostraron los menores valores de porosidad, Resultados similares se obtuvieron para la muestra C, excepto a 235 °C donde la porosidad resultó más baja que el control.

En cuanto a la variación en el área, la muestra A presentó un menor acortamiento a 220 °C, La muestra B mostró un mayor acortamiento a 205 °C lo cual no es deseable ya que se produce deformación de la geometría elegida. La muestra C, mostró un menor acortamiento a las temperaturas de 205 y 220 °C, sin diferencia significativa entre ambas. La muestra D fue la que obtuvo mejores valores llegando a expandirse en vez de acortarse, su valor más alto estuvo dado a 220 °C.

El parámetro porcentaje de acortamiento/ expansión estuvo correlacionado positivamente en 0,81 con el contenido de PDM en la muestra. En el estudio de Pareyt and Delcour [140] las mayores tasas de expansión también se obtuvieron en muestras sin gluten, Barak, Mudgil, and Khatkar y Rodríguez Carbajo [141,142], de forma similar obtuvieron correlaciones negativas entre el contenido de proteínas y el diámetro final. En esos estudios este comportamiento fue atribuido a la mayor absorción de agua de

las proteínas que permitiría menor agua libre en la masa, lo que explicaría que a mayor contenido en proteínas la masa expanda menos.

Tabla 17: Humedad, densidad aparente, densidad real, porosidad, acortamiento /expansión y tasa de propagación (SR) de los productos terminados. Valores promedios de 3 o más muestras \pm desvío estándar.

Muestra/ temperatura	Tiempo (min)	Humedad (%base seca)	Densidad aparente (g/cm3)	Densidad real (g/cm3)	Porosidad (%)	Acortamiento/ expansión (%)	SR
A/190°C	14	2,1 \pm 0,1 ^{d1}	0,3 \pm 0,03 ^{a10}	1,63 \pm 0,11 ^{a910}	81,84 \pm 0,56 ^{a345}	-13,3 \pm 1,0 ^{b2}	2,93 \pm 0,45 ^{a1}
A/205°C	9	3,4 \pm 0,1 ^{c1}	0,28 \pm 0,02 ^{a8910}	1,44 \pm 0,04 ^{a678}	80,75 \pm 1,37 ^{a23}	-14,5 \pm 2,3 ^{b2}	2,70 \pm 0,36 ^{a1}
A/220°C	9	5,59 \pm 0,03 ^{b5}	0,27 \pm 0,02 ^{a6789}	1,53 \pm 0,13 ^{a789}	81,26 \pm 0,72 ^{a34}	-10,2 \pm 1,0 ^{c3}	2,70 \pm 0,27 ^{a1}
A/235°C	7	7,1 \pm 0,3 ^{a6}	0,28 \pm 0,02 ^{a789}	0,81 \pm 0,01 ^{b1}	81,08 \pm 0,94 ^{a34}	-20,7 \pm 3,2 ^{a1}	4,95 \pm 0,39 ^{b1}
B/190°C	9	4,1 \pm 0,1 ^{c3}	0,20 \pm 0,02 ^{b1}	1,66 \pm 0,16 ^{a10}	88,48 \pm 0,51 ^{a7}	-6,6 \pm 0,7 ^{b567}	13,93 \pm 0,91 ^{a2}
B/205°C	6	3,6 \pm 0,1 ^{d2}	0,22 \pm 0,02 ^{b12}	1,27 \pm 0,11 ^{c34}	82,94 \pm 1,87 ^{b45}	-8,3 \pm 0,6 ^{a4}	14,49 \pm 0,40 ^{a2}
B/220°C	6	5,7 \pm 0,1 ^{a5}	0,26 \pm 0,02 ^{a5678}	1,56 \pm 0,08 ^{ab8910}	83,41 \pm 1,96 ^{b5}	-6,8 \pm 0,4 ^{b56}	12,88 \pm 0,51 ^{b2}
B/235°C	5	4,9 \pm 0,1 ^{b4}	0,25 \pm 0,02 ^{a3456}	1,40 \pm 0,13 ^{bc56}	81,88 \pm 2,79 ^{b345}	-6,3 \pm 0,8 ^{b567}	11,97 \pm 0,97 ^{b2}
C/190°C	8	3,4 \pm 0,2 ^{c2}	0,24 \pm 0,02 ^{b3456}	1,44 \pm 0,08 ^{a67}	82,82 \pm 1,98 ^{a45}	-10,1 \pm 1,0 ^{a3}	14,96 \pm 1,44 ^{a2}
C/205°C	5	4,9 \pm 0,1 ^{b4}	0,23 \pm 0,02 ^{b23}	1,29 \pm 0,11 ^{b345}	82,87 \pm 0,67 ^{a45}	-5,4 \pm 0,6 ^{c67}	14,00 \pm 1,38 ^{ab2}
C/220°C	5	6,5 \pm 0,3 ^{a56}	0,24 \pm 0,01 ^{b2345}	1,32 \pm 0,03 ^{ab3456}	82,0 \pm 1,22 ^{a345}	-5,2 \pm 0,5 ^{c7}	15,01 \pm 0,73 ^{ab3}
C/235°C	4,5	6,5 \pm 0,4 ^{a56}	0,29 \pm 0,02 ^{a910}	1,32 \pm 0,12 ^{ab3456}	78,23 \pm 1,3 ^{b1}	-7,74 \pm 0,7 ^{b45}	15,46 \pm 0,15 ^{b3}
D/190°C	9	4,0 \pm 0,3 ^{d234}	0,19 \pm 0,01 ^{d1}	1,36 \pm 0,09 ^{a456}	85,82 \pm 1,01 ^{a6}	-2,8 \pm 0,3 ^{a8}	8,47 \pm 0,44 ^{a3}
D/205°C	7	6,0 \pm 0,1 ^{b5}	0,20 \pm 0,02 ^{c1}	1,24 \pm 0,09 ^{b3456}	83,8 \pm 2,38 ^{a56}	3,72 \pm 0,5 ^{b9}	8,23 \pm 0,73 ^{a3}
D/220°C	7	4,8 \pm 0,1 ^{c4}	0,25 \pm 0,02 ^{a4567}	1,37 \pm 0,11 ^{a456}	81,4 \pm 1,94 ^{b34}	13,2 \pm 0,8 ^{c10}	8,89 \pm 0,31 ^{ab4}
D/235°C	6	7,3 \pm 0,3 ^{a6}	0,23 \pm 0,02 ^{b234}	1,10 \pm 0,04 ^{c2}	79,04 \pm 1,01 ^{b12}	4,3 \pm 0,4 ^{b9}	9,27 \pm 0,39 ^{b4}

No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan el mismo superíndice en la misma columna (letras: diferencia entre temperaturas de una misma muestra, número: diferencia entre muestras). Las muestras fueron elaboradas con A: Harina de trigo (HT), B: HT 50 %p/p+ Puré deshidratado de Mandioca (PDM) 50 %p/p, C: HT 25%p/p+PDM75%p/p, D: PDM.

Sin embargo, el PDM presenta un porcentaje de absorción de agua mucho mayor que la harina de trigo y a pesar de ello se obtuvo menores acortamientos y llegando a expandirse a medida que aumentaba la cantidad de PDM en la muestra. Otra explicación posible es que la propia desnaturalización de las proteínas sea la *Lic. Cazzaniga Amanda*

responsable del acortamiento de la masa o también las propiedades de viscosidad de la masa como sugieren Pareyt and Delcour [140]. Sin embargo, anteriormente hemos establecidos que las masas elaboradas con PDM resultan más consistentes, con mayor dureza y cohesividad que la masa de trigo a temperatura ambiente, pero no se ha evaluado su comportamiento reológico a las temperaturas de horneado que podrían permitir que la masa fluya expandiéndose.

El parámetro porcentaje de acortamiento/ expansión estuvo correlacionado positivamente en 0,81 ($p < 0,05$) con el contenido de PDM en la muestra. En el estudio de Pareyt and Delcour [140] las mayores tasas de expansión también se obtuvieron en muestras sin gluten, Barak, Mudgil, and Khatkar y Rodríguez Carbajo [141,142], de forma similar obtuvieron correlaciones negativas entre el contenido de proteínas y el diámetro final. En esos estudios este comportamiento fue atribuido a la mayor absorción de agua de las proteínas que permitiría menor agua libre en la masa, lo que explicaría que a mayor contenido en proteínas la masa expanda menos. Sin embargo, el PDM presenta un porcentaje de absorción de agua mucho mayor que la harina de trigo y a pesar de ello se obtuvo menores acortamientos y llegó a expandirse a medida que aumentaba la cantidad de PDM en la muestra. Otra explicación posible es que la propia desnaturalización de las proteínas sea la responsable del acortamiento de la masa o también las propiedades de viscosidad de la masa como sugieren Pareyt and Delcour [140]. Sin embargo, en estudios previos hemos establecidos que las masas elaboradas con PDM resultan más consistentes, con mayor dureza y cohesividad que la masa de trigo a temperatura ambiente, pero no se ha evaluado su comportamiento reológico a las temperaturas de horneado que podrían permitir que la masa fluya expandiéndose. Por otro lado, Kulthe et al. [143] sugirieron que una disminución en la tasa de propagación puede producirse al bajar la cantidad de azúcar en las masas, ya que los cristales de azúcar disponibles para fundir podrían ser parte del proceso de propagación, esto podría explicar parte del comportamiento obtenido en este trabajo si el PDM presentara almidón lo suficientemente dañado como para comportarse como azúcar, pero eso aún no ha sido comprobado.

Potter, Stojceska, and Plunkett [144] encontraron una correlación negativa (-0,922) entre expansión y densidad aparente, en esta investigación esta correlación también fue hallada, pero es menor (-0,40). Esto puede explicarse basándonos en que la expansión creciente disminuye la densidad del producto debido a la formación de poros o celdas de aire.

Lic. Cazzaniga Amanda

La relación entre el diámetro y el espesor final expresado como la tasa de propagación estuvo correlacionado positivamente (0,57) con la cantidad de PDM en la muestra. Las masas que tienen mayores tasas de propagación se consideran las más deseables, porque esta propiedad se correlaciona con la textura, la finura del grano, el mordisco y la sensación general en la boca de los productos terminados [145,146]. La tasa de propagación en las muestras B y C fueron los más elevados, la muestra C mostró sus niveles más bajos a 190 y 205 °C y para B a 235 y 220 °C. Para D se obtuvieron los mayores valores a 220 y 235 °C.

Las tasas de propagación obtenidas para las muestras sin PDM se deben a que estas aumentaron su espesor debido a la presión de vapor ejercida en el interior de la muestra y la capacidad del gluten de retenerlos y formar una estructura permanente. Sin embargo, a la mayor temperatura trabajada, la burbuja de gas colapsa disminuyendo el espesor final y aumentando la tasa de propagación. El valor elevado que presentan las muestras B y C se debe a un menor espesor final que permanece cerca de los valores iniciales. Los valores de la muestra D, en cambio, ascienden al doble de la inicial en promedio. Mientras que los valores de la muestra A para la temperatura más alta en promedio llegan a los 7,23 mm y a 12,1 mm en las demás temperaturas. El tamaño de partícula ha sido correlacionado negativamente por otros autores como Bose and Shams-Ud-Din [145] con la tasa de propagación, sin embargo, esto no coincide con lo hallado en esta investigación donde se encontraron mayores valores para las muestras con PDM que presentan una mayor granulometría similar a lo expuesto por Barak, Mudgil, and Khatkar [141,147].

Shrestha and Noomhorm [148] hallaron que la tasa de propagación podía considerarse un indicador de la densidad, en esta investigación se halló una correlación negativa de 0,36 por lo que no podría utilizarse como único indicador.

Parámetros de color y diferencia de color entre los productos horneados

A continuación, en la tabla 18 se presentan los valores hallados para los parámetros CIE $L^*a^*b^*$ y CIE $L^*H^*C^*$ e índice de pardeamiento.

No se encontraron correlaciones ($p < 0,05$) entre la humedad o el contenido de PDM y los valores de las coordenadas de $L^* a^* y b^*$, esto concuerda con lo encontrado por Rajchasom [43]. Tampoco se observó una tendencia definida en los valores de IP con respecto a la proporción de PDM en las muestras, ni con respecto a la temperatura de horneado.

Lic. Cazzaniga Amanda

Los valores de IP para la muestra B fueron estadísticamente similares a la muestra A excepto para la temperatura de 235 °C donde el valor fue menor. En la muestra C solo se encontró homogeneidad estadística con la muestra “A” a 220 °C y en la muestra D a 220 y 235 °C.

Tabla 18: Parámetros CIE-L*a*b*, CIE-L*C*H* e índice de pardeamiento (IP) de snacks con y sin PDM. Valores promedios \pm desvío standard.

°C	Tiempo (min)	Muestra	L*	a*	b*	C*	H*	IP
190	14	A	69,7 \pm 1,4 ^a	8,2 \pm 0,6 ^a	24,8 \pm 0,4 ^a	26,1 \pm 0,1 ^b	1,25 \pm 0,03 ^c	51,9 \pm 1,0 ^b
	9	B	68,0 \pm 1,7 ^a	7,8 \pm 0,6 ^a	25,0 \pm 0,8 ^a	26,2 \pm 0,9 ^b	1,27 \pm 0,02 ^{bc}	53,5 \pm 2,0 ^b
	8	C	70,3 \pm 1,4 ^a	7,0 \pm 0,5 ^a	28,7 \pm 1,1 ^c	29,5 \pm 1,1 ^a	1,33 \pm 0,02 ^a	58,7 \pm 2,9 ^a
	9	D	66,0 \pm 2,7 ^a	7,4 \pm 0,5 ^a	26,5 \pm 0,4 ^b	27,5 \pm 0,4 ^b	1,30 \pm 0,02 ^{ab}	58,5 \pm 2,9 ^a
205	9	A	74,0 \pm 0,9 ^a	5,3 \pm 0,5 ^b	21,4 \pm 0,6 ^b	22,1 \pm 0,7 ^c	1,33 \pm 0,02 ^b	38,9 \pm 2 ^c
	6	B	72,3 \pm 1,0 ^{ab}	6,9 \pm 0,5 ^a	22,4 \pm 0,3 ^b	23,5 \pm 0,2 ^{bc}	1,27 \pm 0,02 ^c	43,5 \pm 0,8 ^{bc}
	5	C	69,9 \pm 2,3 ^{ab}	4,8 \pm 0,4 ^b	24,2 \pm 1,2 ^a	24,7 \pm 1,2 ^{ab}	1,37 \pm 0,01 ^a	46,8 \pm 4,7 ^{ab}
	7	D	71,8 \pm 1,0 ^b	6,2 \pm 0,3 ^a	25,5 \pm 0,9 ^a	26,2 \pm 0,8 ^a	1,33 \pm 0,02 ^b	49,4 \pm 2,6 ^a
220	9	A	72,3 \pm 0,9 ^{ab}	6,5 \pm 0,4 ^b	23,5 \pm 0,9 ^{ab}	24,4 \pm 0,8 ^a	1,30 \pm 0,02 ^b	45,2 \pm 1,6 ^{ab}
	6	B	69,6 \pm 0,8 ^c	8,5 \pm 0,5 ^a	22,6 \pm 2,7 ^b	24,2 \pm 1,3 ^a	1,21 \pm 0,02 ^c	47,6 \pm 2,7 ^a
	5	C	74,4 \pm 2,4 ^a	4,1 \pm 0,3 ^c	23,0 \pm 0,9 ^{ab}	23,4 \pm 0,9 ^a	1,39 \pm 0,01 ^a	40,5 \pm 3,4 ^b
	7	D	71,2 \pm 0,4 ^{cb}	3,9 \pm 0,3 ^c	24,6 \pm 1,1 ^a	24,9 \pm 1,1 ^a	1,41 \pm 0,01 ^a	45,6 \pm 2,4 ^a
235	7	A	69,4 \pm 0,9 ^{ab}	7,0 \pm 0,5 ^a	23,9 \pm 0,9 ^a	25,0 \pm 0,9 ^a	1,28 \pm 0,02 ^{bc}	49,1 \pm 1,8 ^a
	5	B	71,5 \pm 2 ^{ab}	6,8 \pm 0,6 ^a	21,4 \pm 0,6 ^b	22,4 \pm 0,7 ^{bc}	1,26 \pm 0,02 ^c	42,7 \pm 2,6 ^b
	4,5	C	72,4 \pm 2,4 ^a	3,8 \pm 0,2 ^c	21,3 \pm 0,4 ^b	21,6 \pm 0,4 ^c	1,39 \pm 0,01 ^a	38,0 \pm 0,7 ^c
	6	D	68,7 \pm 0,6 ^b	5,9 \pm 0,4 ^b	23,3 \pm 1,3 ^a	24,0 \pm 1,2 ^{ab}	1,32 \pm 0,03 ^b	46,9 \pm 2,0 ^a

No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan el mismo superíndice en la misma columna.

Las muestras fueron elaboradas con A: Harina de trigo (HT), B: HT 50 %p/p+ Puré deshidratado de Mandioca (PDM) 50 %p/p, C: HT 25%p/p+PDM75%p/p, D: PDM.

El desarrollo más rápido de coloración en las muestras con PDM podría deberse a coeficientes de difusión de agua más altos en comparación con la muestra sin PDM ($1,17 \times 10^{-5}$ y $6,75 \times 10^{-6}$ en promedio respectivamente) como se mencionó anteriormente en las secciones II y III. Los coeficientes de difusión de agua más altos facilitan la evaporación acelerada del agua en muestras con PDM. Esto permitiría un inicio más temprano de la caramelización de azúcares y la reacción de Maillard. El punto de partida de los parámetros de color, es decir, el color de las masas, también podría ser un factor determinante de este comportamiento. Es decir que para las muestras con PDM, lograr un color similar al de la muestra control siempre requirió menos tiempo de horneado.

En la tabla 19 se muestra la diferencia de color hallada entre los promedios de color de las muestras. Puede observarse que la diferencia de color entre las muestras A y D y entre A y B a todas las temperaturas fue siempre inferior a 5 puntos. La muestra C mostró las mayores diferencias halladas a las temperaturas de 190 y 205 °C.

Tabla 19: Diferencia de total de color (ΔE) entre snacks horneados

°C	Muestra	B	C	D
190	A	1,76	3,19	4,15
205	A	2,34	5,68	2,92
220	A	3,48	3,23	3,03
235	A	3,27	5,10	1,44

Las muestras fueron elaboradas con A: Harina de trigo (HT), B: HT 50 %p/p+ Puré deshidratado de Mandioca (PDM) 50 %p/p, C: HT 25%p/p+PDM75%p/p, D: PDM.

SECCIÓN V

ESTUDIO DE LAS ISOTERMAS DE SORCIÓN DE LAS MUESTRAS HORNEADAS

1 **Curvas de adsorción**

2 En la Figura 42 y 43 se pueden observar las curvas de adsorción de cada formulación
 3 a 10, 30 y 50 °C y de todas las formulaciones (horneadas a 220 °C) a las diferentes
 4 temperaturas trabajadas. Se presentan los datos de tres repeticiones de cada una de las
 5 muestras.

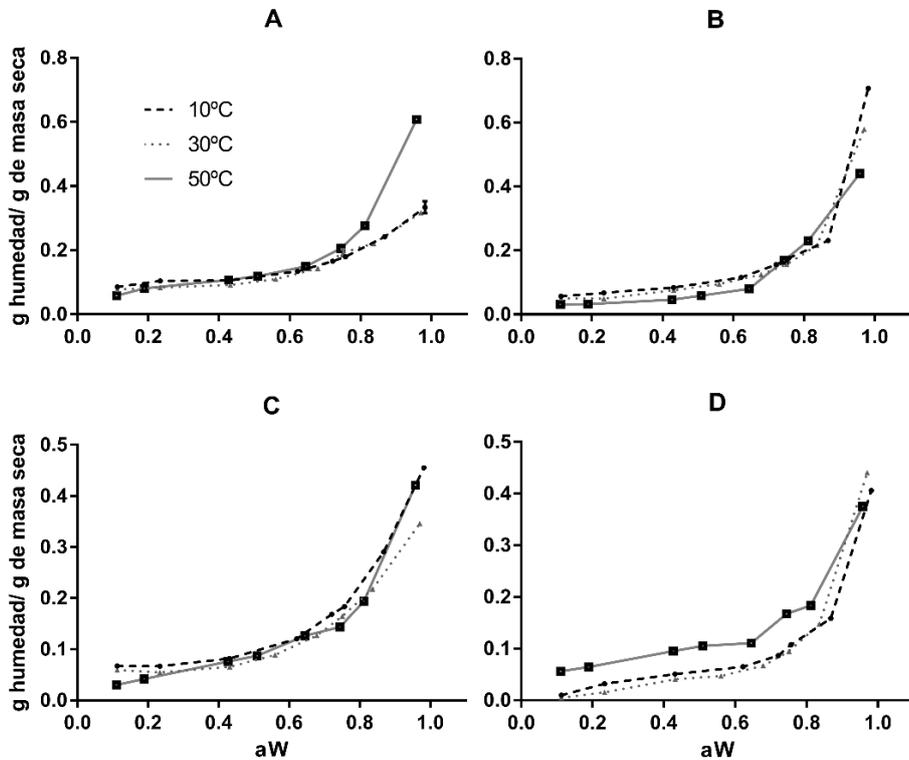


Figura 42: curvas de adsorción por formulación. Las muestras fueron elaboradas con A: Harina de trigo (HT), B: HT 50 %p/p+ Puré deshidratado de Mandioca (PDM) 50 %p/p, C: HT 25%p/p+PDM75%p/p, D: PDM.

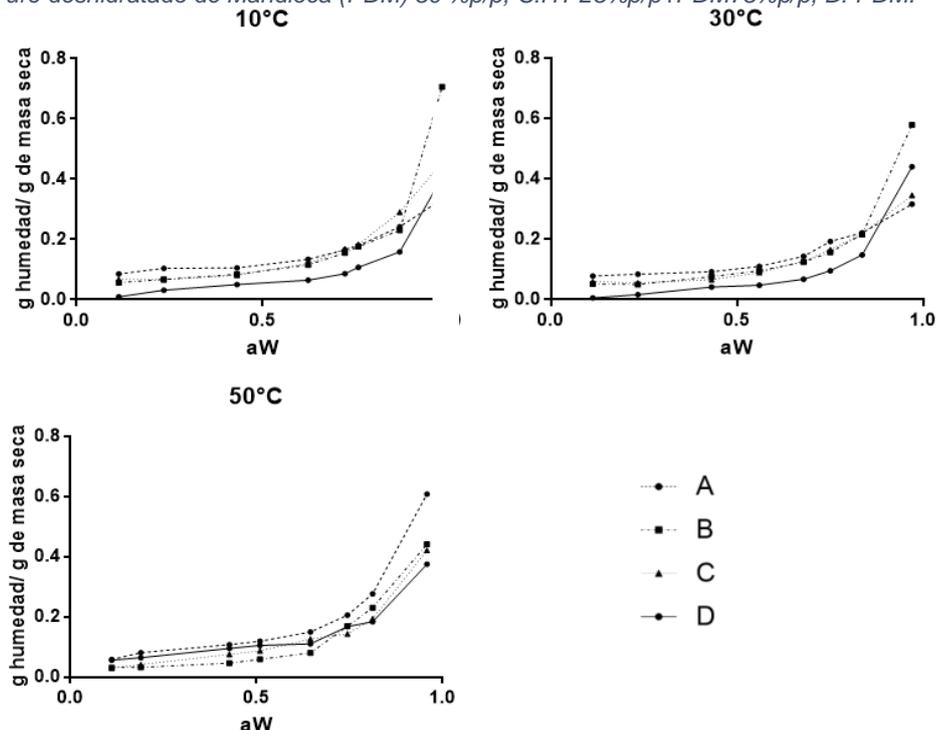


Figura 43: curvas de adsorción por temperatura. Las muestras fueron elaboradas con A: Harina de trigo (HT), B: HT 50 %p/p+ Puré deshidratado de Mandioca (PDM) 50 %p/p, C: HT 25%p/p+PDM75%p/p, D: PDM.

Lic. Cazzaniga Amanda

26

27 Se puede observar un aumento en el contenido de agua en base seca con el aumento en la
28 actividad de agua a temperatura constante formando una curva tipo III para las muestras con
29 PDM y tipo II para la muestra A de acuerdo con la clasificación de Brunauer [10]. Curvas tipo
30 III fueron obtenidas por otros autores en alimentos como banana, manzana, ananá, damasco,
31 pasas, carne curada y en aquellos ricos en componentes solubles como azúcares, debido a
32 su solubilidad en agua, por ejemplo, en geles de almidón con sacarosa agregada produce un
33 aumento drástico de la sorción de agua en actividades de agua superiores a 0,85 [10]. Sin
34 embargo, alimentos similares a la mandioca como la papa, geles de almidón, maíz, arroz,
35 harina de maíz nixtamalizada, y a partir de mandioca como la fariña, almidón de mandioca y
36 el PDM obtuvieron comportamientos compatibles con curvas tipo II al igual que la muestra A
37 [6,8,10–12]. Esto podría indicar que el proceso de obtención del PDM sumado al proceso de
38 elaboración de los crackers podría generar la degradación de la molécula de almidón en
39 polímeros de cadena más corta y con mayor solubilidad como las dextrinas o disacáridos
40 como la maltosa.

41 La adsorción de agua en alimentos con alto contenido de almidón se debe principalmente a
42 la interacción del hidrógeno de las moléculas de agua a los grupos hidroxilo disponibles en la
43 superficie del sustrato. En almidones nativos, las fracciones cristalinas presentan una
44 resistencia a la penetración de solventes, por lo que el agua afecta principalmente a las
45 fracciones amorfas del gránulo. Sin embargo, en alimentos en el que el almidón ha sufrido
46 procesos previos de gelatinización y deshidratación, es decir de pregelatinizado, como en el
47 caso del PDM y de los snacks con PDM, las propiedades de hidratación cambian y el almidón
48 se vuelve menos resistente a la hidratación [5]. Esto se debe a la mayor desorganización
49 macromolecular y a la degradación del almidón durante los procesos térmicos aplicados
50 (secado del PDM y horneado de los snacks).

51 En la Figura 41 se puede observar también el efecto de la temperatura en las características
52 de sorción de humedad en la formulación “D”. El contenido de humedad de equilibrio aumenta
53 al aumentar la temperatura (con actividad de agua constante), lo que indica que el alimento
54 se vuelve más higroscópico, sin embargo, no se observa diferencia aparente entre las
55 temperaturas 10 y 30 °C. Las demás formulaciones no presentaron diferencia aparente entre
56 ninguna de las temperaturas ensayadas, esto se analizará en detalle más adelante en esta
57 sección mediante la prueba ANOVA.

58 Se puede observar también un entrecruzamiento de las curvas a actividades de agua mayores
59 a 0,8 en aquellas muestras que contienen PDM. Este cruzamiento se puede describir como
60 un aumento pronunciado del CAE en las temperaturas más bajas en valores de a_w mayores

61 de 0,8. Esto ha sido observado previamente por otros autores en alimentos ricos en
62 carbohidratos como el plátano, la remolacha azucarada, las pasas sultana, la malta de cebada
63 y el sistema proteína de soja - azúcar, entre otros [6]. El entrecruzamiento de curvas se ha
64 adjudicado a diferentes razones a lo largo del tiempo y según las matrices alimentarias
65 analizadas. La explicación que representa mejor al comportamiento de la muestra D es la
66 disolución endotérmica de azúcares a una actividad de agua elevada. Pero el comportamiento
67 de las muestras B y C con mezclas de harina de trigo y PDM parece explicarse mejor por una
68 mayor exposición de sitios activos o grupos hidrófilos a alta a_w conforme la temperatura
69 aumenta. La mayor exposición de sitios activos se debe a un aumento de la movilidad
70 molecular producto del inicio del rango de transición vítrea donde las regiones amorfas del
71 almidón comienzan a plastificar, aumentando la disponibilidad de grupos hidroxilo para
72 aumentar la sorción [13]. Aunque no se descarta que ambas situaciones pudiesen estar
73 ocurriendo simultáneamente.

74 **Modelado matemático de las curvas de adsorción**

75 A continuación, en la *Tabla 20* se pueden apreciar los valores de los parámetros de los 4
76 modelos que presentaron los mejores ajustes y en la *tabla 4* se presentan los valores de los
77 parámetros de ajuste y constantes de los demás modelos. Al analizar los datos estadísticos
78 de los modelos se puede observar que el modelo de Peleg es el que mejor describe los datos
79 de adsorción de los crackers con y sin sustitución por PDM. Los valores de error (RMSE) se
80 encuentran dentro de un rango de 0,0005 a 0,007g H₂O/g SS y los valores de R^2_{ajus} varían
81 dentro de un rango de 0,9887 a 0,9991. Previamente han sido reportados buenos ajustes para
82 este modelo en almidón de papas, arvejas y jamón crudo, Harina de Avena y Harina de Arroz
83 [13,14]. Sin embargo, al ser un modelo empírico sus constantes no permiten estimar
84 propiedades o características de los alimentos.

Tabla 20: valores de constantes y de ajuste obtenidos para GAB, Oswin, Peleg y Ferro Fontan

T (°C)		A			B			C			D		
		50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10
GAB	X _m	0,06324	0,06707	0,07256	0,04322	0,0440	0,04503	0,04532	0,05214	0,06084	0,05252	0,02441	0,02773
	C	29,66*	21,05*	2,25*	45,73*	34,09*	9,019*	42,01*	35,55*	3,75*	37,74*	8,636*	36,61*
	K	0,9354	0,8159	0,7971	0,943	0,9526	0,9532	0,9319	0,8782	0,8843	0,8972	0,974	0,9489
	R ² _{ajus}	0,9971	0,9769	0,9823	0,9553	0,9993	0,9943	0,9883	0,977	0,9858	0,9873	0,989	0,9929
	RMSE	0,00880	0,01165	0,0102	0,02	0,0004	0,005	0,004	0,004	0,005	0,003	0,004	0,002
	AICc	-218	-205	-211	-163,4	-252,2	-193	-201,4	-195,9	-193,5	-163,4	-252,2	-193
Oswin	A	0,125	0,122	0,1319	0,08188	0,08791	0,0968	0,08938	0,1002	0,1227	0,1032	0,04602	0,05825
	B	0,5053	0,2832	0,2398	0,5459	0,5418	0,4961	0,4967	0,3648	0,3356	0,4101	0,651	0,4871
	R ² _{ajus}	0,9928	0,9425	0,9507	0,9598	0,9966	0,9959	0,9947	0,9535	0,9526	0,9851	0,9947	0,9935
	RMSE	0,01418	0,00812	0,007	0,02	0,002	0,01	0,002	0,009	0,02	0,003	0,002	0,002
	AICc	-186,5	-184,5	-187,4	-167,8	-217,3	-203,1	-222,1	-180,8	-166,5	-206,9	-216,3	-217,3
Peleg	K1	0,6302	0,2727	0,2415	0,5016	0,607	0,7085	0,4016	0,3354	0,4124	0,3406	0,4791	0,3692
	n1	7,306	3,238	4,413	4,527	9,905	16,08	8,933	3,718	4,63	7,547	10,91	12,59
	k2	0,1497	0,07071	0,1123	0,02989	0,1316	0,1797	0,1524	0,04593	0,07633	0,1305	0,1005	0,1142
	n2	0,4006	-0,05284	0,1045	-0,03813	0,555	0,6735	0,7767	-0,115	0,067	0,3977	1,239	0,9874
	R ² _{ajus}	0,9991	0,9902	0,9902	0,9946	0,9973	0,9948	0,9945	0,9965	0,9979	0,9887	0,9971	0,9956
	RMSE	0,00053	0,00121	0,00742	0,002	0,001	0,004	0,001	0,0007	0,0007	0,002	0,001	0,001
	AICc	-244,1	-223,1	-223,1	-211,9	-218,7	-193,5	-217,7	-238,8	-237,8	-209,7	-227,1	-222,8
Ferro Fontan	A	0,0332	0,02442	0,0833	0,2425	0,02004	0,00972	0,0321	0,05313	0,05538	0,008947	0,04776	0,02017
	B	1,026	1,135	1,0875	1,385	1,014	1	1,055	1,159	1,13	1,015	1,068	1,043
	C	1,461	1,629	2,188	0,5167	1,461	1,859	1,273	1,147	1,194	1,908	0,8497	1,207
	R ² _{ajus}	0,9962	0,97	0,9751	0,9852	0,9987	0,9983	0,9942	0,9801	0,9863	0,9888	0,9966	0,9955
	RMSE	0,003471	0,004073	0,0121	0,006	0,0008	0,001	0,002	0,0004	0,05	0,002	0,001	0,001
	AICc	-211,4	-198,2	-202,8	-190	-238,6	-222,3	-218,4	-199,3	-194,4	-212	-225,1	-224,2

Las muestras fueron elaboradas con A: Harina de trigo (HT), B: HT 50 %p/p+ Puré deshidratado de Mandioca (PDM) 50 %p/p, C: HT 25%p/p+PDM75%p/p, D: PDM.

Tabla 21: valores de constantes y de ajuste obtenidos para Smith, Henderson, Halsey y Chung & Pfost

		A			B			C			D		
		T (°C)	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30
Smith	A	0,149	0,111	0,04687	-0,06322	0,004544	0,1037	0,01668	-0,01018	0,1365	0,04251	0,07156	0,07529
	B	0,01245	0,02449	0,09491	0,1689	0,1127	0,02277	0,1018	0,1248	2,10E-13	0,08418	~ 1,502e-016	1,164 e-013
	r2	0,9518	0,96	0,9832	0,9357	0,9783	0,9801	0,9462	0,9842	0,9764	0,8982	0,8701	0,9357
	RMSE	0,0137	0,001343	0,005023	0,004571	0,0007394	0,0007158	0,001375	0,0006569	0,01085	0,001867	0,002837	0,001316
	AICc	-121,6	-131,6	-146,4	-113,3	-140,6	-141,1	-131,3	-142,4	-128,6	-126,7	-120,4	-131,9
Henderson	A	5,035	25,38	36,33	6,121	5,371	5,291	7,167	12,9	10,48	10,5	5,851	8,207
	B	0,8895	1,701	1,956	0,8163	0,7591	0,7546	0,9212	1,229	1,226	1,167	0,6218	0,7854
	r2	0,9681	0,9383	0,321	0,9768	0,9783	0,9709	0,981	0,9617	0,9677	0,941	0,9944	0,9899
	RMSE	0,02985	0,01946	0,009618	0,009466	0,01336	0,03403	0,00607	0,007849	0,01176	0,01268	0,002272	0,003251
	AICc	-162,4	-182,9	-180,5	-180,9	-172,6	-156,1	-191,6	-185,4	-175,7	-173,9	-215,2	-206,6
Halsey	A	0,01805	0,0009722	0,0003305	0,01174	0,0122	0,009496	0,009368	0,002489	0,002392	0,005364	0,009691	0,003363
	B	0,5675	0,3217	0,2641	0,6104	0,5935	0,5346	0,5605	0,4092	0,3697	0,4688	0,7097	0,5282
	r2	0,9942	0,9256	0,9357	0,9475	0,9979	0,9984	0,9878	0,9387	0,9353	0,9883	0,9901	0,9866
	RMSE	0,01269	0,02638	0,01989	0,02139	0,001318	0,001495	0,003899	0,01256	0,02361	0,002524	0,004013	0,004313
	AICc	-202	-178,4	-181,9	-161,4	-228,2	-225,2	-202,2	-174,1	-159	-212,6	-201,5	-199,8
Chung y Pfost	B	7,496	16,42	18,25	9,29	8,195	7,564	10,37	13,68	11,44	12,68	10,09	12,39
	A	2,095	5,275	7,967	1,672	1,662	1,635	2,012	2,855	2,818	2,954	1,232	1,497
	r2	0,89	0,9474	0,9585	0,8991	0,8682	0,8622	0,9242	0,9415	0,9517	0,9155	0,8674	0,9151
	RMSE	0,05544	0,007428	0,01599	0,04112	0,08124	0,1262	0,0248	0,01198	0,01762	0,01816	0,05397	0,0274
	AICc	-132,7	-186,7	-192,3	-145,7	-129,3	-118,8	-158,4	-175,3	-166	-165,3	-139,1	-155,4

Las muestras fueron elaboradas con A: Harina de trigo (HT), B: HT 50 %p/p+ Puré deshidratado de Mandioca (PDM) 50 %p/p, C: HT 25%p/p+PDM75%p/p, D: PDM.

1 Otra dificultad encontrada en la utilización de este modelo fue que los límites de
2 confianza de 95 % del parámetro n^2 en algunos casos pasan de valores positivos a
3 negativos produciendo dificultad para hallar verdaderas diferencias significativas entre
4 uno y otro grupo de datos al aplicar un análisis de varianza.

5 El segundo modelo que logró variables de ajuste superiores a los demás modelos fue
6 Ferro Fontan, con un RMSE entre 0,0004 y 0,05 g H₂O/g SS y los valores de R^2_{ajus}
7 varían dentro de un rango de 0,9988 y 0,97. Este modelo ha resultado adecuado para
8 más de 92 productos alimenticios diferentes evaluados en diferentes investigaciones y
9 también represento correctamente cuando se estudiaron las curvas de adsorción del
10 PDM en trabajos anteriores [12,15]. Este modelo es un modelo semi empírico ya que
11 "A" es una constante sin significado teórico. Sin embargo, los parámetros B y C tienen
12 significado teórico; B permite una aproximación de la estructura del agua adsorbida y C
13 es una constante que vincula el calor isostérico de sorción con el contenido de humedad
14 [16]. El análisis de varianza ($p < 0,05$) de los valores de las constantes de este modelo
15 arrojó que las constantes A y B no presentan diferencias significativas entre las
16 formulaciones por lo que la estructura de agua adsorbida tiende a ser similar entre estas
17 formulaciones. Para la constante C se halló que a 10 y a 30 °C el valor de la constante
18 tiende a subir con el contenido de PDM en la formulación. Sin embargo, a 50 °C no se
19 encontró una tendencia definida a aumentar o disminuir con el porcentaje de PDM en la
20 muestra. Algo similar ocurre cuando se analizan las constantes mediante el factor
21 temperatura, las constantes A y B no presentan variación significativa entre las
22 temperaturas estudiadas en todas las formulaciones. Mientras que la constante C solo
23 presento variaciones en el caso de las muestras B y D donde se halló que las constantes
24 para las temperaturas 10 y 30 °C no mostraban diferencia estadística entre sí, pero si
25 resultaban diferentes de las constantes a 50 °C que presentaron el valor más bajo en
26 ambos casos.

27 El tercer modelo que presentó parámetros de ajuste que indicarían una buena
28 representación de los datos hallados fue el modelo de GAB, con RMSE entre 0,0174 y
29 0,00043 g H₂O/g SS y los valores de R^2_{ajus} varían dentro de un rango de 0,9993 y
30 0,9553. El modelo de GAB ha sido uno de los modelos más versátiles pudiendo
31 representar correctamente los datos de sorción del 75 % de los alimentos estudiados
32 [10]. Pero, además, resulta de interés por ser un modelo teórico. En este modelo, la
33 variable X_m representa la humedad de la monocapa (g agua/ g s.s.), los valores hallados
34 se encontraron en el rango entre 0,02 y 0,07 g H₂O/g SS. El análisis de varianza
35 ($p < 0,01$) de los resultados obtenidos para esta constante demostró diferencias
Lic. Cazzaniga Amanda

36 significativas entre las formulaciones ensayadas, pero no presenta una tendencia a
37 aumentar o disminuir con la cantidad de PDM (Tabla 20). También se hallaron
38 diferencias significativas entre temperaturas para las muestras A, C y D, pero no para la
39 muestra B. Para las muestras A y C, la constante X_m tiende a disminuir con la
40 temperatura mientras que para la formulación D tiende a aumentar; y para la formulación
41 B no se encontró diferencias entre temperaturas. La constante C de GAB en todos los
42 casos presentó desvíos estándar demasiado amplios para poder ser evaluado mediante
43 el análisis de varianza (coeficientes de variación mayores a 100%).

44 Por otro lado, los valores de la constante k se mantuvieron entre 0,79 y 0,95, Cuando k
45 se acerca a uno, casi no hay distinción entre moléculas multicapa y moléculas líquidas.
46 En ese caso, las moléculas de agua más allá de la monocapa no están estructuradas
47 en una multicapa, sino que tienen las mismas características que las moléculas en el
48 líquido a granel [73]. El análisis de varianza ($p < 0,01$), que puede verse en la Tabla 22,
49 arrojó diferencias significativas entre formulaciones a una misma temperatura en la
50 constante k, pero la diferencia no muestra una tendencia con el contenido de PDM en
51 las muestras a 10 y 30 °C, A 50 °C solo la muestra D mostró ser significativamente
52 mayor a las demás. Cuando se analiza la constante k desde el factor temperatura, no
53 se observan diferencias significativas entre temperaturas para la muestra B, pero si para
54 las muestras A, C y D. En las formulaciones A y C el valor de k a las temperaturas 10 y
55 30 °C no mostro diferencias significativas, sin embargo, a 50 °C el valor fue
56 significativamente mayor. El valor de k para la formulación D no mostro tendencia con
57 la temperatura. Esto se puede observar en la Figura 41 por la ubicación que tiene la
58 curva de 50 °C respecto a las demás en cada una de las muestras.

59 El modelo de Ferro Fontan presentó diferencias significativas entre muestras ($p < 0,01$)
60 para sus tres constantes, excepto para la constante "A" a 30 °C y la constante "C" a 10
61 °C como puede observarse en la Tabla 22. Sin embargo, tampoco se hallaron
62 tendencias a aumentar o disminuir con la cantidad de PDM. Para la formulación A, se
63 hallaron diferencias significativas entre temperaturas con tendencia a disminuir con la
64 temperatura.

65 Para la formulación B se hallaron diferencias significativas y con tendencia a aumentar
66 con la temperatura para los parámetros A y B, mientras que el parámetro C obtuvo la
67 tendencia inversa. La formulación C no manifestó diferencia significativa entre
68 temperaturas para ninguna de las constantes de este modelo. Y la formulación D si
69 obtuvo diferencias entre temperaturas, pero no presentaron una tendencia definida.

70 Tabla 22: Análisis de varianza para las constantes de GAB y Ferro Fontan. Valores promedios \pm desvío
 71 standard.

muestra		GAB		Ferro Fontan		
		Xm	k	A	B	C
10 °C	A	0,073 \pm 0,002 ^{d2}	0,797 \pm 0,008 ^{a1}	0,0083 \pm 0,0038 ^{a1}	1,075 \pm 0,02 ^{bc12}	2,18 \pm 0,2 ^{a2}
	B	0,045 \pm 0,001 ^{b1}	0,95 \pm 0,02 ^{c1}	0,0097 \pm 0,0015 ^{a1}	1 \pm 0,002 ^{a1}	1,86 \pm 0,08 ^{a3}
	C	0,061 \pm 0,002 ^{c3}	0,884 \pm 0,005 ^{b1}	0,055 \pm 0,016 ^{b1}	1,13 \pm 0,03 ^{c1}	1,19 \pm 0,13 ^{a1}
	D	0,028 \pm 0,001 ^{a1}	0,949 \pm 0,003 ^{c2}	0,0201 \pm 0,0047 ^{a1}	1,04 \pm 0,01 ^{ab12}	1,207 \pm 0,892 ^{a1}
30 °C	A	0,067 \pm 0,002 ^{d1}	0,82 \pm 0,01 ^{a1}	0,024 \pm 0,01 ^{a2}	1,135 \pm 0,05 ^{b2}	1,63 \pm 0,2 ^{c1}
	B	0,044 \pm 0,0005 ^{b1}	0,95 \pm 0,001 ^{c1}	0,020 \pm 0,0024 ^{a1}	1,01 \pm 0,004 ^{a1}	1,46 \pm 0,05 ^{bc2}
	C	0,052 \pm 0,002 ^{c2}	0,878 \pm 0,007 ^{b1}	0,053 \pm 0,020 ^{a1}	1,16 \pm 0,05 ^{b1}	1,15 \pm 0,15 ^{ab1}
	D	0,024 \pm 0,001 ^{a1}	0,974 \pm 0,003 ^{d3}	0,048 \pm 0,011 ^{a2}	1,07 \pm 0,02 ^{ab2}	0,85 \pm 0,08 ^{a1}
50 °C	A	0,063 \pm 0,001 ^{c1}	0,935 \pm 0,002 ^{b2}	0,033 \pm 0,005 ^{a1}	1,026 \pm 0,01 ^{a1}	1,46 \pm 0,1 ^{b1}
	B	0,043 \pm 0,003 ^{a1}	0,94 \pm 0,01 ^{b1}	0,24 \pm 0,097 ^{b2}	1,4 \pm 0,2 ^{b2}	0,52 \pm 0,1 ^{a1}
	C	0,045 \pm 0,001 ^{a1}	0,932 \pm 0,005 ^{b2}	0,032 \pm 0,007 ^{a1}	1,055 \pm 0,015 ^{a1}	1,27 \pm 0,09 ^{b1}
	D	0,052 \pm 0,002 ^{b2}	0,897 \pm 0,006 ^{a1}	0,0089 \pm 0,0031 ^{a1}	1,015 \pm 0,011 ^{a1}	1,91 \pm 0,15 ^{c1}

72 No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan el mismo superíndice en la misma columna.

73 Los superíndices en letras son comparaciones entre formulaciones a una misma temperatura y en números son entre temperaturas para
 74 una misma formulación. Las muestras fueron elaboradas con A: Harina de trigo (HT), B: HT 50 %p/p+ Puré deshidratado de Mandioca

75 (PDM) 50 %p/p, C: HT 25%p/p+PDM75%p/p, D: PDM.

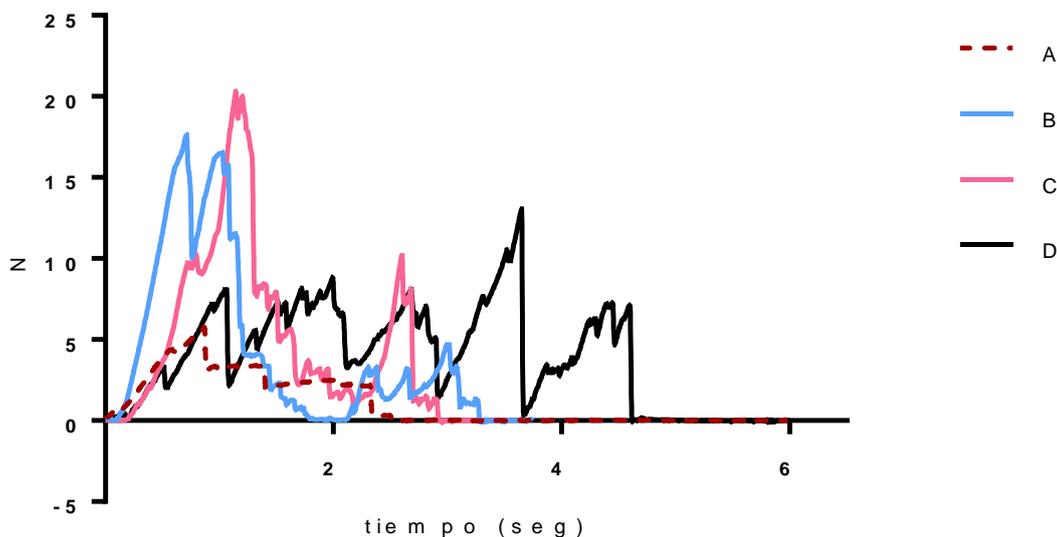
76 Los modelos de Smith, Henderson, y Chung & Pfof, fueron los que manifestaron más
 77 errores al predecir los datos con respecto a los valores experimentales, los valores de
 78 ajuste de estos modelos se pueden apreciar en la Tabla 21. En el caso de los modelos
 79 de Oswin y Halsey, los errores de la predicción fueron relativamente bajos para algunas
 80 formulaciones y temperaturas y para otras no, por lo que no serían adecuados para
 81 realizar comparaciones entre los conjuntos de datos estudiados.

SECCIÓN VI

ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS TEXTURALES Y AUDITIVAS DE LOS SNACKS HORNEADOS

1 **Propiedades texturales y fisicoquímicas de los productos horneados y de**
 2 **muestras comerciales**

3 En la Figura 44 se puede observar una de las curvas obtenidas durante los
 4 ensayos de punción.



5

Figura 44: gráfico de fuerza-tiempo representativo de los datos obtenidos para las muestras elaboradas durante el ensayo de punción. Las muestras fueron elaboradas con A: Harina de trigo (HT), B: HT 50 %p/p+ Puré deshidratado de Mandioca (PDM) 50 %p/p, C: HT 25%p/p+PDM75%p/p, D: PDM.

6 Se considera que una estructura porosa y frágil se caracteriza por curvas irregulares
 7 que incluyen una región elástica lineal seguida por una zona donde se manifiestan
 8 variaciones importantes en la fuerza necesaria para que la sonda avance [149]. La
 9 fuerza de penetración requerida es débil cuando la punta del émbolo está sobre los
 10 poros del material y es fuerte cuando la punta del émbolo está en contacto con la pared
 11 de los poros del material. De la misma forma, cuando la pared se fractura por la fuerza
 12 aplicada, se observa una reducción repentina de la fuerza, sin embargo, el número de
 13 reducciones de fuerza puede sobre estimar el número de fracturas ya que una misma
 14 fractura puede desencadenar múltiples reducciones de fuerza. A su vez el número de
 15 picos puede estar influenciado por diversas variables como la humedad, la porosidad,
 16 la rugosidad del material y el tamaño de la sonda [86].

17 Al observar las curvas obtenidas las reducciones de fuerza parecen aparecer en grupos
 18 luego de la primera fractura en las muestras B, C y D, pero no en la muestra A que
 19 observando la curva no parece demostrar un comportamiento característico de los
 20 alimentos crocantes. Otra característica que puede observarse visualmente es la

Lic. Cazzaniga Amanda

21 tendencia de la fuerza, que en las muestras A, B y C tiende a disminuir a medida que el
22 embolo penetra en la muestra indicando que las zonas más densas de la muestra se
23 concentran en la superficie, mientras que en la muestra D, la fuerza tiende a mantenerse
24 en el mismo nivel, indicando una mayor homogeneidad entre la superficie y el centro de
25 la muestra.

26 Como puede observarse en la Tabla 23, la dureza obtenida durante el ensayo de
27 punción aumenta a medida que el porcentaje de sustitución aumenta, sustentado por
28 una correlación de 0,84 entre la dureza y el porcentaje de PDM en la mezcla. Las
29 muestras comerciales presentaron valores de dureza en un rango de entre 9,7 y 20,0
30 N*s, tres de las cuales (Bagley Maíz, Bagley Arroz y tostadas de Arroz) no presentaron
31 una diferencia significativa con la muestra elaborada sin harina de trigo. Sin embargo,
32 debe tenerse en cuenta que estas muestras comerciales también contienen diferentes
33 porcentajes de reemplazo de harina de trigo por maíz, salvado y arroz. La muestra
34 comercial “REX” sin combinación de harinas mostró similitud estadística con las
35 muestras elaboradas B y C, mientras que la muestra elaborada de harina de trigo y la
36 muestra comercial “kesitas” presentaron los valores de dureza más bajos, pero no se
37 pudieron agrupar estadísticamente.

38 Algo similar ocurre con la fracturabilidad obtenida mediante punción, la curva presenta
39 mayor cantidad de variaciones en la fuerza necesaria para que el émbolo penetre en la
40 muestra a una velocidad constante (picos) a medida que aumenta la proporción de PDM,
41 con un índice de correlación de 0,75. La muestra D demostró una fracturabilidad
42 significativamente mayor que todas las demás muestras ensayadas (comerciales y
43 elaboradas), esto puede deberse a un porcentaje mayor de moléculas, productos de la
44 degradación del almidón, en estado vítreo. Esto demuestra que el agregado de almidón
45 de mandioca pregelatinizado aumenta la crocancia, entendida como múltiples fracturas
46 en la curva fuerza-distancia, en productos horneados [150]. Otros autores encontraron
47 respuestas similares donde el aumento en el contenido de harina de trigo disminuyó el
48 número de picos de fuerza [151].

49 Las muestras comerciales obtuvieron valores de fracturabilidad en el rango entre 29,5 y
50 75,0 N*s. En este parámetro se obtuvieron valores estadísticamente similares entre las
51 muestras elaboradas B y C y las “tostadas de arroz” y entre la muestra elaborada A (sin
52 sustitución) y las galletitas en base a harina de trigo “REX”. Las galletitas Bagley arroz,
53 Bagley Maíz y Kesitas se mantuvieron en un mismo grupo estadístico con los valores
54 más bajos hallados.

55 En la Tabla 23, se presentan también los resultados obtenidos para los parámetros de
 56 dureza (N) y fracturabilidad (mm) mediante el ensayo de 3PB, y en la figura 45 puede
 57 observarse una curva representativa. En cuanto a la dureza obtenida mediante el
 58 ensayo 3PB de las muestras elaboradas puede observarse en la tabla que la muestra B
 59 es menos dura que la muestra A, y que a su vez la muestra D es significativamente más
 60 dura. Sin embargo, la muestra C no mostró diferencia significativa con la muestra A, por
 61 lo que no se puede establecer que exista una tendencia a aumentar o disminuir con el
 62 porcentaje de sustitución de harina de trigo por PDM.

63 *Tabla 23: resultados obtenidos mediante el ensayo de punción y 3PB. Valores promedios de 13 muestras*
 64 *o más \pm desvío standard.*

Muestra	Punción		3PB		
	Dureza (N.s)	Fracturabilidad (N.s)	Dureza (N)	Fracturabilidad (mm)	Fracturabilidad como el porcentaje del espesor de la muestra
A (220°C-9 min)	5,9 \pm 1,7 ^a	52,4 \pm 12,0 ^b	26,7 \pm 5,8 ^{bc}	3,3 \pm 0,9 ^{abc}	99,76
B (220°C-6 min)	13,2 \pm 2,6 ^c	79,2 \pm 15,7 ^c	14,87 \pm 2,7 ^d	2,0 \pm 0,3 ^d	74,74
C (220°C-5 min)	14,1 \pm 3,5 ^c	81,1 \pm 19,8 ^c	29,8 \pm 5,5 ^b	2,7 \pm 0,3 ^c	94,90
D (220°C-7 min)	21,2 \pm 4,4 ^d	126,0 \pm 27,8 ^d	49,1 \pm 7,4 ^a	4,2 \pm 0,6 ^{bc}	80
REX	14,9 \pm 0,8 ^c	41,62 \pm 4,5 ^b	22,8 \pm 2,9 ^c	4,2 \pm 0,2 ^b	84,49
Bagley Arroz	18,9 \pm 2,0 ^d	29,5 \pm 2,7 ^a	5,1 \pm 0,8 ^f	3,6 \pm 0,3 ^c	29,41
Bagley Maíz	21,1 \pm 3,9 ^d	31,6 \pm 2,1 ^a	6,9 \pm 0,8 ^e	3,72 \pm 0,2 ^c	73,80
Kesitas	9,7 \pm 1,7 ^b	32,0 \pm 4,7 ^a	13,0 \pm 2,3 ^d	2,2 \pm 0,2 ^d	99,98
Tostadas arroz	20,0 \pm 3,9 ^d	75,0 \pm 12,9 ^c	49,1 \pm 3,4 ^a	6,7 \pm 0,1 ^a	99,76

65 No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan el mismo superíndice en la misma columna.
 66 Las muestras fueron elaboradas con A: Harina de trigo (HT), B: HT 50 %p/p+ Puré deshidratado de Mandioca (PDM) 50 %p/p, C:HT
 67 25%p/p+PDM75%p/p, D: PDM.

68 El rango de dureza encontrado para las muestras comerciales fue entre 49,1 y 5,1 N, La
 69 muestra comercial de “tostada de arroz” presentó una dureza estadísticamente similar
 70 a la muestra elaborada D, debe considerarse que ambas muestras no poseen harina de
 71 trigo en su composición. La muestra comercial “REX” y la muestra elaborada “A”
 72 conformaron un mismo grupo estadístico, así como la muestra comercial “kesitas” y la
 73 muestra elaborada “B”. De forma similar la fracturabilidad obtenida mediante la prueba
 74 3PB no mostró una tendencia a aumentar o disminuir los mm recorridos al mayor pico
 Lic. Cazzaniga Amanda

75 de fuerza con el porcentaje de PDM. Se halló que el rango de los snacks
76 comercializados estuvo entre 2,2 y 6,7 mm. Se puede observar que todas las muestras
77 elaboradas durante esta investigación se encuentran dentro de este rango. En este
78 sentido, la fracturabilidad como el porcentaje del espesor de la muestra tampoco
79 presentó una tendencia o una relación con la dureza de las muestras que permita inferir
80 alguna característica estructural. Es posible que no se haya logrado hallar una tendencia
81 definida en ambos parámetros de la prueba 3PB debido a la configuración de la
82 velocidad de la sonda. Esta velocidad fue utilizada con fines de comparación con
83 trabajos de otros autores y para lograr el registro de las ondas sonoras.

84 La discusión sobre los datos obtenidos para la densidad aparente y real, la porosidad y
85 la humedad de las muestras elaboradas ya ha sido planteada en la sección IV. Con
86 respecto a las muestras comerciales, las muestras elaboradas fueron similares en
87 cuanto a la densidad aparente solo a las tostadas de arroz, mientras que presentaron
88 valores más bajos de densidad aparente que aquellos obtenidos para las demás
89 muestras comerciales. La densidad real tuvo menor variación entre muestras que la
90 densidad aparente. Las muestras C y D se mostraron estadísticamente similares a tres
91 de las muestras comerciales (Bagley arroz, Rex y Kesitas) en este sentido, mientras que
92 las muestras A y B fueron similares a la muestra comercial Kesitas. La porosidad
93 calculada a partir de los parámetros densidad aparente y densidad real no mostró
94 coincidencias entre las muestras elaboradas y las comerciales, siendo las muestras
95 elaboradas significativamente más porosas que las comerciales. Resulta llamativo
96 también la gran variabilidad que muestran en general los datos de las muestras
97 comerciales. Los valores de humedad en base seca se ubicaron dentro de un rango
98 entre 6,46 y 0,47. Las muestras A, B y C se encontraron en el mismo grupo estadístico
99 junto con la muestra de tostadas de arroz, mientras que la muestra D fue
100 estadísticamente similar a la muestra de Bagley arroz con menor humedad que las
101 anteriores.

102 Otros autores ya han encontrado múltiples correlaciones entre las características
103 fisicoquímicas o estructurales y la crocancia durante diferentes tipos de ensayos que
104 involucran compresión [151,152]. Al correlacionar los parámetros texturales con las
105 características fisicoquímicas de las muestras, presentadas en la Tabla 24, se encontró
106 que la resistencia a la punción (dureza) esta correlacionada negativamente en un índice
107 de -0,46, de forma tal que al aumentar la densidad real disminuye la resistencia a la
108 punción. Como este resultado no puede explicarse por sí mismo, es posible que se deba
109 a una tercera variable no visible en esta relación, probablemente relacionada a la
Lic. Cazzaniga Amanda

110 composición de las muestras. La dureza por punción se vio correlacionada también con
 111 la fracturabilidad obtenida mediante 3PB con un índice de 0,536, pero no con la dureza
 112 obtenida por este método.

113 *Tabla 24: propiedades fisicoquímicas de los productos elaborados y las muestras comerciales. Valores*
 114 *promedios Valores promedios de 13 muestras o más ± desvío standard.*

Muestra	Densidad aparente (g/cm ³)	Densidad real (g/cm ³)	Porosidad (%)	Humedad (base seca)
Bagley Maíz	0,625 ±0,08 ^b	0,92 ±0,08 ^b	31,32 ±12,71 ^{ab}	3,38 ±0,064 ^c
Bagley Arroz	0,456 ±0,055 ^b	1,23 ±0,08 ^c	62,89 ±3,32 ^c	4,78 ±0,051 ^d
Rex	0,901 ±0,057 ^c	1,11 ±0,10 ^{bc}	23,62 ±10,93 ^a	0,47 ±0,016 ^a
Kesitas	1,317±0,220 ^c	1,13 ±0,03 ^{bcde}	6,14 ±1,21 ^a	1,11 ±0,052 ^b
Tostadas de Arroz Riera	0,216 ±0,029 ^a	0,50 ±0,06 ^a	63,63 ±12,28 ^{cb}	6,29 ±0,15 ^e
A (220°C-9 min)	0,27 ±0,02 ^a	1,54 ±0,13 ^{de}	81,26 ±0,72 ^d	5,59±0,03 ^e
B (220°C-6 min)	0,26 ±0,02 ^a	1,56 ±0,09 ^e	83,41 ±1,96 ^d	5,72±0,10 ^e
C (220°C-5 min)	0,24 ±0,01 ^a	1,32±0,03 ^{cd}	81,92 ±1,25 ^d	6,46±0,32 ^e
D (220°C – 7 min)	0,25 ±0,02 ^a	1,37±0,12 ^{cde}	81,54 ±2,14 ^d	4,84±0,09 ^d

115 No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan el mismo superíndice en la misma columna.

116 Las muestras fueron elaboradas con A: Harina de trigo (HT), B: HT 50 %p/p+ Puré deshidratado de Mandioca (PDM) 50 %p/p, C:HT
 117 25%p/p+PDM75%p/p, D: PDM.

118 La fracturabilidad a la punción estuvo correlacionada con la densidad aparente (-0,585)
 119 y con la porosidad (0,657) de las muestras, variables que a su vez se encuentran
 120 evidentemente relacionadas entre sí. Estas correlaciones reflejan el cambio que sufre la
 121 forma de la curva fuerza-tiempo cuando el embolo tiene más o menos probabilidades
 122 de encontrarse alternativamente sobre una burbuja de gas o sobre una pared a lo largo
 123 del ensayo según la porosidad de la muestra. Se halló también una correlación entre la
 124 fracturabilidad en punción y la humedad con un índice de 0,519, sin embargo, al igual
 125 que se explicó anteriormente, esta relación no parece ser directa y puede que esté
 126 relacionada a otros aspectos composicionales que a su vez afectan el contenido de
 127 humedad, como ser la capacidad de retención de agua de las diferentes harinas.

128 El parámetro dureza obtenido mediante 3PB, se vio relacionado negativamente (-0,460)
 129 con la densidad aparente de las muestras y positivamente con la porosidad (0,342). Esto
 130 es similar a la relación observada entre fracturabilidad por punción y estas
 131 características fisicoquímicas, sin embargo, en el caso de la dureza por 3PB esa relación
 132 es más débil. Fracturabilidad y dureza obtenidos por 3PB se correlacionaron en 0,602,
 133 lo cual estaría indicando que el pico máximo de fuerza se da hacia el final del ensayo

134 probablemente cercano al momento de flexión máxima pero anterior al quiebre de la
135 muestra.

136 La fracturabilidad obtenida por método 3PB, se correlacionó negativamente tanto con la
137 densidad real como con la porosidad (-0,798; -0,398). Esto resulta contradictorio tanto
138 con los resultados obtenidos por punción como con la teoría actual que establece que a
139 mayor porosidad mayor fracturabilidad debido al debilitamiento por adelgazamiento de
140 las paredes de los poros [152]. A su vez, la baja correlación (0,272) hallada entre los
141 valores de fracturabilidad hallados mediante el método de punción y mediante el método
142 3PB, refleja la falta de tendencia de los datos obtenidos por este último. Por ello, es

143 posible que este método no sea
144 óptimo para este tipo de
145 muestras, ya que no hay
146 evidencias de que se esté
147 evaluando la misma propiedad
148 en ambos métodos, sin
149 embargo, estudios más amplios
150 deberían realizarse para
151 confirmar esta hipótesis.

152 **Análisis de las propiedades** 153 **auditivas y su relación con** 154 **parámetros texturales**

155 En la Tabla 25 pueden
156 observarse los datos obtenidos
157 mediante el análisis de la onda
158 de sonido emitida por las
159 muestras elaboradas y
160 comerciales durante el ensayo
161 de 3PB, y en la Figura 45 puede
162 observarse una curva
163 representativa. Previamente se ha establecido en la literatura científica que la sensación
164 de crocancia, está relacionada con el número de fracturas y el número de eventos
165 sonoros caracterizándose por un trabajo total bajo (área debajo de la curva) y un gran
166 número de sonidos y eventos de fuerza [151].

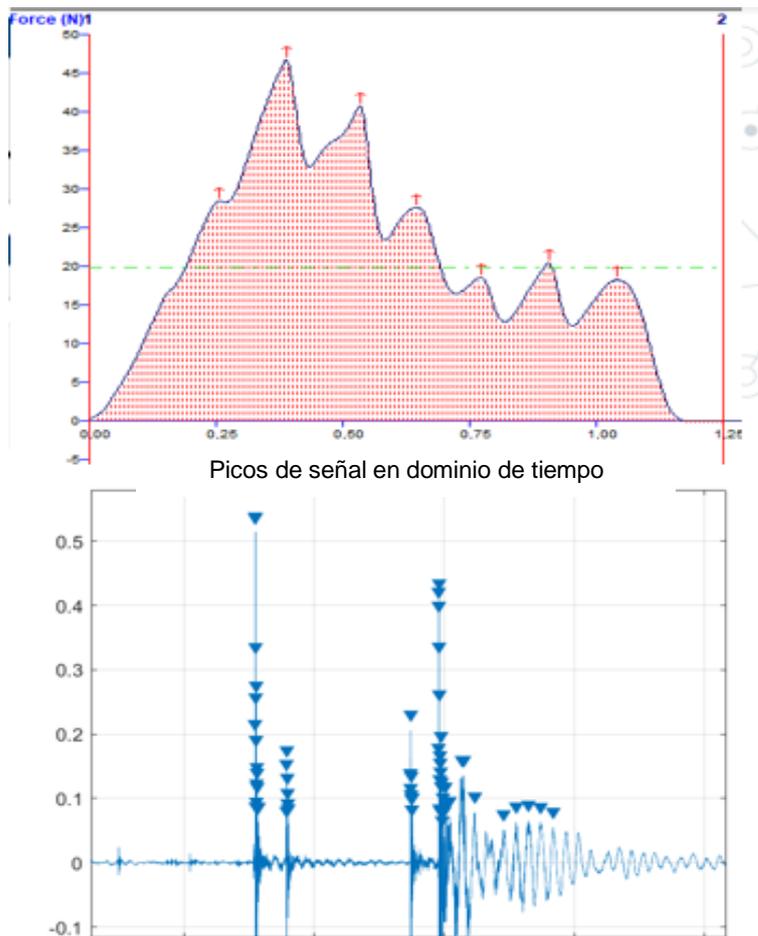


Figura 45: curvas de textura y sonoras representativas obtenidas mediante la prueba 3PB para la muestra "D"

167 El número de fracturas que pueden observarse en la curva fuerza-distancia es menor
 168 que el número de eventos acústicos. Esta discrepancia entre ambos datos ya ha sido
 169 observada anteriormente por otros autores. Esto podría deberse a que el sistema de
 170 registro de fuerza es más lento que el del sonido debido a la inercia del transductor de
 171 presión. A su vez, cada caída en la fuerza puede generar un grupo de eventos acústicos
 172 ya que la emisión de sonido es el resultado de una repentina liberación de energía,
 173 mientras que la curva de fuerza es una lectura de la energía aplicada sobre la muestra
 174 [81,87]. Por otro lado, se ha observado que durante la zona elástica de la curva de fuerza
 175 vs deformación o tiempo, se produce liberación de energía en forma de sonido que no
 176 se reflejan en las lecturas de stress de la curva, lo cual muestra que la combinación de
 177 ambos métodos presenta sus ventajas ya que medir la liberación de energía acústica
 178 revela datos que no pueden extraerse de la curva de fuerza que probablemente estén
 179 actuando durante la percepción sensorial [153].

180 *Tabla 25: resultados obtenidos mediante el análisis de la onda de sonido emitida por las muestras durante*
 181 *el ensayo de 3PB. Valores promedios de 13 muestras o más \pm desvío standard.*

Muestra	Número de picos	Altura promedio picos (db)	Altura máx. promedio picos (db)	Altura mín. promedio picos (db)
A (220°C-9 min)	36,61 \pm 16,49 ^c	74,10 \pm 1,19 ^{ab}	83,86 \pm 3,95 ^c	63,57 \pm 6,11 ^{ab}
B (220°C-6 min)	17,38 \pm 5,71 ^b	73,19 \pm 1,05 ^a	80,54 \pm 2,56 ^b	69,26 \pm 1,045 ^{bcd}
C (220°C-5 min)	33 \pm 12,56 ^c	74,29 \pm 0,52 ^b	84,32 \pm 2,40 ^c	62,03 \pm 8,34 ^{abc}
D (220°C-7 min)	58,92 \pm 16,35 ^d	75,46 \pm 0,1 ^c	88,35 \pm 2,45 ^d	57,45 \pm 6,01 ^a
Kesitas	6,08 \pm 3,62 ^a	73,71 \pm 1,66 ^{ab}	76,75 \pm 2,70 ^a	70,37 \pm 1,58 ^d
Rex	8,23 \pm 2,49 ^a	73,73 \pm 1,57 ^{ab}	77,66 \pm 3,80 ^a	69,92 \pm 1,52 ^{cd}
Tostadas de arroz Riera	21,38 \pm 2,39 ^{bc}	77,26 \pm 1,06 ^d	90,99 \pm 2,65 ^e	64,38 \pm 5,83 ^{ab}
Bagley arroz	n/d	n/d	n/d	n/d
Bagley maíz	n/d	n/d	n/d	n/d

182 No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan el mismo superíndice en la misma columna.

183 N/D no data. Las muestras fueron elaboradas con A: Harina de trigo (HT), B: HT 50 %p/p+ Puré deshidratado de Mandioca (PDM) 50

184 %p/p, C:HT 25%p/p+PDM75%p/p, D: PDM.

185 Las muestras comerciales Bagley Arroz y Bagley Maíz no presentaron picos sonoros
 186 mayores al criterio de corte utilizado por lo que no se registraron picos. Esto coincide
 187 con la descripción sensorial realizada por el equipo de investigación que clasifico estas
 188 muestras como de textura más bien granulada y no crocante como las demás muestras,
 189 de forma similar las muestras kesitas y Rex con los menores valores de número de
 190 picos, tampoco fueron descritas como crocantes. Sin embargo, requeriría de un
 191 análisis sensorial formal para poder obtener conclusiones objetivas sobre este aspecto.

Lic. Cazzaniga Amanda

192 El número de picos no parece mantener una tendencia a aumentar o disminuir con el
193 contenido de PDM ya que la muestra A y la muestra C comparten grupo estadístico, sin
194 embargo, la muestra elaborada D muestra la mayor cantidad de picos sonoros, con
195 diferencia significativa con todas las muestras estudiadas. La muestra control y las
196 muestras B y C, mostraron valores estadísticamente similares a la muestra comercial
197 tostadas de arroz Riera en cuanto al número de picos sonoros. Las demás muestras
198 comerciales en las que pudieron evaluarse los registros sonoros presentaron menores
199 valores en el número de picos sonoros.

200 El número de picos estuvo correlacionado negativamente con la densidad aparente
201 (-0,650) y con la porosidad (0,719). La densidad aparente y la porosidad se encuentran
202 evidentemente relacionadas entre sí. Es la porosidad de la muestra la que aporta un
203 gran grado de heterogeneidad al material que, frente a la aplicación de estímulos
204 externos, como la fuerza descendente aplicada durante las pruebas, se perturba el
205 equilibrio provocando vibraciones en las partículas que, producto de la inercia y las
206 propiedades elásticas, se propagan por la interacción de estas (propagación de las
207 ondas). Esta perturbación del equilibrio mecánico conduce a la liberación de los
208 procesos de deformación locales provocando la disipación de la energía. La mayor parte
209 de esta energía emergente es convertida en el trabajo hecho por el estrés, calor, y una
210 porción relativamente pequeñas irradia en forma de ondas elásticas que se propagan a
211 través del material hasta llegar a la superficie exterior donde es percibida a través del
212 medio circundante como sonido [87].

213 También se halló una correlación positiva con la humedad (0,575) lo cual es probable
214 que esté relacionado con una tercera variable no representando una causalidad. El
215 número de picos estuvo correlacionado con ambos parámetros obtenidos mediante
216 punción, sin embargo, esta correlación fue más fuerte en el caso de la fracturabilidad,
217 donde el valor fue de 0,630, que la dureza donde el valor fue de 0,385. Esto
218 probablemente si represente una relación de causalidad ya que como se explicó
219 anteriormente una parte de la liberación de energía producida durante la fractura del
220 material se produce en forma de ondas sonoras por lo que a mayor cantidad de fracturas
221 mayor será el ruido producido y por lo tanto el número de picos registrados [150]. La
222 correlación no resulta mayor por lo expuesto anteriormente; una misma fractura puede
223 producir una cantidad variable de picos sonoros. La correlación entre estas variables es
224 de interés ya que ambas series de datos se obtuvieron en determinaciones diferentes.
225 La correlación entre el número de picos y el parámetro dureza obtenido mediante 3PB
226 fue de 0,500, mientras que no se halló correlación con el parámetro fracturabilidad
Lic. Cazzaniga Amanda

227 (p \geq 0,05), Esto cae en discrepancia con lo hallado por M, Saeleaw & Schleining [151]
228 quienes concluyeron en su trabajo con crackers con mezclas de almidón de mandioca,
229 arroz ceroso y harina de trigo, que las estructuras más duras generan un número de
230 eventos acústico menor como consecuencia de un menor número de picos de fuerza.

231 El valor promedio de la altura de los picos presentó menor variación entre las muestras
232 que la observada para el número de picos. El mayor valor promedio de altura obtenido
233 en este caso estuvo dado para las tostadas de arroz mientras que entre las muestras
234 elaboradas nuevamente fue para la muestra "D". Pero ninguna tendencia parece surgir
235 por la adición progresiva de PDM a la muestra y que nuevamente las muestras A y C
236 comparten grupo estadístico. Este parámetro permite visualizar de forma simple cuanto
237 sonido fue emitido por cada muestra dada, pero no permite un análisis detallado del
238 desarrollo del sonido a lo largo de toda la curva, por lo que resulta de interés observar
239 otros parámetros. Dentro de estos parámetros obtenidos mediante la evaluación de la
240 curva de sonido, podemos encontrar el valor de pico máximo y mínimo que nos permiten
241 tener una idea de la variabilidad sonora encontrada en cada una de las muestras. En
242 este estudio, los mayores valores de pico máximo (altura) también estuvieron dados
243 para la muestra tostada de arroz, seguido de la muestra elaborada "D", ambas sin harina
244 de trigo. Sin embargo, al igual que en los anteriores parámetros sonoros evaluados, no
245 parece existir una tendencia con el agregado de PDM a la muestra ya que las muestras
246 elaboradas A y C se muestran en un mismo grupo estadístico y la muestra B presenta
247 valores aún menores que estas dos, aunque mayores que los de las muestras
248 comerciales kesitas y Rex. La variabilidad entre muestras en cuanto al pico sonoro
249 mínimo registrado es mayor que la registrada para el pico sonoro máximo. El mayor
250 valor de pico mínimo estuvo dado para las muestras comerciales kesitas y Rex, mientras
251 que el menor valor fue para la muestra elaborada "D". Analizando la diferencia entre los
252 valores de altura mínimos y máximos de picos sonoros de cada muestra se puede
253 observar que la muestra comercial tostadas de arroz y la muestra elaborada "D"
254 presentan los mayores rangos sonoros emitidos, mientras que las muestras comerciales
255 kesitas y Rex los rangos menores.

256 En cuanto a las correlaciones entre estos parámetros de la curva de sonido se encontró
257 que para el valor de altura promedio de los picos hubo correlaciones con ambos
258 parámetros de punción, sin embargo, al contrario que con el número de picos sonoros,
259 la mayor correlación, aunque relativamente baja, estuvo dada con el parámetro dureza
260 siendo de 0,424 mientras que la fracturabilidad por punción manifestó una correlación
261 más baja del 0,234. No obstante, mayores correlaciones fueron halladas con los
Lic. Cazzaniga Amanda

262 parámetros dureza y fracturabilidad obtenidos con la prueba 3PB. Estas correlaciones
263 fueron de 0,646 y 0,644 respectivamente.

264 El parámetro de altura máxima promedio del pico sonoro estuvo correlacionado con la
265 dureza obtenida mediante la técnica 3PB con un índice de 0,729 y con la fracturabilidad
266 por 3PB en 0,599 y también con la dureza y la fracturabilidad obtenida por punción en
267 0,437 y 0,537 respectivamente. Los valores de altura mínimos tomados por los picos
268 estuvieron correlacionados negativamente con la porosidad (-0,517), la dureza y la
269 fracturabilidad mediante 3PB (-0,473 y -0,243 respectivamente) y la dureza y la
270 fracturabilidad mediante punción (-0,295 y -0,534) respectivamente.

271 La correlación entre los diferentes parámetros sonoros y los parámetros texturales
272 obtenidos mediante la técnica 3PB resultaba predecible ya que se obtuvieron en
273 simultáneo, sin embargo, la correlación, aunque más débiles, con los parámetros de
274 textura por punción refleja la robustez de los diferentes análisis a la hora de realizar
275 estudios comparativos.

DESARROLLO DE PRODUCTOS CRACKERS HORNEADOS A PARTIR DE PURÉ DESHIDRATADO DE MANDIOCA

CAPITULO 5

CONCLUSIONES

,

1 A lo largo del trabajo de investigación se logró desarrollar crackers con diferentes
2 proporciones de puré deshidratado de mandioca y harina de trigo como principales
3 ingredientes, complementados con agua, aceite de girasol, azúcar y sal. Para poder
4 completar los diferentes objetivos planteados se realizaron estudios sobre las diferentes
5 etapas de producción que permitieron una mayor comprensión de los cambios
6 fisicoquímicos sufridos al atravesar los procesos tecnológicos implicados y su efecto en
7 diferentes características vinculadas a lo sensorial a través de diversos ensayos
8 instrumentales.

9 Durante el análisis de las propiedades fisicoquímicas y funcionales de las materias
10 primas se observó que el PDM aumenta el tamaño medio de partícula y la capacidad de
11 retención de agua de las mezclas de Harina y PDM. Eso afecta las propiedades de
12 textura de las masas aumentando la dureza, gomosidad, elasticidad, resiliencia y
13 consistencia. Por ello se puede afirmar que las propiedades de textura de las masas son
14 consecuencia en gran parte de las propiedades funcionales y fisicoquímicas de la harina
15 de trigo, del PDM y de las mezclas de ambos.

16 Además, el mayor tamaño de partícula del PDM respecto a la harina de trigo redujo la
17 extensibilidad de las masas, probablemente debido a que las partículas pueden dificultar
18 la formación de la red de gluten, produciendo el debilitamiento de esta en masas con
19 sustitución parcial, lo que podría afectar negativamente a las masas fermentadas, pero
20 esto debe investigarse adecuadamente. A pesar de ello, la extensibilidad de PDM fue
21 significativamente mayor que otras masas sin gluten o masas con reemplazos parciales.

22 Por lo tanto, y en respuesta al segundo objetivo de investigación, el uso de PDM para
23 la producción de masas no fermentadas resulta posible, y sus características de textura
24 son adecuadas para los procesos industriales que se llevan a cabo actualmente por lo
25 que, respecto a este punto, sería posible la transferencia tecnológica al sector
26 productivo, aunque posiblemente se requiera de algunas adaptaciones en los procesos.

27 El estudio de las características de los productos finales e intermedios se abordó desde
28 diferentes perspectivas buscando comprender los procesos que se desarrollan a lo largo
29 de la producción y a su vez lograr una descripción detallada de los productos
30 terminados.

31 A lo largo del estudio de transferencia de masa durante el horneado, se halló que las
32 formulaciones investigadas sufren variaciones en el área durante el tratamiento térmico,
33 lo que podría generar errores en los cálculos de Energía de activación y Coeficiente de
34 Difusión (Deff). Las muestras con PDM desarrollan menor densidad final y por lo tanto
Lic. Cazzaniga Amanda

35 una mayor porosidad. Sin embargo, no se halló correlación entre la densidad real y el
36 Deff.

37 Las curvas de pérdida de humedad y de velocidad de pérdida de humedad mostraron
38 que, incluso con las altas temperaturas utilizadas durante el horneado de las diferentes
39 muestras, el proceso de difusión gobierna gran parte de la pérdida de humedad durante
40 el horneado. Los modelos de Page y de Chávez Méndez fueron los que mejor
41 describieron el proceso de pérdida de humedad para las muestras ensayadas. Los
42 parámetros de los modelos mostraron correlaciones débiles con algunas de las variables
43 estudiadas. A su vez, las variables temperatura y formulación no mantuvieron índices
44 de correlación o tendencia en la variación en la difusividad efectiva obtenida. Sin
45 embargo, se encontró una relación significativa con la velocidad de pérdida de humedad
46 promedio.

47 La energía de activación hallada para los snacks se encuentra dentro del rango en el
48 que generalmente se encuentran los alimentos, sin embargo, los valores hallados son
49 menores a los reportados por otros autores para raíces de yuca y alimentos elaborados
50 con harina de yuca, probablemente consecuencia de la degradación del almidón durante
51 el proceso productivo. Esta característica, explicaría que las muestras con PDM
52 obtengan valores de humedad y de color comparables a la muestra control al exponerlas
53 a un horneado menos prolongado. Esto podría ser una ventaja energética, sin embargo,
54 observando el proceso productivo del PDM, que requiere de importantes ingresos de
55 energía para la gelatinización y el secado, la relativa ventaja durante el horneado sería
56 despreciable o nula.

57 En cuanto a las características estructurales de las muestras se encontró que en general
58 las muestras con PDM poseen porcentajes de porosidad altos, similares y superiores al
59 control. La muestra sin harina de trigo logró expandirse durante el horneado y las
60 muestras con mezclas de harina y PDM lograron valores menores de acortamiento que
61 la muestra control. La tasa de propagación en las muestras con mezclas de harina y
62 PDM fue mayor a costa de no incrementar el espesor, mientras que la muestra sin harina
63 de trigo obtuvo también mayores valores de propagación que la muestra control, pero
64 menores que las otras debido a que también se incrementó el espesor de la muestra.

65 Durante el estudio del desarrollo del color de los productos, se observó que los procesos
66 de amasado y horneado lograron disminuir la diferencia de color que se halló entre las
67 muestras de harina de trigo y PDM. A las temperaturas de horneado 205, 220 y 235°C,
68 se obtuvieron las menores diferencias entre el color de las muestras elaboradas con

Lic. Cazzaniga Amanda

69 harina de trigo y las elaboradas con PDM. El índice de pardeamiento luego del horneado
70 no mantuvo la tendencia a aumentar con la proporción de PDM que mostró en harinas
71 y masas, reflejando también la disminución de la diferencia total de color. A su vez,
72 durante la cocción por horneado de snacks con PDM se observó un desarrollo acelerado
73 de la coloración y del proceso de vitrificación.

74 Para seleccionar los mejores perfiles se utilizaron los criterios de mayor porosidad,
75 menor humedad, y menor contracción durante el horneado y la mayor similitud posible
76 al índice de pardeamiento de la muestra control, por lo que se concluyó que la
77 combinación de temperatura-tiempo de horneado que mejor cumple con estos criterios
78 es 220 °C.

79 Por lo expuesto, se puede decir que la utilización de PDM para la producción de
80 alimentos horneados que mantengan una coloración similar a productos elaborados a
81 partir de harina de trigo es posible mediante la disminución del tiempo de horneado. A
82 su vez se observó que esta reducción del tiempo de horneado no afectaría de forma
83 negativa la humedad final del producto ya que se lograron valores de menos del 5%
84 (base seca).

85 Para estudiar la estabilidad que presentarían las muestras se procedió a realizar un
86 análisis de isotermas, donde se obtuvo que las muestras con PDM presentaron curvas
87 tipo III y esto podría deberse a la mayor presencia de azúcares por la degradación del
88 almidón durante el proceso de elaboración del PDM y de los snacks. Se observaron
89 además algunos entrecruzamientos entre las curvas de las muestras con PDM. Esto ya
90 ha sido observado previamente y atribuido a la mayor exposición de sitios activos o
91 grupos hidrofílicos, lo cual se relaciona también con la transición del estado vítreo al
92 gomoso. Sin embargo, para la muestra sin harina de trigo la disolución endotérmica de
93 azúcares parece una mejor explicación.

94 Todos los modelos evaluados para las curvas de isoterma obtenidas presentaron
95 buenos ajustes con R^2_{ajus} mayores a 0,8622. Los modelos con mejores parámetros
96 estadísticos fueron Peleg, Ferro Fontan y GAB. Sin embargo, Peleg y GAB presentan
97 algunas dificultades para ser utilizados en comparaciones y determinaciones
98 posteriores. Los parámetros de GAB y Ferro Fontan no presentaron tendencias
99 definidas con el contenido de PDM en la formulación o con la temperatura. Esto quiere
100 decir que los modelos pueden utilizarse con éxito para predecir valores de humedad de
101 equilibrio a diferentes humedades relativas, pero no pueden ser utilizados para realizar
102 comparaciones entre muestras.

Lic. Cazzaniga Amanda

103 Al analizar las propiedades texturales de los snacks elaborados, se pudo observar una
104 tendencia a aumentar el valor de dureza y fracturabilidad con el porcentaje de PDM en
105 los datos obtenidos mediante punción, sin embargo, esta tendencia no pudo observarse
106 en los datos obtenidos mediante la prueba 3PB. Este tipo de resultados abonan a la
107 idea de que aún se encuentra abierto el debate sobre la aplicación efectiva de esta
108 prueba y su interpretación. En general los resultados obtenidos en los parámetros
109 texturales para las muestras elaboradas con sustitución de harina de trigo por PDM
110 estuvieron dentro del rango hallado para las muestras comerciales.

111 Los valores de los parámetros sonoros parecen ser mayores para las muestras sin
112 harina de trigo experimentadas en este trabajo, mientras que las mezclas de harinas y
113 las muestras comerciales de harina de trigo sin combinación siempre presentaron
114 valores estadísticamente menores. Lo que sugiere que la sustitución parcial de harina
115 de trigo por PDM no mejoraría la emisión acústica del producto, pero tampoco produciría
116 un perjuicio en dicha propiedad. Esto puede estar relacionado con diferentes
117 características de las harinas como ser su capacidad de retención de agua, plasticidad,
118 punto de transición vítrea, etc. Para la muestra elaborada sin harina de trigo se observó
119 un mayor número de eventos de fuerza y de picos sonoros por lo que se concluye que
120 fue la muestra más crocante junto con la muestra comercial de tostadas de arroz. Esto
121 resulta favorable ya que la crocancia es una de las propiedades más valoradas por los
122 consumidores en este tipo de productos.

123 En suma, se logró estudiar las características fisicoquímicas, de transferencia de masa
124 y texturales de los productos intermedios y terminados, y su vinculación con los
125 procesos tecnológicos, desde diferentes perspectivas que permitieron adaptar los
126 procesos para lograr un mejor resultado y comprender las diferencias en los procesos
127 subyacentes producidas por la variación en las materias primas y sus características.
128 Por todo lo expuesto, es posible afirmar que la tecnología de producción de crackers a
129 partir de PDM con o sin harina de trigo es escalable y por tanto transferible, y que los
130 parámetros de calidad evaluados y la comparación con otros productos similares
131 presentes en el mercado indica que son productos aptos para competir en el mercado
132 de alimentos actual, pudiendo presentarse como un producto con identidad propia
133 debido a sus características particulares y contando además con la ventaja de poder ser
134 un alimento libre de aditivos, colorantes, conservantes, gluten (en el caso de la
135 formulación sin harina), etc. lo cual actualmente es un valor agregado para un sector
136 importante de los consumidores.

Recomendaciones para Trabajos Futuros

- Realizar el análisis sensorial de los productos obtenidos. Identificar alimentos y bebidas que representen una combinación apreciada por el consumidor
- Estudiar la aplicación de saborizantes y aromatizantes y su efecto en las características de los productos
- Evaluar la aplicación del puré deshidratado de mandioca en otros productos obtenidos mediante otros procesos de manufactura y cocción
- Evaluar las diferencias surgidas a partir de estas variaciones en el proceso de elaboración: diferentes métodos de amasado, métodos de hidratación de la masa, cocción con escalas de temperatura, etc.
- Identificar otros posibles ingredientes de origen local para mejorar el perfil nutricional del producto. Evaluar las variaciones que se producen a partir del agregado de estos ingredientes
- Establecer el máximo de reemplazo de harina de trigo por puré deshidratado de mandioca utilizable en productos con leudado
- Identificar posibles combinaciones de harinas y féculas sin gluten que incluyan puré deshidratado de mandioca para la elaboración de productos sin TACC
- Examinar la digestibilidad del almidón y el estado de retrogradación en el Puré deshidratado de mandioca y en diferentes productos elaborados a partir del mismo

Producciones científicas

Artículos en revistas:

- I. Cazzaniga, A., Hase, S., Brousse, M. M., & Linares, A. R. (2021). Properties of dehydrated cassava puree and wheat flour blends and its relationship with the texture of doughs, LWT, 136 (May 2020). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110310>

Revista: LWT - Food Science and Technology-

Url: <https://www.journals.elsevier.com/lwt>

Editorial: Elsevier B.V.

Objetivos y alcances: Es una revista internacional que publica artículos innovadores en los campos de la química alimentaria, bioquímica, microbiología, tecnología y nutrición. El trabajo descrito debe ser innovador en el enfoque o en los métodos utilizados. También debe especificarse la importancia de los resultados, ya sea para la comunidad científica o para la industria alimentaria. Las contribuciones escritas en inglés son bienvenidas en forma de artículos de revisión, reseñas breves, artículos de investigación y notas de investigación. Los artículos que incluyen ensayos con animales y cultivos celulares están fuera del alcance de la revista y no se considerarán para su publicación.

Área temática: Food science

ISSN: 0023-6438

Cuartil: Q1

Factor de impacto: 4,006 (2021)

- II. Cazzaniga, A., Brousse, M. M., & Linares, R. A. (2021). Variation of color with baking time in snacks made with pregelatinized cassava. J Food Sci2021;1-10. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15870>

Revista: IFT – Journal of Food Science

Url: <https://onlinelibrary.wiley.com/journal/17503841>

Editorial: Wiley

Objetivos y alcances: El Journal of Food Science publica artículos revisados por pares que cubren todos los aspectos de la ciencia de los alimentos, incluida la
Lic. Cazzaniga Amanda

Crackers a partir de puré deshidratado de mandioca

seguridad y la nutrición. Las revisiones deben tener entre 15 y 50 páginas escritas a máquina (incluidas tablas, figuras y referencias), deben proporcionar una cobertura en profundidad de un tema definido de manera estricta y deben incluir una evaluación cuidadosa (debilidades, fortalezas, explicación de las discrepancias en los resultados entre estudios similares) de todos los estudios pertinentes, de modo que se puedan presentar interpretaciones y conclusiones perspicaces. Los artículos de hipótesis son especialmente apropiados en áreas pioneras de investigación o áreas importantes que están afectadas por controversias científicas.

Área temática: Food science

ISSN: 1750-3841

Cuartil: Q1-Q2

Factor de impacto: 3,167

- III. Cazzaniga, A., Brousse, M. M., & Linares, R. A. (2021). Kinetics of moisture loss applied to the baking of snacks with pregelatinized cassava starch. *J. Food Sci.* 2022;1–12. <http://doi.org//10.1111/1750-3841.16188>
Revista: IFT – Journal of Food Science (idem anterior)
- IV. Cazzaniga, A., Brousse, M. M., & Linares, R. A. Evaluación de las isotermas de sorción en snacks con mandioca pregelatinizada.
- V. **Revista:** Revista de Ciencia y Tecnología (RECyT).

Url: <https://www.fceqyn.unam.edu.ar/recyt/index.php/recyt/index>

Editorial: FCEQyN-UNaM.

Objetivos y alcances: La Revista de Ciencia y Tecnología (RECyT) publica artículos originales que representan una contribución para el desarrollo científico-tecnológico. Incluye trabajos de investigación básica y aplicada y de desarrollo tecnológico, revisiones bibliográficas de alto impacto, notas técnicas y, eventualmente, estudios de casos que por su relevancia ameriten publicarse. Esta Revista es un servicio de la Secretaría de Investigación y Posgrado de la Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales de la Universidad Nacional de Misiones. La periodicidad de publicación es semestral (Junio - Diciembre). Las presentaciones que cumplan con los criterios de la revista se someterán a

Lic. Cazzaniga Amanda

Crackers a partir de puré deshidratado de mandioca

un proceso de revisión por pares. El servicio de envío y procesamiento de los artículos no tiene costo alguno, al igual que el acceso a los mismos una vez aceptados y publicados es totalmente libre y gratuito. Está prohibida su venta a terceros como también la reproducción total o parcial con fines comerciales. Los trabajos presentados han sido aceptados para su publicación por el Consejo de Dirección y el Consejo de Edición.

Área temática: Biología - Genética - Bioquímica - Farmacia - Ingeniería - Tecnología - Informática - Educación Científica y Tecnológica.

ISSN 1851-7587 (En línea) ISSN 0329-8922 (Impresa)

Open Access

Crackers a partir de puré deshidratado de mandioca

Presentaciones a congresos y jornadas

Congresos internacionales

Cazzaniga, A., Brousse, M. M., & Linares, R. A. Cambios en las propiedades fisicoquímicas de snacks horneados con la incorporación de puré deshidratado de mandioca. Actas Congreso Argentino y Latinoamericano de Ingeniería 2021: CADI CLADI CAEDI 2021. ISBN 978-987-88-1872-6

Cazzaniga, A., Brousse, M. M., & Linares, R. A. Cambios en las propiedades fisicoquímicas de snacks horneados con la incorporación de puré deshidratado de mandioca. Actas Congreso Argentino y Latinoamericano de Ingeniería 2021: CADI CLADI CAEDI 2021. ISBN 978-987-88-1872-6

Congresos y Jornadas Nacionales:

Cazzaniga, A., Brousse, M. M., & Linares, R. A. Variación del color con el tiempo de horneado en snacks elaborados con mandioca pregelatinizada. Encuentro Intersectorial sobre Innovación y Calidad en la Alimentación (EIICA) 2021.

Cazzaniga, A., Brousse, M. M., & Linares, R. A. Estudio de la cinética de pérdida de humedad aplicada al horneado de snacks de mandioca. Encuentro Intersectorial sobre Innovación y Calidad en la Alimentación (EIICA) 2021.

Cazzaniga, A.; Hase, S.; Brousse M. M.; Linares R. A. Caracterización fisicoquímica y funcional de puré deshidratado de mandioca (*Manihot Esculenta*). 2019. Congreso de Tecnología de Alimentos -CyTAL®-ALACCTA. Libro de trabajos completos CyTAL®-ALACCTA 2019, parte I. ISBN 978-987-47615-0-7

Cazzaniga, A., Kachuk, L., Hase, S., Brousse, M. M., Linares, A. R. Propiedades texturales y auditivas de snack a partir de puré deshidratado de Mandioca. 2017. Cytal, Resumen y Póster N° 8,33 tema: Nuevos Alimentos, Aditivos e Ingredientes.

Monaca, A. B.; Cazzaniga, A.; Kachuk, K. B.; Luquez, K. I.; Brousse, M. M. Efecto del índice de retención de agua alcalina de la harina de trigo y del puré deshidratado de mandioca en la dureza de masas para pasta. 2018. Libro de resúmenes: jornadas científico-tecnológicas. UNaM. ISBN 978-950-579-495-9

Lic. Cazzaniga Amanda

Crackers a partir de puré deshidratado de mandioca

Proyecto de investigación dentro del cual se desarrolló la tesis:

DESARROLLO DE TECNOLOGIA PARA LA PRODUCCION DE GALLETITAS
CRACKERS A PARTIR DE MANDIOCA (No Incentivado) código 16Q570

Beca con la que se financió la tesis:

La Lic. Amanda Cazzaniga fue beneficiada con una Beca interna doctoral CONICET adquirida por concurso nacional según resolución D N° 4869/15

Lic. Cazzaniga Amanda

BIBLIOGRAFÍA

- [1] F. Fretes & C. Mendoza, *Yuca una opción industrial* (2010).
- [2] OCDE/FAO, *OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2020-2029* (2020).
- [3] G. A. LLanes, Área de consolidación Gestión de la Producción de Agroalimentos, UNC- Facultad de Ciencias Agropecuarias, 2019.
- [4] J. Aristizábal & T. Sánchez, Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. *Fao*, **163** (2007) 134. <https://doi.org/9253056770-9789253056774>.
- [5] De Bernardi Luis A.-Secretaria de Agricultura Ganaderia y Pesca, Productos Panificados Dulces. *Alimentos Argentinos*, **51** (2011) 50–52.
- [6] Formaron el equipo del clúster de la mandioca. *El territorio*, (2013).
- [7] Se realizó seminario para darle valor agregado a la mandioca. *el territorio*, (2015).
- [8] Clúster de la Mandioca probó inédita cosechadora. *el territorio*, (2017).
- [9] Fabrican una ralladora de mandioca para los colonos. *el territorio*, (2018).
- [10] Capacitaron a cooperativas mandioqueras de Misiones. *el territorio*, (2019).
- [11] L. Vergara Maria, N. Cruz, A. Monaca, K. Kachuk, & B. M. M, PASTAS ELABORADAS A PARTIR DE PURÉ DE MANDIOCA DESHIDRATADO. XVI Congreso Cytal - Congreso Argentino de Ciencia y Tecnología de Alimentos, (2017).
- [12] M. M. Brousse, A. B. Nieto, A. R. Linares, & M. L. Vergara, Water adsorption kinetics in dehydrated mashed cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Revista venezolana de ciencia y tecnología de alimentos.*, **3** (2012) 0.80-096.
- [13] M. Saeleaw & G. Schleining, Effect of blending cassava starch, rice, waxy rice and wheat flour on physico-chemical properties of flour mixtures and mechanical and sound emission properties of cassava crackers. *Journal of Food Engineering*, **100** (2010) 12–24. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.03.020>.
- [14] S. Lertworasirikul, Drying kinetics of semi-finished cassava crackers: A comparative study. *LWT - Food Science and Technology*, **41** (2008) 1360–1371. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.09.009>.
- [15] A. B. Ahza, T. I. Fidiana, & S. Suryatman, Physical, Sensorial and Chemical

- Characteristics of Simulated Chips of Cassava (*Manihot Esculenta* Crantz): Rice (*Oryza Sativa* L.) Mix. *Procedia Food Science*, **3** (2015) 82–95. <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2015.01.008>.
- [16] D. Manley, *Matzos and water biscuits*, Fourth Edi (Woodhead Publishing Limited, 2011). <https://doi.org/10.1533/9780857093646.3.303>.
- [17] Ley N° 18284. Código Alimentario Argentino. (n.d.). <https://www.argentina.gob.ar/anmat/codigoalimentario>.
- [18] D. Manley, *Savoury or snack crackers*, Fourth Edi (Woodhead Publishing Limited, 2011). <https://doi.org/10.1533/9780857093646.3.298>.
- [19] H. Ceballos, La yuca en Colombia y el mundo: Nuevas perspectivas para un cultivo milenario. *La yuca en el Terc. Milen. Sist. Mod. Prod. Proces. Util. y Comer.* (Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT); Consorcio Latinoamericano para la Investigación y el Desarrollo de la Yuca; Proyecto IP-3 de Mejoramiento de Yuca, 2002), pp. 1–13.
- [20] M. M. Brousse, DESARROLLO DE PURÉ DE MANDIOCA DESHIDRATADO. ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS, FÍSICOQUÍMICAS Y FUNCIONALES Y SU RELACION CON LOS PARAMETROS DEL PROCESO, Universidad de Buenos Aires, 2015.
- [21] J. G. Salcedo Mendoza, J. A. Figueroa Flórez, & E. J. Hernández Ramos, *Agroindustria de productos amiláceos II: Métodos y técnicas de caracterización* (Universidad de Sucre, Colombia, 2017).
- [22] J. Aristizábal & F. Calle, *PROYECTO MEJORA DE LAS ECONOMÍAS REGIONALES Y DESARROLLO LOCAL CUADERNO TECNOLÓGICO N° 22*, UE-INTI (Buenos Aires, 2015).
- [23] J. A. Jara Ponce, Caracterización de las Propiedades Físicoquímicas y Térmicas de Almidón de Yuca (*Manihot esculenta*), UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL, 2017.
- [24] G. N. Barrera, Efecto Del Almidón Dañado Sobre Las Propiedades De Las Masas Panarias Y La Calidad De Los Panificados, Universidad Nacional Córdoba, 2014.
- [25] O. Martinez, B. Lapo Calderón, J. Pérez Rodriguez, C. Zambrano Cabrera, & F.

- Maza Valle, Mecanismo de gelatinización del almidón nativo de banano exportable del Ecuador. *Revista Colombiana de Química*, **44** (2015) 16–21.
- [26] J. W. Donovan, Phase transitions of the starch–water system. *Biopolymers*, **18** (1979) 263–275. <https://doi.org/10.1002/bip.1979.360180204>.
- [27] M. Tako, Y. Tamaki, T. Teruya, & Y. Takeda, The Principles of Starch Gelatinization and Retrogradation. *Food and Nutrition Sciences*, **05** (2014) 280–291. <https://doi.org/10.4236/fns.2014.53035>.
- [28] A. R. Bird, I. L. Brown, & D. L. Topping, Starches, resistant starches, the gut microflora and human health. *Current issues in intestinal microbiology*, **1** (2000) 25–37.
- [29] R. F. Tester & S. J. . Debon, Annealing of starch — a review. *International Journal of Biological Macromolecules*, **27** (2000) 1–12. [https://doi.org/10.1016/S0141-8130\(99\)00121-X](https://doi.org/10.1016/S0141-8130(99)00121-X).
- [30] P. Ormando, L. Mir, F. Di Pane, & E. Molfese, Aspectos funcionales y nutricionales de harinas comerciales orgánicas de trigos ancestrales (. *Revista del Foro de la Alimentación, la Nutrición y la Salud (RFANUS) ISSN 2683-9520*, **2** (2020) 41–60.
- [31] Z. N. Juárez, M. E. Bárcenas-Pozos, & L. R. Hernández, El grano de trigo : características generales y algunas problemáticas y soluciones a su almacenamiento. *Temas Selectos de Ingenieria de Alimentos*, **8** (2014) 79–92.
- [32] T. Montoya & V. Vásquez-Villalobos, *Agroindustrial Science*. *Agroindustrial Science*, **6** (2016) 221–230.
- [33] S. Mert, S. Sahin, & G. Sumnu, Development of gluten-free wafer sheet formulations. *LWT - Food Science and Technology*, **63** (2015) 1121–1127. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.04.035>.
- [34] A. Devi & B. S. Khatkar, Effects of fatty acids composition and microstructure properties of fats and oils on textural properties of dough and cookie quality. *Journal of Food Science and Technology*, **55** (2018) 321–330. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2942-8>.
- [35] W. P. Edwards, *The Science of Bakery Products* (2007). <https://doi.org/10.1039/9781847557797>.

- [36] S. Cauvain & L. Young, *Bakery Food Manufacture and Quality Water Control and Effects* (First published: Blackwell Science Ltd, 2000).
- [37] P. Fellow, *Food Processing Technology. Principles and Practice*, Second edi (Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2000). <https://doi.org/10.1002/9781118846315>.
- [38] D. E. Banks, P. Bechtel, O. Burtea, C. Cretors, T. Dunn, M. H. Gomez, W. A. Gould, E. T. Groff, D. E. Hanify, V. Hix, D. P. Huang, G. HUber, D. Jacoby, C. King, C. Kuhr, T.-C. Lin, S. Lu, E. W. Lusas, J. A. McCarthy, C. M. McDonough, S. P. Mehta, S. R. Mudambi, S. Nagao, M. V. Rajagopal, Ll. W. Rooney, J. Seighman, S. O. Serna-Saldivar, R. E. L. Suhendro, R. Sunderland, & R. Waniska, *Snack Foods Processing*. In E.W. Lusas, & L.W. Rooney, eds., CRC Press, (Boca Raton, Florida, 2001).
- [39] N. Therdthai, Y. H. Hui, M. A. Pagani, A. Marti, G. Bottega, & al et, *Bakery Products Science and Technology Bakery Products Science*, second (India: wiley Blackwell, 2014).
- [40] K. J. Chiluíza, F. P. Piguave, & M. Yapur, "Análisis, Diseño y Construcción de un colorímetro básico, para ser utilizado en un laboratorio clínico, utilizando microcontroladores.", ESPOL- Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación, 2011.
- [41] I. Markovic, J. Ilic, D. Markovic, V. Simonovic, & N. Kosanic, Color Measurement of Food Products using CIE L * a * b * and RGB Color Space. *Journal of Hygienic Engineering and Design*, **4** (2013) 50–53.
- [42] E. Chorro Calderon, *Procesado cortical y uniformidad del espacio de color: hacia una métrica euclídea para las diferencias de color*, Universidad de Alicante, 2011.
- [43] S. Rajchasom, *Characterising the kinetics of high temperature browning in foods*. (2014).
- [44] A. R. Robertson, The CIE 1976 Color-Difference Formulae. *Color Research & Application*, **2** (1977) 7–11. <https://doi.org/10.1002/j.1520-6378.1977.tb00104.x>.
- [45] F. A. Rocha Parra, *Desarrollo de panificados libres de gluten adicionados con fibra: aplicación de un subproducto de la industria de jugo de manzana*, Universidad Nacional de La Plata - Facultad de Ciencias Exactas, 2016.

- [46] Z. Jiang, L. Liu, W. Yang, L. Ding, M. Awais, L. Wang, & S. Zhou, Improving the physicochemical properties of whole wheat model dough by modifying the water-unextractable solids. *Food Chemistry*, **259** (2018) 18–24. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.03.093>.
- [47] M. U. H. Joardder, A. Karim, C. Kumar, & R. J. Brown, Effect of Porosity on Drying Kinetics and Food Properties. (2016) 47–64. https://doi.org/10.1007/978-3-319-23045-0_5.
- [48] K. Cronin & C. Preis, Statistical analysis of biscuit physical properties as affected by baking. *Journal of Food Engineering*, **46** (2000) 217–225. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00053-4](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00053-4).
- [49] C. Tortoe, P. T. Akonor, & E. S. Buckman, Potential uses of sweet potato-wheat composite flour in the pastry industry based on proximate composition, physicochemical, functional, and sensory properties of four pastry products. *Journal of Food Processing and Preservation*, **41** (2017) 1–9. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13206>.
- [50] N. Argel, N. Ranalli, & A. N. Califano, Caracterización física y funcional de harinas vegetales. XVI congreso Cytal- Congreso Argentino de Ciencia y Tecnología de alimentos- AATA, **1** (2017) 2584.
- [51] Y. Mao & R. A. Flores, Mechanical Starch Damage Effects on Wheat Flour Tortilla Texture Mechanical Starch Damage Effects on Wheat Flour Tortilla Texture. *Cereal Chemistry*, (2001). <https://doi.org/10.1094/CCHEM.2001.78.3.286>.
- [52] A. A. N. Aziah & C. A. Komathi, Physicochemical and functional properties of peeled and unpeeled pumpkin flour. *Journal of Food Science*, **74** (2009) 328–333. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01298.x>.
- [53] C. Álvarez Restrepo, Formulación de una materia prima con competencia tecnológica para ser aplicada en el diseño de alimentos libres de gluten mejorados nutricionalmente, Universidad de Antioquia, Facultad de química farmacéutica, 2014.
- [54] E. Salcedo Mendoza, J.; Figueroa Flórez, J.; Hernández Ramos, *Agroindustria de productos amiláceos II: Métodos y técnicas de caracterización*. (Sincelejo, Colombia: Universidad de Sucre, 2017).
- [55] M. E. Steffolani, G. T. Perez, & E. Leon, Relationship Between Variety *Lic. Cazzaniga Amanda*

- Classification and Breadmaking Quality in Argentine Wheats 'Maria. International Journal OfAgncdturd Research, **2** (2007) 33–42.
- [56] M. Moiraghi, P. D. Ribotta, A. Aguirre, G. T. Pérez, & A. E. León, Análisis de la aptitud de trigos pan para la elaboración de galletitas y bizcochuelos. Agriscientia, **22** (2005) 47–54.
- [57] M. Castaño, P. D. Ribotta, & H. A. Paccapelo, ANÁLISIS DEL PERFIL FÍSICOQUÍMICO DE LAS HARINAS DE TRITICALES (x Triticosecale Wittmack) Y SU RELACIÓN CON LA ELABORACIÓN DE GALLETITAS DE CALIDAD PHYSICOCHEMICAL PROFILE ANALYSIS OF TRITICALE (x Triticosecale Wittmack). Sns, **9** (2015) 1–14. <https://doi.org/2314-2901>.
- [58] E. R. Inca Vasquez, Evaluación de las propiedades tecnofuncionales y sensoriales de puré deshidratado de papanativa (*Solanum tuberosum*) fortificado con quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y oca (*Oxalis tuberosa* Mol.). (2015).
- [59] N. Techeira, L. Sívoli, B. Perdomo, A. Ramírez, & F. Sosa, Caracterización físicoquímica , funcional y nutricional de harinas crudas obtenidas a partir de diferentes variedades de yuca (*Manihot esculenta* crantz), batata (*Ipomoea batatas* lam) y ñame (*Dioscorea alata*), cultivadas en Venezuela. Interciencia, **39** (2014) 191–197.
- [60] D. G. Gladys, M. Rose-monde, B. E. Micaël, & N. L. Sebastien, Physicochemical characterization of starches from seven improved cassava varieties : Potentiality of industrial utilization . (2014) 6002–6011.
- [61] S. H. Osorio & J. A. Galvis, Influencia de la variedad de yuca y nivel de sustitución de harinas compuestas sobre el comportamiento reológico en panificación. Ingenieria e Investigacion, **29** (2009) 39–46.
- [62] S. Chevallier, G. Della Valle, P. Colonna, B. Broyart, & G. Trystram, Structural and chemical modifications of short dough during baking. Journal of Cereal Science, **35** (2002) 1–10. <https://doi.org/10.1006/jcrs.2001.0388>.
- [63] E. Montes, R. amiro. Torres, R. icardo. Andrade, O. Pérez, J. Marimon, & I. Meza, Modelado de las isoterms de desorción de ñame (*Dioscorea rotundata*). Dyna 157, **157** (2009) 145–152.
- [64] J. Salcedo, K. Contreras, A. García, & A. Fernández, Modelo de la cinetica de secado del afrecho de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Revista Mexicana de Lic. Cazzaniga Amanda

- Ingeniería Química, **15** (2016) 883–891.
- [65] A. S. (editor) Mujumdar, *Handbook of Industrial Drying*, Third Edit (Boca Raton: Taylor & Francis, 2006). <https://doi.org/https://doi.org/10.1201/9781420017618>.
- [66] R. G. M. Van Der Sman & J. Broeze, Structuring of indirectly expanded snacks based on potato ingredients: A review. *Journal of Food Engineering*, **114** (2013) 413–425. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.09.001>.
- [67] A. E. Benavides Bastidas, EFECTO DEL CLORURO DE CALCIO Y EL PROCESO DE SECADO SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS DE LAS HOJUELAS OSMODESHIDRATADAS DE MELOCOTÓN *Prunus pérsica.*, Universidad Técnica del Norte, 2017.
- [68] N. . Zogzas, Z. B. Maroulis, & Marinos-Kouris, Moisture diffusivity data compilation in foodstuff. *Drying Technology*, (1996) 37–41. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/07373939608917205>.
- [69] S. V. García, L. A. Brumovsky, R. M. Fretes, & M. E. Schmalko, Influence of drying temperature on the physical and microbiological parameters and the quality of dried green onion. *Drying Technology*, **28** (2010) 1435–1444. <https://doi.org/10.1080/07373937.2010.482685>.
- [70] S. Heidenreich, D. Jaros, H. Rohm, & A. Ziems, Relationship between water activity and crispness of extruded rice crisps. *Journal of Texture Studies*, **35** (2004) 621–633. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.2004.35513.x>.
- [71] A. Ayala-Aponte, Adsorption isotherms and isosteric heat estimation in cassava flour. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, **9** (2011) 88–96. https://doi.org/http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612011000100011&lng=en&tlng=es.
- [72] A. H. Al-Muhtaseb, W. A. M. McMinn, & T. R. A. Magee, Moisture sorption isotherm characteristics of food products: A review. *Trans IChemE*, **80** (2002) 118–128. <https://doi.org/10.1205/09603080252938753>.
- [73] E. J. Quirijns, A. J. B. Van Boxtel, W. K. P. Van Loon, & G. Van Straten, Sorption isotherms, GAB parameters and isosteric heat of sorption. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **85** (2005) 1805–1814. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2140>.
- [74] G. Peng, X. Chen, W. Wu, & X. Jiang, Modeling of water sorption isotherm for

- corn starch. *Journal of Food Engineering*, **80** (2007) 562–567. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.04.063>.
- [75] A. S. Szczesniak, Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference*, **13** (2002) 215–225. [https://doi.org/10.1016/S0950-3293\(01\)00039-8](https://doi.org/10.1016/S0950-3293(01)00039-8).
- [76] J. I. Hleap & V. A. Velasco, *Análisis de las propiedades de textura durante el almacenamiento de salchichas elaboradas a partir de Tilapia Roja*. (2010).
- [77] P. Mazumder, B. S. Roopa, & S. Bhattacharya, Textural attributes of a model snack food at different moisture contents. *Journal of Food Engineering*, **79** (2007) 511–516. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.02.011>.
- [78] G. Roudaut, C. Dacremont, B. Vallès Pàmies, B. Colas, & M. Le Meste, Crispness: A critical review on sensory and material science approaches. *Trends in Food Science and Technology*, **13** (2002) 217–227. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(02\)00139-5](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(02)00139-5).
- [79] F. Ronda, S. Pérez-Quirce, & M. Villanueva, Rheological Properties of Gluten-Free Bread Doughs: Relationship With Bread Quality. *Adv. Food Rheol. Its Appl.* (Elsevier Ltd, 2017), pp. 297–334. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100431-9.00012-7>.
- [80] A. Torbica, M. Hadnadev, & T. Dapčević, Rheological, textural and sensory properties of gluten-free bread formulations based on rice and buckwheat flour. *Food Hydrocolloids*, **24** (2010) 626–632. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.03.004>.
- [81] M. Saeleaw & G. Schleining, Effect of frying parameters on crispiness and sound emission of cassava crackers. *Journal of Food Engineering*, **103** (2011) 229–236. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.10.010>.
- [82] G. Calabuig García, *Texturometría Instrumental : Puesta a punto y aplicación a la Tecnología de Alimentos*, Universidad de Oviedo, 2012.
- [83] M. S. Velazque, H. J. Martínez, V. N. Giudici, & A. D. Malleret, ANÁLISIS DE TEXTURA EN FORMULACIONES DESARROLLADAS DE BIZCOCHUELOS LIBRES DE GLUTEN ENRIQUECIDOS CON CHÍA MOLIDA. XXI congreso latinoamericano y del caribe de ciencia y tecnología de alimentos, **1** (2019) 40–48.

- [84] E. Castro Montero & R. A. de Hombre Morgado, *Parámetros mecánicos y textura de los alimentos* (Universidad de Chile, 2007).
- [85] A. L. Woody, *Probing and Three-Point Bend Methods Compared to Sensory Scales as Measurements for Cookie Texture*, University of Tennessee, 2003.
- [86] Y. Tsukakoshi, S. Naito, & N. Ishida, Fracture intermittency during a puncture test of cereal snacks and its relation to porous structure. *Food Research International*, **41** (2008) 909–917. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.11.010>.
- [87] L. del P. Canta Briceño, *Relación entre el tiempo de almacenamiento y el valor de los picos sonoros en tostadas producidas por la empresa panificadora Liliana S.R.L.*, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, 2014.
- [88] M. Carvalho, *Brata de, Textura de snacks crujientes culinarios*, Universidad de extremadura, 2012.
- [89] M. E. Rendón-Macías, M. Á. Villasís-Keever, & M. G. Miranda-Novales, Estadística descriptiva. *Revista Alergia México*, **63** (2016) 397. <https://doi.org/10.29262/ram.v63i4.230>.
- [90] P. Cervantes-Hernández, Media, varianza y desviación estándar. *Ciencia y Mar*, **34** (2008) 29–31.
- [91] E. R. Vásquez & A. Caballero Núñez, Inconsistency of the coefficient of variation for expressing the variability of an experiment in a model of analysis of variance. **32** (2011) 42–45.
- [92] Statpoint Technologies, *STATGRAPHICS® Centurion XVII Manual de Usuario* (Estados Unidos de América, 2014).
- [93] K. Altamirano, K. Adden, L. D. Mora, J. Briones, J. Cabraca, & K. Rodríguez, Evaluación de la tensión elástica de papel elaborado a partir de desechos de raquis de palma africana y bagazo de caña. *Revista de Ingeniería*, **28** (2018) 29–40.
- [94] P. Flores, J. Ocaña, & T. Sánchez, Verificación De Supuestos En Las Pruebas De Comparación De Medias. Una Revisión. *Ciencia Digital*, **2** (2018) 5–22. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v2i4.1..187>.
- [95] A. M. Lara Porras, Y. Román Montoya, F. Pérez Bueno, & P. Parra Ortega, *Guía Interactiva de Autoaprendizaje de SPSS*. Ediciones proyecto sur, (2009).

- <http://www.ugr.es/~bioestad/guiaspss/index.html>.
- [96] S. Lee & D. K. Lee, What is the proper way to apply the multiple comparison test? *Korean Journal of Anesthesiology*, **71** (2018) 353–360. <https://doi.org/10.4097/kja.d.18.00242>.
- [97] H. Lalinde, J. Diego, E. Castro, E. Johel, C. Rangel, T. Sierra, C. Andrés, A. Torrado, M. Karina, C. Sierra, S. Milena, J. Diego, H. Lalinde, & F. E. Castro, Sobre el uso adecuado del coeficiente de correlación de Pearson: definición, propiedades y suposiciones. *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica*, **37** (2018) 587–595.
- [98] S. L. Hase, A. Linares, L. Kachuk, O. Pérez Navarro, & J. E. Miño Valdés, Variación de agua y aceite en snacks de mandioca durante la fritura. *+Ingenio*, **2** (2021) 59–71. <https://doi.org/10.36995/j.masingenio.2021.02.02.005>.
- [99] J. E. Dench, N. Rivas R., & J. C. Caygill, Selected functional properties of sesame (*Sesamum indicum* L.) flour and two protein isolates. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **32** (1981) 557–564. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740320606>.
- [100] A. Koukouch, A. Idlimam, M. Asbik, B. Sarh, B. Izrar, S. Bostyn, A. Bah, O. Ansari, O. Zegaoui, & A. Amine, Experimental determination of the effective moisture diffusivity and activation energy during convective solar drying of olive pomace waste. *Renewable Energy*, **101** (2017) 565–574. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.09.006>.
- [101] M. M. Brousse, R. A. Linares, M. L. Vergara, & A. B. Nieto, Isotermas de sorción de puré deshidratado a partir de diferentes variedades de raíz Adsorption isotherm of dehydrated mashed cassava from different varieties. *RECyT*, **28** (2017) 28–36.
- [102] M. Hernández-Medina, J. G. Torruco-Uco, L. Chel-Guerrero, & D. Betancur-Ancona, Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, **284** (2008) 718–726.
- [103] A. Alvis, C. A. Vélez, H. S. Villada, & M. Rada-Mendoza, Análisis Físico-Químico y Morfológico de Almidones de Ñame, Yuca y Papa y Determinación de la Viscosidad de las Pastas. *Información tecnológica*, **19** (2008) 19–28. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642008000100004>.

- [104] G. Doue, R. Megnanou, E. M. Bedikou, & S. L. Niamke, Physicochemical characterization of starches from seven improved cassava varieties : Potentiality of industrial utilization . *Journal of Applied Biosciences*, (2014) 6002–6011.
- [105] J. Aristizábal & T. Sánchez, Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. (2007) 153.
- [106] P. Vargas Aguilar & D. Hernández Villalobos, Harinas y almidones de yuca, ñame, camote y ñampí: propiedades funcionales y posibles aplicaciones en la industria alimentaria. *Revista Tecnología en Marcha*, **26** (2013) 37. <https://doi.org/10.18845/tm.v26i1.1120>.
- [107] R. Moreira, F. Chenlo, M. D. Torres, & D. M. Prieto, Influence of the particle size on the rheological behaviour of chestnut flour doughs. *Journal of Food Engineering*, **100** (2010) 270–277. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2010.04.009>.
- [108] K. Y. Amador-Rodríguez, L. E. Pérez-Cabrera, F. Guevara-Lara, N. A. Chávez-Vela, F. A. Posadas-Del Río, H. Silos-Espino, & F. Martínez-Bustos, Physicochemical, thermal, and rheological properties of nixtamalized blue-corn flours and masas added with huitlacoche (*Ustilago maydis*) paste. *Food Chemistry*, **278** (2019) 601–608. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2018.11.008>.
- [109] L. Shi, W. Li, J. Sun, Y. Qiu, X. Wei, G. Luan, Y. Hu, & E. Tatsumi, Grinding of maize: The effects of fine grinding on compositional, functional and physicochemical properties of maize flour. *Journal of Cereal Science*, **68** (2016) 25–30. <https://doi.org/10.1016/J.JCS.2015.11.004>.
- [110] Q. Li, S. Liu, M. Obadi, Y. Jiang, F. Zhao, S. Jiang, & B. Xu, The impact of starch degradation induced by pre-gelatinization treatment on the quality of noodles. *Food Chemistry*, **302** (2020) 125267. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125267>.
- [111] N. Singh, J. Singh, L. Kaur, N. S. Sodhi, & B. S. Gill, Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chemistry*, **81** (2003) 219–231. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00416-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00416-8).
- [112] M. Brousse, R. Linares, & A. Nieto, Efecto de la temperatura de secado y concentración del inhibidor de pardeamiento en purés de mandioca

- deshidratados. *Revista de Ciencia y Tecnología*, (2019) 1–10.
- [113] M. Duncan, *Baking and cooling of biscuits*. Woodhead Publishing Limited, (1998) 80.
- [114] L. C. Haynes & J. P. Locke, Microwave Permittivities Of Cracker Dough, Starch and Gluten. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, **30** (1995) 124–131. <https://doi.org/10.1080/08327823.1995.11688267>.
- [115] E. Rodríguez-Sandoval, A. Fernández-quintero, A. Sandoval-Aldana, & G. Cuvelier, Effect of Processing Conditions on the. *Food research*, **25** (2008) 713–722.
- [116] M. M. Martínez, Á. Díaz, & M. Gómez, Effect of different microstructural features of soluble and insoluble fibres on gluten-free dough rheology and bread-making. **142** (2014) 49–56. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.06.020>.
- [117] D. Manley, *Manual 2: Biscuit Doughs* (England, 1998).
- [118] L. Laguna Cruañes, *Reformulacion de galletas de masa corta: cambios en reología, textura y propiedades sensoriales* (Tesis doctoral). (2013) 325.
- [119] S. Soto-Jover, M. Boluda-Aguilar, & A. López-Gómez, Innovative technology for industrial manufacturing of gluten- free pasta sheets. In U. Francisco Artés-Hernández, Marcos Egea Gutiérrez-Cortines, Juan Antonio Fernández-Hernández, Alain Baille, Javier Calatrava. Programa de doctorado en Técnicas Avanzadas en Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario. TAIDA,ed., *Proc. 4th Work. AGRI-FOOD Res.* (Cartagena, Murcia, Spain: CRAI Biblioteca, 2015), pp. 27–30.
- [120] A. Ktenioudaki, N. O’Shea, & E. Gallagher, Rheological properties of wheat dough supplemented with functional by-products of food processing: Brewer’s spent grain and apple pomace. *Journal of Food Engineering*, **116** (2013) 362–368. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.12.005>.
- [121] C. G. Arp, M. J. Correa, Á. Zuleta, & C. Ferrero, Techno-functional properties of wheat flour-resistant starch mixtures applied to breadmaking. *International Journal of Food Science and Technology*, **52** (2017) 550–558. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13311>.
- [122] M. Eduardo, U. Svanberg, J. Oliveira, & L. Ahrné, Effect of cassava flour
- Lic. Cazzaniga Amanda*

- characteristics on properties of cassava-wheat-maize composite bread types. *International Journal of Food Science*, **2013** (2013). <https://doi.org/10.1155/2013/305407>.
- [123] G. Leray, B. Oliete, S. Mezaize, S. Chevallier, & M. De Lamballerie, Effects of freezing and frozen storage conditions on the rheological properties of different formulations of non-yeasted wheat and gluten-free bread dough. *Journal of Food Engineering*, **100** (2010) 70–76. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.03.029>.
- [124] A. Nawaz, Z. Xiong, Q. Li, H. Xiong, J. Liu, L. Chen, P. Wang, N. Walayat, S. Irshad, & J. M. Regenstein, Effect of wheat flour replacement with potato powder on dough rheology, physiochemical and microstructural properties of instant noodles. *Journal of Food Processing and Preservation*, **43** (2019) 1–9. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13995>.
- [125] L. S. Sciarini, P. D. Ribotta, A. E. León, & G. T. Pérez, Effect of hydrocolloids on gluten-free batter properties and bread quality. *International Journal of Food Science and Technology*, **45** (2010) 2306–2312. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02407.x>.
- [126] C. E. Panduro Castañeda, Efecto de la sustitución de harina de trigo por harina de quinua (*chenopodium QUINOA*) sobre el contenido de proteína, color, firmeza y aceptabilidad general de nuggets de pollo, Universidad privada Antenor Orrego, 2015.
- [127] L. Virginia Madrigal-Ambriz, J. Verónica Hernández-Madrigal, M. Elena Carranco-Jáuregui, M. de la Concepción Calvo-Carrillo, & R. de Guadalupe Casas-Rosado, *Caracterización física y nutricional de harina del tubérculo de “Malanga” (Colocasia esculenta L. Schott) de Actopan, Veracruz, México* (2018).
- [128] S. Dussán-Sarria, D. L. Hurtado-Hurtado, & J. H. Camacho-Tamayo, Granulometry, functional properties and color properties of quinoa and peach palm fruit flour. *Informacion Tecnologica*, **30** (2019) 3–10. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000500003>.
- [129] V. A. Solah, G. B. Crosbie, S. Huang, K. Quail, N. Sy, & H. A. Limley, Measurement of color, gloss, and translucency of white salted noodles: Effects of water addition and vacuum mixing. *Cereal Chemistry*, **84** (2007) 145–151. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-84-2-0145>.

- [130] Y. Ye, Y. Zhang, J. Yan, Y. Zhang, Z. He, S. Huang, & K. J. Quail, Effects of Flour Extraction Rate, Added Water, and Salt on Color and Texture of Chinese White Noodles. *Cereal Chemistry Journal*, **86** (2009) 477–485. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-86-4-0477>.
- [131] O. O. Oladunmoye, R. Akinoso, & A. A. Olapade, Evaluation of some physical-chemical properties of wheat, cassava, maize and cowpea flours for bread making. *Journal of Food Quality*, **33** (2010) 693–708. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2010.00351.x>.
- [132] C. Ertekin & M. Z. Firat, A comprehensive review of thin-layer drying models used in agricultural products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, **57** (2017) 701–717. <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.910493>.
- [133] C. Chávez-Méndez, S. C. Salgado-Cervantes, H. S. Garcia-Galindo, J. De la Cruz-Medina, & G. A. Garcia-Alvarado, Modeling of drying curves for some foodstuffs using a kinetic equation of high order. *Drying Technology*, **13** (1995) 2113–2122. <https://doi.org/10.1080/07373939508917067>.
- [134] C. García-Mogollón, A. Torregroza-Espinosa, & M. Sierra Bautirista, Drying Kinetics of Cassava Chips (*Manihot esculenta crantz*) in Microwave. *Revista técnica de la facultad de ingeniera*, **39** (2016) 98–103.
- [135] A. Ghasemi & R. A. Chayjan, Optimization of Pelleting and Infrared-Convection Drying Processes of Food and Agricultural Waste Using Response Surface Methodology (RSM). *Waste and Biomass Valorization*, **10** (2019) 1711–1729. <https://doi.org/10.1007/s12649-017-0178-5>.
- [136] E. A. Kosasih, A. Zikri, & M. I. Dzaky, Effects of drying temperature, airflow, and cut segment on drying rate and activation energy of elephant cassava. *Case Studies in Thermal Engineering*, **19** (2020) 100633. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2020.100633>.
- [137] A. M. Torregroza-Espinosa, E. J. Montes-Montes, A. E. Ávila-Gómez, & J. F. Remolina-López, Modelado de las cinéticas de secado de tres variedades de yuca industrial. *DYNA (Colombia)*, **81** (2014) 184–192. <https://doi.org/10.15446/dyna.v81n186.39923>.
- [138] D. A. Caldas, Difusividad efectiva durante el secado de rodajas de Yuca a diferentes temperaturas y espesor y obtención de harina, Universidad Nacional

- Agraria de la Selva. Facultad de ingeniería en industrias alimentarias, 2019.
- [139] E. Salazar Ramires, Modelado de la cinética de secado por convección forzada de la semilla de Pajuro (*Erythrina edulis* Triana), Universidad Nacional Agraria de la Selva. Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias, 2020.
- [140] B. Pareyt & J. A. Delcour, The role of wheat flour constituents, sugar, and fat in low moisture cereal based products: A review on sugar-snap cookies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, **48** (2008) 824–839. <https://doi.org/10.1080/10408390701719223>.
- [141] S. Barak, D. Mudgil, & B. S. Khatkar, Effect of flour particle size and damaged starch on the quality of cookies. *Journal of Food Science and Technology*, **51** (2012) 1342–1348. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0627-x>.
- [142] P. Rodríguez Carbajo, *Elaboración De Galletas Sin Gluten Con Mezclas De Harina De Arroz- Almidón-Proteína*, 2015.
- [143] A. A. Kulthe, V. D. Pawar, P. M. Kotecha, U. D. Chavan, & V. V. Bansode, Development of high protein and low calorie cookies. *Journal of Food Science and Technology*, **51** (2014) 153–157. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0465-2>.
- [144] R. Potter, V. Stojceska, & A. Plunkett, The use of fruit powders in extruded snacks suitable for Children's diets. *LWT - Food Science and Technology*, **51** (2013) 537–544. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.11.015>.
- [145] D. Bose & M. Shams-Ud-Din, The effect of chickpea (*Cicer arietinum*) husk on the properties of cracker biscuits. *Journal of the Bangladesh Agricultural University*, **8** (2010) 147–152. <https://doi.org/10.3329/jbau.v8i1.6412>.
- [146] B. K. Tiwari, C. S. Brennan, R. Jaganmohan, A. Surabi, & K. Alagusundaram, Utilisation of pigeon pea (*Cajanus cajan* L) byproducts in biscuit manufacture. *LWT - Food Science and Technology*, **44** (2011) 1533–1537. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.01.018>.
- [147] A. Cazzaniga, S. Hase, M. M. Brousse, & A. R. Linares, Properties of dehydrated cassava puree and wheat flour blends and its relationship with the texture of doughs. *Lwt*, **136** (2021). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110310>.
- [148] A. K. Shrestha & A. Noomhorm, Comparison of physico-chemical properties of biscuits supplemented with soy and kinema flours. *International Journal of Food*

- Science and Technology, **37** (2002) 361–368. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2002.00574.x>.
- [149] L. Piazza, J. Gigli, & D. Ballabio, On the application of chemometrics for the study of acoustic-mechanical properties of crispy bakery products. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, **86** (2007) 52–59. <https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2006.08.005>.
- [150] M. B. Whitworth & F. K. Gates, Measuring and addressing texture challenges in healthy baked products. *Cereal Foods World*, **58** (2013) 120–125. <https://doi.org/10.1094/CFW-58-3-0120>.
- [151] M. Saeleaw & G. Schleining, Effect of blending cassava starch, rice, waxy rice and wheat flour on physico-chemical properties of flour mixtures and mechanical and sound emission properties of cassava crackers. *Journal of Food Engineering*, **100** (2010) 12–24. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.03.020>.
- [152] M. Saeleaw & G. Schleining, A review: Crispness in dry foods and quality measurements based on acoustic-mechanical destructive techniques. *Journal of Food Engineering*, **105** (2011) 387–399. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.03.012>.
- [153] L. Piazza, J. Gigli, & S. Benedetti, Study of structure and flavour release relationships in low moisture bakery products by means of the acoustic-mechanical combined technique and the electronic nose. *Journal of Cereal Science*, **48** (2008) 413–419. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.09.016>.

DESARROLLO DE PRODUCTOS CRACKERS HORNEADOS A PARTIR DE PURÉ DESHIDRATADO DE MANDIOCA,

ANEXOS

Datos recopilados durante la investigación

Datos correspondientes a la primera publicación: Properties of dehydrated cassava puree and wheat flour blends and its relationship with the texture of doughs (LWT 2021).

Propiedades fisicoquímicas de las harinas

Tabla 1: datos obtenidos para humedad y densidad de las harinas

Muestra	Humedad (base húmeda)	Promedio \pm desvío estándar (DE)	Densidad producto suelto	Promedio \pm DE	Densidad empacado	Promedio \pm DE
A	12,19	12,23 \pm 0,12	0,43	0,43 \pm 0,01	0,53	0,53 \pm 0,01
	12,34		0,42		0,51	
	12,41		0,43		0,53	
	12,16		0,43		0,54	
	12,17					
B	8,06	10,1 \pm 0,45	0,67	0,67 \pm 0,02	0,83	0,83 \pm 0,02
	8,67		0,69		0,80	
	8,26		0,65		0,83	
	8,21		0,67		0,83	
	8,98					
C	9,45	9,28 \pm 0,26	0,74	0,72 \pm 0,04	0,83	0,81 \pm 0,03
	8,95		0,71		0,80	
	9,2		0,67		0,83	
	9,54		0,77		0,77	
	8,65					
D	10,41	8,38 \pm 0,2	0,74	0,75 \pm 0,03	0,80	0,80 \pm 0,03
	10,34		0,77		0,80	
	9,67		0,77		0,77	
	8,93		0,71		0,83	
	9,76					

Propiedades funcionales de las harinas

Tabla 2: datos obtenidos para IRAA, absorción de aceite, solubilidad y poder de hinchamiento de las harinas

Muestra	índice de retención de agua alcalina	Promedio \pm desvío estándar (DE)	Absorción de aceite	Promedio \pm DE	Solubilidad	Promedio \pm DE	Poder de hinchamiento	Promedio \pm DE
A	67,13	63,75 \pm 5,00	0,28	0,28 \pm 0,02	10,46	10,26 \pm 0,45	3,66	3,64 \pm 0,08
	68,93		0,31		9,74		3,55	
	59,40		0,26		10,07		3,74	
	59,54				10,76		3,61	
B	230,33	246 \pm 13,67	0,33	0,38 \pm 0,06	29	28,59 \pm 0,41	4,20	4,25 \pm 0,13
	263,39		0,37		28,9		4,17	
	242,82		0,45		28,25		4,20	
	247,71				28,23		4,44	
C	288,30	265,23 \pm 27,57	0,37	0,037 \pm 0,00	34,65	34,21 \pm 0,70	5,26	5,21 \pm 0,29
	281,65		0,37		33,98		5,18	
	226,80		0,37		33,34		4,84	
	264,16				34,89		5,55	
D	335,25	354,54 \pm 19,24	0,44	0,45 \pm 0,04	36,43	35,71 \pm 0,94	5,83	6,29 \pm 0,43
	374,34		0,41		36,61		6,56	
	367,45		0,49		35,06		6,75	
	341,11				34,75		6,06	

Tabla 3: datos obtenidos para Concentración Mínima de Gelificación (CMG) de las harinas

Muestra	Concentración de la harina/PDM % (P/V)											
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
A	-	-	-	-	-	-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+
D	-	+/-	+/-	+/-	+/-	+	+	+	+	+	+	+
C	-	-	-	+/-	+/-	+/-	+/-	+	+	+	+	+
B	-	-	-	-	+/-	+/-	+/-	+/-	+	+	+	+

Tabla 4: datos obtenidos para Actividad y Estabilidad Emulsionante de las harinas

Lic. Cazzaniga Amanda

Muestra	Actividad emulsionante	Promedio \pm DE	% Estabilidad Emulsionante	Promedio \pm DE
A	0,45	0,46 \pm 0,02	0,42	0,45 \pm 0,03
	0,44		0,49	
	0,48		0,45	
	0,48		0,45	
B	0,50	0,49 \pm 0,01	0,50	0,49 \pm 0,01
	0,48		0,48	
	0,48		0,49	
	0,50		0,49	
C	0,50	0,5 \pm 0,02	0,50	0,49 \pm 0,01
	0,48		0,48	
	0,52		0,48	
	0,50		0,50	
D	0,45	0,45 \pm 0,01	0,53	0,51 \pm 0,03
	0,46		0,50	
	0,45		0,52	
	0,46		0,49	

Propiedades fisicoquímicas de las masas

Tabla 5: datos obtenidos para Humedad y Densidad de las masas

Muestra	Humedad (base seca)	Promedio \pm DE	Densidad (g/cm ³)	Promedio \pm DE
A	58,40	58,4 \pm 0,9	1,24	1,25 \pm 0,03
	58,67		1,27	
	57,05		1,24	
	58,92		1,26	
B	61,46	60,5 \pm 1,0	1,06	1,2 \pm 0,1
	60,60		1,24	
	60,02		1,20	
	59,36		1,30	
C	62,40	61,9 \pm 0,3	1,31	1,29 \pm 0,06
	61,77		1,34	
	61,75		1,26	
	62,08		1,25	
D	76,28	76,7 \pm 1,3	1,26	1,3 \pm 0,2
	75,80		1,09	
	77,58		1,57	
	76,51		1,40	

Propiedades texturales de las masas

Tabla 6: Datos de textura obtenidos con texturómetro mediante el protocolo TPA

Muestra	Dureza	Promedio ±DE	Elasticidad	Promedio ±DE	Cohesivi dad	Promedio ±DE	Gomosidad	Promedio ±DE	Resiliencia	Promedio ±DE	Adhesividad	Promedio ±DE
A	10,21	9,8±0,3	0,23	0,23±0,02	0,33	0,32±0,02	3,98	3,09±0,5	0,06	0,05±0,01	-132,11	-136,03 ±44,74
	10,19		0,22		0,33		3,23		0,05		-191,48	
	9,68		0,27		0,33		3,11		0,05		-193,33	
	9,35		0,23		0,32		3,12		0,06		-130,85	
	9,67		0,27		0,31		3,07		0,05		-99,82	
	9,84		0,23		0,31		2,33		0,05		-164,57	
	9,54		0,30		0,31		3,59		0,06		-130,03	
	9,67		0,22		0,33		4,00		0,06		-189,61	
	9,81		0,27		0,30		2,47		0,05		-94,88	
	9,84		0,21		0,35		3,11		0,06		-129,18	
	9,54		0,29		0,30		2,39		0,05		-68,46	
	9,36		0,21		0,33		3,55		0,06		-176,31	
	10,19		0,21		0,32		3,02		0,05		-67,81	
B	27,47	28,3±0,8	0,35	0,34 ±0,01	0,43	0,430±0,00 1	11,89	12,43±0,4	0,12	0,121±0,00 1	-26,76	-19,17 ±13,75
	26,53		0,34		0,44		11,55		0,12		-5,02	
	27,79		0,36		0,43		11,89		0,12		-14,30	
	28,74		0,33		0,43		13,09		0,12		-36,68	
	28,42		0,32		0,44		12,32		0,12		-41,14	
	29,81		0,36		0,44		13,31		0,12		-8,54	
	27,63		0,34		0,42		12,22		0,12		-28,36	
	25,82		0,32		0,43		12,99		0,12		-23,59	
	29,99		0,34		0,43		11,35		0,12		-5,02	
	29,82		0,34		0,44		13,23		0,12		-37,12	
	27,00		0,35		0,43		12,64		0,12		-10,14	

Lic. Cazzaniga Amanda

Crackers a partir de puré deshidratado de mandioca

Anexos

	29,95		0,34		0,42		12,37		0,12		-1,52	
	28,92		0,36		0,43		12,59		0,12		-11,07	
C	30,03	30,4 ±1,2	0,42	0,41 ±0,01	0,47	0,48 ±0,02	14,17	14,7 ±0,6	0,14	0,15 ±0,01	-47,67	-32,08
	30,29		0,40		0,49		14,41		0,14		-44,25	±18,86
	30,00		0,43		0,48		13,84		0,14		-10,30	
	29,90		0,39		0,46		14,71		0,15		-12,94	
	31,21		0,43		0,47		15,20		0,14		-16,42	
	30,43		0,44		0,50		13,93		0,16		-11,96	
	28,61		0,43		0,49		14,77		0,15		-55,47	
	28,82		0,40		0,51		13,81		0,16		-43,50	
	28,47		0,40		0,46		15,18		0,14		-14,82	
	31,01		0,42		0,49		15,78		0,15		-21,96	
	31,83		0,41		0,49		15,81		0,15		-54,93	
	31,05		0,42		0,49		16,60		0,14		-23,88	
	30,59		0,41		0,47		15,96		0,15		-58,88	
D	39,96	40,2 ±3,0	0,67	0,680	0,67	0,69 ±0,01	26,25	27,05	0,30	0,30 ±0,01	-7,43	-9,20
	39,36		0,68	±0,003	0,71		27,83	±0,02	0,30		-14,84	±3,12
	44,80		0,68		0,68		26,33		0,30		-7,25	
	36,21		0,68		0,68		29,47		0,29		-9,36	
	41,97		0,67		0,68		25,74		0,30		-6,88	
	41,70		0,67		0,68		28,68		0,29		-8,36	
	42,38		0,67		0,69		27,70		0,31		-7,40	
	36,14		0,67		0,70		25,24		0,31		-14,01	
	44,43		0,68		0,70		29,18		0,31		-7,55	
	39,05		0,68		0,71		27,64		0,31		-5,21	
	42,22		0,69		0,67		28,07		0,31		-10,98	
	36,13		0,68		0,71		25,71		0,29		-6,86	
	38,60		0,68		0,68		26,30		0,30		-13,48	

Tabla 7: Datos de textura obtenidos con texturómetro mediante pruebas de forward extrusión, extensibilidad y compresión

Lic. Cazzaniga Amanda

Crackers a partir de puré deshidratado de mandioca

Anexos

Muestra	Forward extrusion				Compresión				Extensibilidad			
	Consistencia (N)	Promedio ±DE	área bajo la curva (N/s)	Promedio ±DE	fuerza máx. (N)	Promedio ±DE	propagación (mm)	Promedio ±DE	Extensibilidad (mm)	Promedio ±DE	Tenacidad (N)	Promedio ±DE
A	21,54	19,99 ±1,39	787,96	710,9 ±62,9	32,8767	30,66 ±2,77	6,00	5,45 ±0,52	51,94	46,8 ±4,4	0,65	0,60 ±0,06
	21,22		758,85		35,0175		5,00		49,78		0,53	
	19,99		805,63		26,4079		6,00		45,88		0,70	
	20,49		697,41		31,8984		5,00		41,37		0,61	
	19,05		727,69		33,5624		6,00		50,44		0,65	
	21,71		656,46		32,3906		5,00		47,01		0,61	
	21,61		716,69		25,896		5,00		40,01		0,55	
	18,16		763,78		29,5456		5,00		47,95		0,54	
	20,34		594,00		29,5073		6,00		39,97		0,58	
	18,88		711,22		27,4663		6,00		46,33		0,55	
	18,13		628,93		31,3327		6,00		44,33		0,70	
	18,37		657,07		31,2318		5,00		48,56		0,69	
	20,41		737,04		31,4628		5,00		52,98		0,53	
B	72,56	64,6 ±6,8	2836,14	2345,4 ±257,2	76,19	71,16 ±8,32	2,00	2,1±0,23	24,05	21,9 ±1,4	0,70	0,58 ±0,08
	72,31		2643,63		59,83		2,00		19,97		0,61	
	66,79		2630,56		59,03		2,50		22,82		0,49	
	65,44		2353,36		68,15		2,00		24,17		0,57	
	74,71		2526,33		63,93		2,00		21,22		0,55	
	72,47		2415,04		72,56		1,90		20,84		0,51	
	54,95		2033,61		72,61		2,00		22,81		0,55	
	56,89		2120,32		81,71		2,50		21,84		0,66	
	57,36		2046,91		83,89		2,50		20,1		0,54	
	61,28		2354,51		81,35		1,90		20,93		0,61	
	58,36		2063,25		73,53		2,00		22,95		0,57	
	61,03		2057,49		62,12		2,00		20,03		0,69	
	65,45		2495,46		70,19		2,00		22,92		0,51	

Lic. Cazzaniga Amanda

Crackers a partir de puré deshidratado de mandioca

Anexos

C	56,57	61,5 ±4,6	2035,15	2017,8 ±35,8	74,82	75,48 ±2,34	1,00	1,27 ±0,56	21,17	22,8 ±1,7	0,30	0,39 ±0,05
	58,22		2029,15		71,22		1,00		21,44		0,43	
	57,06		2005,27		75,21		1,00		22,45		0,46	
	56,50		2083,60		79,26		1,00		24,98		0,38	
	57,69		2033,87		74,41		1,00		22,38		0,37	
	57,23		2051,51		74,67		2,00		22,94		0,40	
	59,15		2044,45		78,19		0,50		21,89		0,42	
	57,38		1963,43		77,98		2,00		24,81		0,38	
	57,12		1991,33		77,52		1,00		26,6		0,37	
	57,17		2043,20		76,51		1,50		22,05		0,40	
	56,63		1998,61		72,45		2,00		21,66		0,39	
	55,54		1985,83		73,84		2,00		21,76		0,37	
	57,84		1965,90		75,17		0,50		21,68		0,36	
	D		77,52		86,4 ±7,2		2581,84		2677,2 ±183,6		34,2484	
85,28		2612,71	31,128	0,00		28,30	1,25					
76,05		2505,08	28,0667	0,00		28,06	1,08					
77,31		2590,93	32,2057	0,50		27,03	1,27					
84,81		3128,55	34,9389	0,00		26,29	0,92					
97,94		2593,74	37,5233	0,50		29,51	0,82					
83,13		2901,22	28,5393	0,00		28,03	1,14					
102,46		2846,35	33,6948	0,00		24,85	1,18					
92,50		2766,11	29,8988	0,00		27,85	0,94					
82,90		2834,79	40,722	0,00		27,93	1,17					
86,95		3166,07	37,4313	0,00		29,99	0,94					
97,72		2963,85	37,4271	0,50		26,99	0,89					
91,87		3038,51	38,3527	0,50		29,57	1,25					

Tabla 8: Datos de textura obtenidos con texturómetro mediante pruebas de Adhesividad

Muestra	Fuerza del pico de adhesión (N)	Promedio ±DE	Adhesividad (N)	Promedio ±DE	Distancia a la separación (mm)	Promedio ±DE	Energía de adhesión (N.mm)	promedio ±DE
A	0,429	0,48 ±0,062	0,429	0,47±0,05	2,498	1,08 ±1,37	0,56	0,28 ±0,35
	0,449		0,449		0,124		0,05	
	0,4		0,4		2,79		0,67	
	0,504		0,504		2,986		0,7	
	0,453		0,453		0,06		0,02	
	0,506		0,506		0,077		0,03	
	0,599		0,521		0,142		0,07	
	0,501		0,501		2,832		0,83	
	0,473		0,473		0,103		0,04	
	0,423		0,423		0,096		0,03	
	0,591		0,591		3,133		0,84	
	0,519		0,519		0,095		0,04	
	0,423		0,423		0,096		0,03	
	0,418		0,418		0,102		0,03	
B	-0,006	0,027 ±0,029	-0,014	0,030 ±0,030	0,005	0,38 ±0,97	0	0,078 ±0,19
	0,016		0,027		0,008		0	
	0,065		0,062		3,255		0,59	
	0,072		0,078		0,012		0	
	0,062		0,048		0,006		0	
	0,035		0,041		0,005		0	
	0,011		0,03		0,013		0	
	-0,003		-0,009		0,005		0	
	0,006		0,032		0,008		0	
	0,045		0,027		0,002		0	
	0,052		0,066		1,649		0,42	
	-0,009		-0,012		0,006		0	
	0,01		0,009		0,002		0	
	C		0,051		0,14		0,078	
-0,003		±0,024	-0,001	±0,029	0,022	±0,045	0,05	±0,018

Lic. Cazzaniga Amanda

	0,003		0,005		0,029		0	
	-0,002		-0,002		0,011		0	
	0,014		0,036		0,006		0	
	0,065		0,074		0,012		0	
	0,036		0,018		0,003		0	
	0,001		-0,003		0,048		0,01	
	0,009		0,02		0,002		0	
	-0,011		-0,005		0,041		0,04	
	-0,002		0,008		0,004		0,03	
	0,012		0,013		0,003		0	
	0,051		0,078		0,163		0,02	
D	0,0004	0,0071 ±0,023	0,000427	0,0015 ±0,004	0,001	0,014 ±0,031	-0,000001	0,0003 ±0,0009
	0,0000		0		0,001		-0,000001	
	0,0751		0,013785		0,105		0,002953	
	0,0013		0,001282		0		0	
	0,0003		0,000321		0,002		-0,000003	
	0,0001		0,000107		0		0	
	0,0003		0,000321		0,003		-0,000005	
	0		0		0,017		-0,000031	
	0,000321		0,000321		0,003		-0,000003	
	0		0		0,007		-0,000001	
	0		0		0,021		-0,000004	

Parámetros colorimétricos de harinas, masas y productos horneados

Tabla 9: coordenadas CIE L* a* b* de las harinas obtenidas mediante espectrofotómetro

Muestra	L*	Promedio ± DE	a*	Promedio ± DE	b*	Promedio ± DE
A	95,81	95,27±0,52	0,63	0,6±0,03	7,34	7,5±0,22
	94,78		0,67		7,52	
	95,23		0,62		7,77	
B	94,59	92,8±1,63	1,03	1,1±0,05	9,93	10±0,09
	91,39		1,13		10,09	
	92,41		1,08		9,94	
C	91,34	91,46±0,57	1,14	1,2±0,09	12,48	13±0,47
	90,97		1,22		13	
	92,08		1,31		13,41	
D	88,17	86,39±1,66	0,93	0,9±0,04	16,84	18,2±1,60
	84,88		0,88		17,78	
	86,13		0,95		19,95	

Tabla 10: coordenadas CIE L* H* C* e índice de pardeamiento (Browning index) de las harinas, calculados a partir de los datos CIE L* a* b*

Muestra	HUE	Promedio ± DE	Chroma	Promedio ± DE	IP	Promedio ± DE
A	1,52	1,52±0,004	7,40	7,57±0,21	8,26	8,54±0,26a
	1,52		7,57		8,59	
	1,52		7,83		8,78	
B	1,48	1,48±0,003	9,99	10,04±0,09	11,63	11,98±0,35b
	1,48		10,16		12,34	
	1,47		10,03		11,97	
C	1,47	1,46±0,004	12,52	13,02±0,47	15,28	15,92±0,59c
	1,46		13,05		16,06	
	1,46		13,45		16,43	
D	1,49	1,49±0,005	16,85	18,21±1,59	21,50	23,93±2,54d
	1,48		17,79		23,74	
	1,49		19,96		26,57	

Tabla 11: coordenadas CIE L* a* b* de las masas obtenidas mediante colorímetro

Muestra	L	Promedio \pm DE	a*	Promedio \pm DE	b*	Promedio \pm DE
A	86,08	85,85 \pm 0,26	1,01	1,06 \pm 0,06	15,12	15,76 \pm 0,69
	85,56		1,13		16,5	
	85,91		1,05		15,66	
B	76,2	77,22 \pm 0,89	2,06	2,22 \pm 0,16	22,39	22,03 \pm 0,51
	77,86		2,39		22,25	
	77,59		2,23		21,44	
C	74,82	75,08 \pm 0,31	2,66	2,97 \pm 0,28	24,15	24,11 \pm 0,18
	75		3,19		24,27	
	75,42		3,06		23,9	
D	70,92	70,653 \pm 0,67	3,29	3,27 \pm 0,20	24,93	24,37 \pm 0,49
	69,86		3,45		24,16	
	71,18		3,06		24,02	

Tabla 12: coordenadas CIE L* H* C* e índice de pardeamiento (Browning index) de las masas, calculados a partir de los datos CIE L* a* b*

Muestra	HUE	Promedio \pm DE	Chroma	Promedio \pm DE	IP	Promedio \pm DE
A	1,439585	1,50 \pm 0,001	25,14615	15,79 \pm 0,7	19,74917	20,75 \pm 1,10
	1,428957		24,40508		21,92298	
	1,444085		24,21413		20,57659	
B	1,461094	1,47 \pm 0,01	24,29605	22,14 \pm 0,5	36,0117	34,99 \pm 1,14
	1,440107		24,47875		35,19166	
	1,443456		24,09509		33,76365	
C	1,479049	1,45 \pm 0,01	22,48457	24,29 \pm 0,2	40,72386	40,79 \pm 0,56
	1,463791		22,37799		41,38245	
	1,467158		21,55566		40,27594	
D	1,504096	1,44 \pm 0,01	15,1537	24,59 \pm 0,5	45,74778	44,77 \pm 1,21
	1,502418		16,53865		45,13958	
	1,503847		15,69516		43,41659	

Tabla 13: coordenadas CIE L* a* b* de los snacks horneados durante la misma cantidad de tiempo obtenidas mediante espectrofotómetro y los valores calculados para HUE y Chroma

muestra	L*	Promedio ± desvío estándar (DE)	a*	Promedio ± DE	b*	Promedio ± DE	H*	Promedio ± DE	C*	Promedio ± DE
190°C/14'										
D	44,73	43,6±1,6	7,26	7,0±0,8	37,24	31,2±6,2	1,38	1,35±0,03	37,94	31,94±6,2
D	44,34		7,66		31,49		1,33		32,41	
D	41,81		6,12		24,74		1,33		25,49	
C	35,6	44,3±7,6	4,77	5,0±1,4	24,71	31,00±5,4	1,38	1,41±0,05	25,17	31,43±5,4
C	47,54		3,83		34,29		1,46		34,50	
C	49,79		6,56		34,01		1,38		34,64	
B	39,57	33,2±4,0	6,09	6,7±0,7	16,31	18,9±2,7	1,21	1,23±0,04	17,41	20,08±2,6
B	31,81		7,51		18,72		1,19		20,17	
B	34,1		6,6		21,7		1,27		22,68	
A	68,86	69,7±1,04	8,93	8,2±0,6	24,42	24,8±0,4	1,22	1,25±0,03	26,00	26,15±0,1
A	69,31		7,68		25,15		1,27		26,30	
A	70,85		7,97		24,9		1,26		26,14	
205°C/9'										
D	20,13	20,1±2,4	20,16	19,7±1,5	24,52	21,6±3,5	0,88	0,83±0,05	31,74	29,2±3,5
D	17,67		20,93		22,57		0,82		30,78	
D	22,38		17,97		17,71		0,78		25,23	
C	53,61	52,9±2,9	10,03	8,4±1,5	21,28	21,3±0,3	1,13	1,19±0,06	23,52	22,9±0,6
C	49,7		7,01		21,53		1,26		22,64	
C	55,49		8,06		20,99		1,20		22,48	
B	30,48	30,2±1,7	10,84	9,6±1,1	14,96	18,3±4,5	0,94	1,07±0,1	18,47	20,7±3,7
B	28,32		9,25		16,39		1,06		18,82	
B	31,79		8,6		23,45		1,22		24,98	
A	73,04	74,0±0,9	5,89	5,3±0,5	21,99	21,4±0,6	1,31	1,33±0,02	22,76	22,1±0,7
A	74,08		4,98		20,77		1,33		21,36	
A	74,87		5,09		21,52		1,34		22,11	
220°C/9'										
D	26,31	23,4±2,6	13,58	11,0±2,3	11,58	9,9±3,2	0,71	0,72±0,2	17,84	14,9±2,9
D	21,1		10,13		6,2		0,55		11,88	
D	22,81		9,17		12,01		0,92		15,11	
C	26,81	26,5±2,6	18,25	18,6±1,1	-4,74	-4,1±0,6	-0,25	0,22±0,03	18,85	19,0±1,1
C	23,76		19,79		-4		-0,20		20,19	
C	28,89		17,7		-3,55		-0,20		18,05	
B	27,21	30,3±2,8	17,86	14,4±3,2	13,17	16,5±3,7	0,63	0,85±0,2	22,19	22,2±2,5
B	31,15		11,61		15,91		0,94		19,69	
B	32,67		13,66		20,58		0,98		24,70	
A	71,47	72,3±0,9	5,98	6,5±0,4	24,12	23,5±0,9	1,33	1,30±0,02	24,85	24,4±0,8
A	72,15		6,66		22,48		1,28		23,44	
A	73,24		6,78		23,92		1,29		24,86	

235°C/7'										
D	57,35		3,83		26,82		1,43		27,09	
D	49,02	53,6±4,2	8,02	6,3±2,2	15,33	21,1±5,7	1,09	1,25±0,17	17,30	22,3±4,9
D	54,49		7,14		21,28		1,25		22,44	
C	30,39		11,72		1,22	31,8±8,1	0,10		11,78	
C	31,86	31,8±1,4	7,05	8,1±3,3	3,32		0,44	0,30±0,17	7,79	8,5±3,0
C	33,16		5,45		2,01		0,35		5,81	
B	44,24		7,56	9,4±5,9	26,29		1,29		27,35	
B	48,91	44,2±4,8	4,69		31,18	26,4±4,7	1,42	1,22±0,25	31,53	28,6±2,5
B	39,33		16		21,75		0,94		27,00	
A	70,44		6,81	7,0±0,5	25,01		1,30		25,92	
A	69,16	69,4±0,9	6,66		23,11	23,9±0,9	1,29	1,28±0,02	24,05	25,0±0,9
A	68,64		7,68		23,8		1,26		25,00	

Tabla 14: coordenadas CIE L* a* b* de los snacks horneados a diferentes tiempos obtenidas mediante espectrofotómetro y los valores calculados para HUE, Chroma e índice de pardeamiento (IP).

Muestra	Tiempo de horneado (min)	L*	Promedio ± desvío estándar (DE)	a*	Promedio ± DE	b*	Promedio ± DE	C*	Promedio ± DE	H*	Promedio ± DE	IP	Promedio ± DE
190°C													
A	14	68,86	69,7 ±1,4	8,93	8,2±0,6	24,42	24,8±0,4	26,00	26,1±0,1	1,22	1,25±0,03	52,58	51,9±1,0
		69,31		7,68		25,15		26,30		1,27		52,39	
		70,85		7,97		24,9		26,14		1,26		50,80	
B	9	66,05	68,0 ±1,7	7,83	7,8±0,6	24,36	25,0±0,8	25,59	26,2±0,9	1,26	1,27±0,02	53,89	53,5±2,0
		68,99		7,26		24,79		25,83		1,29		51,44	
		68,86		8,44		25,91		27,25		1,26		55,34	
C	8	71,94	70,3 ±1,4	6,59	7,0±0,5	29,43	28,7±1,1	30,16	29,5±1,1	1,35	1,33±0,02	58,14	58,7±2,9
		69,27		7,55		29,36		30,32		1,32		61,88	
		69,77		6,85		27,43		28,27		1,33		56,11	
D	9	67,07	66,0 ±2,7	7,33	7,4±0,5	26,92	26,5±0,4	27,90	27,5±0,4	1,30	1,30±0,02	58,27	58,5±2,9
		62,98		8,03		26,02		27,23		1,27		61,55	
		68,03		6,94		26,45		27,35		1,31		55,72	
205°C													
A	9	73,04	74,0 ±0,9	5,89	5,3±0,5	21,99	21,4±0,6	22,77	22,1±0,7	1,31	1,33±0,02	41,11	38,8±2,0
		74,08		4,98		20,77		21,36		1,34		37,25	
		74,87		5,09		21,52		22,11		1,34		38,27	
B	6	71,26	72,3 ±1,0	7,45	6,9±0,5	22,19	22,4±0,3	23,41	23,5±0,2	1,25	1,27±0,02	44,37	43,5±0,8
		73,12		6,45		22,77		23,67		1,29		43,14	
		72,63		6,71		22,34		23,33		1,28		42,92	
C	5	72,14	69,9 ±2,3	4,41	4,8±0,4	23,51	24,2±1,2	23,92	24,7±1,2	1,39	1,37±0,01	43,14	46,8±4,7
		67,54		5,14		25,59		26,10		1,37		52,19	
		69,93		4,87		23,48		23,98		1,37		45,23	
D	7	70,69	71,8 ±10	6,17	6,2±0,3	26,47	25,5±0,9	27,18	26,2±0,8	1,34	1,33±0,02	52,37	49,4±2,6
		72,54		6,56		24,68		25,54		1,31		47,47	
		72,13		6,02		25,26		25,97		1,34		48,41	
220°C													
A	9	71,47	72,3 ±0,9	5,98	6,5±0,4	24,12	23,5±0,9	24,85	24,4±0,8	1,33	1,30±0,02	46,55	45,2±1,6
		72,15		6,66		22,48		23,45		1,28		43,47	
		73,24		6,78		23,92		24,86		1,29		45,64	
B	6	68,74	69,6 ±0,8	8,89	8,5±0,5	22,38	22,6±2,7	24,08	24,2±1,3	1,19	1,21±0,02	48,26	47,6±4,3
		70,37		8,64		23,95		25,46		1,22		49,93	
		69,79		7,87		21,54		22,93		1,22		44,60	
C	5	76,18	74,4 ±2,4	3,78	4,1±0,3	22,79	23,0±0,9	23,10	23,4±0,9	1,41	1,39±0,01	38,49	40,5±3,4
		71,59		4,37		24,00		24,39		1,39		44,49	
		75,34		4,25		22,29		22,69		1,38		38,55	
D	7	70,8	71,2 ±0,4	3,7	3,9±0,3	23,78	24,6±1,1	24,07	24,9±1,1	1,42	1,41±0,01	43,90	45,6±2,4
		71,47		3,88		24,29		24,60		1,41		44,64	
		71,41		4,36		25,82		26,19		1,40		48,39	

235°C													
A	7	70,44	7,1 ±0,3	6,81	7,0±0,5	25,01	23,9±0,9	25,92	25,0±0,9	1,30	1,28±0,02	50,14	49,1±1,8
		69,16		6,66		23,11		24,05		1,29		47,02	
		68,64		7,68		23,8		25,01		1,26		50,06	
B	5	69,21	4,9 ±0,1	7,34	6,8±0,6	22,07	21,4±0,6	23,26	22,4±0,7	1,25	1,26±0,02	45,55	42,7±2,6
		69,38		6,08		20,98		21,84		1,29		41,83	
		72,81		6,87		21,14		22,23		1,26		40,66	
C	4,5	70,24	6,5 ±0,1	3,94	3,8±0,2	20,75	21,3±0,4	21,12	21,6±0,4	1,38	1,38±0,01	38,46	38,0±0,7
		74,99		3,93		21,58		21,93		1,39		37,13	
		71,97		3,55		21,48		21,77		1,41		38,37	
D	6	68,17	7,3 ±0,3	6,38	5,9±0,4	22,14	23,3±1,3	23,04	24,0±1,2	1,29	1,32±0,03	45,46	46,9±2,0
		69,4		5,86		24,62		25,31		1,34		49,16	
		68,64		5,59		23,03		23,70		1,33		46,09	

Propiedades fisicoquímicas de las masas y productos intermedios utilizadas para la determinación de cinética de pérdida de humedad

Tabla 15: datos obtenidos a partir de las masas utilizados para el cálculo de variables de pérdida de humedad

Muestra	Humedad (base seca)	Promedio ±DE	Humedad (base húmeda)	Promedio ±DE	Sólidos Secos (g)	Promedio ±DE	Sólidos Secos (%)	Promedio ±DE
A	66,66	64,7 ±1,81	40,00	39,29 ±0,67	1,1817	1,37 ±0,21	60,00	60,71 ±0,67
	64,49		39,21		1,5999		60,79	
	63,04		38,67		1,3405		61,333	
B	56,37	59,4 ±2,82	36,05	37,26 ±1,10	1,2738	1,42 ±0,17	63,95	62,74 ±1,10
	61,77		38,18		1,3885		61,81	
	60,14		37,55		1,6098		62,45	
C	73,72	71,1 ±2,43	42,44	41,54 ±0,80	1,2387	1,22 ±0,02	57,56	58,46 ±0,80
	70,37		41,30		1,2384		58,69	
	69,16		40,88		1,2019		59,12	
D	80,92	81,5 ±1,24	44,73	44,91 ±0,35	1,125	1,17 ±0,15	55,27	55,09 ±0,35
	82,86		45,31		1,0542		54,69	
	80,80		44,69		1,3423		55,31	

Tabla 16: datos experimentales utilizados para la obtención de la curva de pérdida de humedad de la receta sin Puré deshidratado de mandioca a las diferentes temperaturas ensayadas

Tiempo (min)	Peso Inicial (g)	peso a tiempo t (g)	peso seco (SS)	Xbs a tiempo t	Xbs a tiempo t promedio
0	2,3399	2,3399	1,420435876	0,647311	0,64731125
Muestra A - 190°C					
1	3,3863	3,2415	2,055652808	0,576871341	0,574
	3,0633	2,936	1,859575716	0,578854776	
	2,7819	2,6435	1,688751896	0,565357235	
2	2,649	2,4185	1,608074975	0,503972164	0,515
	3,2151	2,983	1,951725879	0,528390863	
	2,9889	2,7466	1,814411209	0,513769308	
3	2,9611	2,5663	1,797535224	0,427677169	0,466
	2,9395	2,6596	1,784422948	0,49045382	
	3,0212	2,7117	1,834018919	0,478556177	
4	2,8146	2,4331	1,708602426	0,424029349	0,398
	2,8311	2,3827	1,718618748	0,386404055	
	3,0083	2,5246	1,826187976	0,382442571	
5	3,3403	2,752	2,027728516	0,357183655	0,348
	3,105	2,5477	1,884889694	0,351644082	
	2,9887	2,4229	1,814289799	0,335453686	
6	2,9836	2,3496	1,811193845	0,297265892	0,317
	3,2264	2,5886	1,958585542	0,321668084	
	3,4281	2,7726	2,081027491	0,332322621	
7	3,1988	2,3414	1,941830967	0,205769215	0,224
	2,9914	2,281	1,815928834	0,256106493	
	2,945	2,1636	1,787761722	0,210228395	
8	3,0658	2,1786	1,861093341	0,170602222	0,168
	2,9804	2,1507	1,809251286	0,188723765	
	3,2239	2,2375	1,957067917	0,143291952	
9	2,7214	1,745	1,652025382	0,05627917	0,085
	2,3867	1,538	1,448845807	0,061534631	
	3,1006	2,1424	1,882218674	0,138231189	
10	3,1233	2,0169	1,895998705	0,063766549	0,060
	3,2656	2,0911	1,982381895	0,05484216	
	2,9613	1,9092	1,797656634	0,062049317	
11	2,555	1,5701	1,551012292	0,012306613	0,056
	2,9476	1,9045	1,789340052	0,064358895	
	3,1903	2,1109	1,936671043	0,089963113	
12	3,344	2,0899	2,029974601	0,02952027	0,027
	2,912	1,7934	1,767729078	0,014521977	
	3,0949	1,9468	1,87875849	0,036216209	
13	2,896	1,76	1,758016281	0,001128385	0,005
	2,8053	1,6906	1,702956862	0,005833916	
	2,8184	1,7264	1,710909215	0,009054125	
14	3,0015	1,8091	1,822060037	0,002728934	0,010

	3,3036	2,0602	2,005449788	0,027300714	
	2,6976	1,6282	1,637577597	0,001390618	
Muestra A – 205°C					
1	3,1948	3,0358	1,939402768	0,565327	0,567
	3,5309	3,3885	2,143432212	0,580876	
	3,0336	2,8656	1,841546336	0,556084	
2	3,3338	3,058	2,023782693	0,511032	0,498
	3,0576	2,7706	1,856115532	0,492687	
	2,971	2,6863	1,803545018	0,489455	
3	3,1916	2,8416	1,937460208	0,466662	0,453
	2,9275	2,56	1,77713835	0,440518	
	2,9943	2,638	1,817689278	0,451293	
4	3,2175	2,599	1,953182798	0,330649	0,347
	3,0297	2,4781	1,839178842	0,347395	
	3,3009	2,732	2,003810753	0,363402	
5	3,4846	2,7067	2,115325806	0,279566	0,309
	3,0231	2,3679	1,835172313	0,290288	
	3,632	2,9946	2,204804949	0,358215	
6	2,8441	2,076	1,726510395	0,202425	0,205
	3,0694	2,2188	1,86327872	0,190804	
	2,8431	2,1091	1,725903346	0,222027	
7	3,1818	2,1807	1,93151112	0,129012	0,133
	3,066	2,102	1,861214751	0,12937	
	2,8861	1,9969	1,752006488	0,139779	
8	2,8901	1,9114	1,754434687	0,089468	0,107
	3,5409	2,4071	2,14950271	0,11984	
	3,4365	2,3216	2,086126709	0,112876	
9	2,8313	1,8054	1,718740158	0,050421	0,054
	2,9706	1,8505	1,803302198	0,026173	
	3,0499	2,0092	1,851441248	0,085209	
Muestra A – 220°C					
1	3,3168	3,1807	2,013462846	0,579716	0,576
	3,1806	3,0391	1,93078266	0,574025	
	3,1863	3,0458	1,934242844	0,574673	
2	3,1898	2,8861	1,936367518	0,490471	0,483
	2,8781	2,547	1,747150089	0,457803	
	3,3678	3,0657	2,044422387	0,499543	
3	3,387	2,9203	2,056077743	0,420326	0,426
	3,1748	2,714	1,927261771	0,408216	
	3,5284	3,1021	2,141914588	0,448284	
4	2,9475	2,4091	1,789279347	0,346408	0,310
	2,9563	2,3344	1,794621385	0,300776	
	2,8013	2,1834	1,700528663	0,283954	
5	3,7153	2,881	2,255372199	0,277394	0,222
	2,7354	1,9659	1,66052408	0,183903	
	3,0253	2,2118	1,836507823	0,204351	
6	3,2613	2,2386	1,979771581	0,130737	0,130
	3,0087	1,9372	1,826430796	0,060648	
	3,1463	2,2886	1,909960851	0,198244	
7	3,3899	2,378	2,057838188	0,155582	0,130
	3,1802	2,2002	1,93053984	0,139681	
	2,9453	1,9595	1,787943837	0,095952	
8	3,7847	2,6443	2,297501457	0,150946	0,102
	3,1084	2,036	1,886953663	0,078988	

	3,2031	2,092	1,944441281	0,075887	
9	2,8641	1,8334	1,738651392	0,054495	0,081
	2,7562	1,762	1,673150716	0,053103	
	3,2493	2,2411	1,972486983	0,13618	
Muestra A – 235°C					
1	2,2316	1,8924	1,35469238	0,537805	0,507
	2,2952	1,889838129	1,393300749	0,496537	
	2,3356	1,905092801	1,417825561	0,487267	
2	2,48	2,1503	1,505483556	0,428312	0,367
	2,089	1,7066	1,268127076	0,345764	
	2,126	1,7129	1,290587919	0,327225	
3	2,2754	1,681129858	1,381281162	0,299849	0,273
	2,3542	1,688099346	1,429116688	0,258983	
	2,2612	1,632863247	1,372661055	0,260202	
4	2,2796	1,621	1,383830772	0,171386	0,179
	2,3004	1,6384	1,396457408	0,173255	
	2,3433	1,6973	1,422499845	0,193181	
5	2,0054	1,379464385	1,217377711	0,162087	0,159
	2,02158	1,374336156	1,227199777	0,147136	
	2,1587	1,476233567	1,310438448	0,165795	
6	1,9271	1,3285	1,16984571	0,13562	0,132
	1,9161	1,3073	1,163168162	0,123913	
	1,8478	1,2749	1,121706659	0,136572	
7	1,8488	1,2437	1,122313709	0,108157	0,105
	1,937	1,2942	1,175855503	0,100645	
	1,0744	0,7222	0,652214327	0,107305	

Tabla 17: datos experimentales utilizados para la obtención de la curva de pérdida de humedad de la muestra "B" con 50% harina de trigo 50% Puré deshidratado de mandioca a las diferentes temperaturas ensayadas

Tiempo (min)	Peso Inicial (g)	peso a tiempo t (g)	peso seco (SS)	Xbs a tiempo t	Xbs a tiempo t promedio
0	2,3399	2,3399	1,467683771	0,594281	0,59428076
Muestra B – 190°C					
1	2,0821	1,9556	1,30598076	0,497419	0,489
	2,1186	1,9711	1,328875096	0,483285	
	2,14	1,996	1,342298077	0,487002	
2	2,3733	2,1116	1,488633657	0,418482	0,406
	2,2787	2,0032	1,429296555	0,401529	
	2,2418	1,965	1,406151322	0,397431	
3	2,14	1,7379	1,342298077	0,29472	0,285
	2,317	1,8853	1,453319927	0,297237	
	2,0755	1,6446	1,301840962	0,263288	
4	1,9565	1,478	1,227199153	0,204368	0,224
	2,1494	1,6209	1,348194152	0,202275	
	2,3507	1,865	1,474457985	0,264872	
5	2,296	1,7135	1,440147843	0,189808	0,156
	2,1863	1,564	1,371339385	0,140491	
	2,176	1,5538	1,364878792	0,138416	
6	2,1459	1,4465	1,345998805	0,074667	0,085
	2,0719	1,3666	1,29958289	0,051568	
	2,122	1,5006	1,331007719	0,127416	
7	2,1712	1,4727	1,36186803	0,081382	0,063
	2,4049	1,5854	1,508454507	0,051009	
	2,1682	1,4387	1,359986304	0,057878	
8	2,051	1,3352	1,28647353	0,037876	0,051
	2,1448	1,4236	1,345308839	0,058196	
	2,048	1,3591	1,284591804	0,058001	
9	2,1731	1,4227	1,36305979	0,043755	0,046
	2,0422	1,3408	1,2809538	0,04672	
	2,1524	1,4154	1,350075879	0,048386	
10	1,7696	1,1118	1,109967606	0,001651	0,016
	2,4575	1,56	1,541447441	0,012036	
	2,4584	1,5934	1,542011959	0,033325	
11	1,8914	1,2023	1,186365693	0,013431	0,016
	2,007	1,2626	1,258874878	0,002959	
	1,8339	1,1857	1,150299272	0,030775	
12	2,0145	1,2933	1,263579194	0,023521	0,039
	2,0874	1,391	1,309305143	0,062396	
	2,108	1,3646	1,32222633	0,032047	
13	2,3677	1,5049	1,485121101	0,013318	0,017
	1,743	1,1067	1,093282966	0,012272	
	1,8196	1,1706	1,14132971	0,025646	
14	1,7063	1,08	1,070263181	0,009098	0,005
	1,638	1,0322	1,027422546	0,00465	
	1,5889	0,9993	0,99662496	0,002684	
Muestra B – 205°C					
1	2,1141	1,9815	1,326052506	0,494285	0,463
	2,3639	2,135	1,482737581	0,439904	
	2,1719	1,9836	1,362307099	0,456059	
	2,2238	1,8853	1,394860964	0,351604	

2	2,2224	1,8535	1,393982825	0,329643	0,347
	2,1106	1,8006	1,323857159	0,360117	
3	2,3531	1,9333	1,475963366	0,309856	0,297
	2,1177	1,6839	1,328310578	0,267701	
	2,3649	1,9466	1,483364823	0,312287	
4	2,2432	1,6381	1,407029461	0,164226	0,200
	2,2529	1,677	1,413113709	0,186741	
	2,415	1,8923	1,514789652	0,249216	
5	2,0763	1,4426	1,302342755	0,107696	0,123
	2,18	1,552	1,36738776	0,135011	
	2,2321	1,5788	1,400067073	0,12766	
6	2,2787	1,5075	1,429296555	0,054715	0,060
	2,205	1,4304	1,383068813	0,034222	
	2,3753	1,6257	1,489888141	0,091156	
7	2,1346	1,3621	1,338910969	0,017319	0,040
	2,312	1,5338	1,450183716	0,057659	
	2,1046	1,3779	1,320093707	0,04379	
8	2,2028	1,4336	1,38168888	0,037571	0,039
	2,0943	1,34	1,313633113	0,020072	
	2,4254	1,6127	1,52131297	0,060071	
9	2,2609	1,4774	1,418131646	0,041793	0,030
	2,3381	1,492	1,466554735	0,01735	
	2,3992	1,5509	1,504879227	0,030581	
Muestra B – 220°C					
1	2,112	1,957	1,324735298	0,477276	0,452
	2,2676	2,0408	1,422334168	0,434825	
	2,2832	2,0671	1,432119144	0,443385	
2	1,61	1,2843	1,009859768	0,271761	0,295
	1,702	1,3856	1,06756604	0,297906	
	1,8452	1,5238	1,157387108	0,316586	
3	1,83	1,3848	1,147853028	0,206426	0,211
	1,9415	1,4926	1,217790521	0,225662	
	1,7829	1,3435	1,118309926	0,201366	
4	2,0868	1,5366	1,308928797	0,173937	0,164
	2,065	1,4934	1,29525492	0,152978	
	2,1381	1,5633	1,341106317	0,165679	
5	1,8311	1,1969	1,148542994	0,042103	0,069
	2,2249	1,5639	1,39555093	0,120633	
	1,6227	1,0628	1,017825742	0,044187	
6	2,1551	1,4038	1,351769432	0,038491	0,057
	1,829	1,2057	1,147225786	0,05097	
	1,9912	1,3507	1,248964453	0,081456	
7	2,2399	1,452	1,404959562	0,033482	0,035
	2,448	1,5989	1,535488641	0,041297	
	2,1508	1,39	1,349072291	0,030338	
8	1,9385	1,234	1,215908795	0,014879	0,021
	2,1114	1,3578	1,324358953	0,025251	
	2,0395	1,3099	1,279260246	0,023951	
9	2,1861	1,3995	1,371213937	0,020628	0,016
	1,692	1,0747	1,061293619	0,012632	
	1,9524	1,224	1,22462746	0,015148	
Muestra B – 235°C					
1	2,056	1,825	1,289609741	0,415157	0,420
	2,3101	2,0558	1,448991956	0,418779	
	2,1927	1,96	1,375353735	0,425088	
2	2,3329	1,9361	1,463293076	0,323112	0,315
	2,263	1,8462	1,419448854	0,300646	

Crackers a partir de puré deshidratado de mandioca

Anexos

	2,4579	2,035	1,541698338	0,319973	
3	2,201	1,6827	1,380559844	0,218853	0,211
	2,2222	1,7009	1,393857377	0,220283	
	2,311	1,7324	1,449556474	0,195124	
4	2,2644	1,5413	1,420326993	0,085173	0,093
	2,3802	1,6013	1,492961627	0,072566	
	2,135	1,5025	1,339161866	0,12197	
5	2,0737	1,3678	1,300711926	0,051578	0,056
	2,5007	1,6479	1,568544299	0,050592	
	2,4245	1,6193	1,520748452	0,064805	
6	2,2353	1,4282	1,402074248	0,018634	0,024
	2,3029	1,4728	1,444475813	0,019609	
	2,3331	1,5122	1,463418525	0,033334	
7	1,889	1,1721	1,184860312	0,010769	0,022
	2,3946	1,513	1,501993913	0,007328	
	2,4586	1,6169	1,542137407	0,04848	

Tabla 18: datos experimentales utilizados para la obtención de la curva de pérdida de humedad de la muestra "C" con 25% harina de trigo 75% Puré deshidratado de mandioca a las diferentes temperaturas ensayadas

Tiempo (min)	Peso Inicial (g)	peso a tiempo t (g)	peso seco (SS)	Xbs a tiempo t	Xbs a tiempo t promedio
0	1,956	1,956	1,143296513	0,710842269	0,710842269
C – 190°C					
1	1,9558	1,8102	1,143179611	0,583478	0,576
	1,977	1,8289	1,155571168	0,582681	
	1,9627	1,793	1,147212712	0,562919	
2	1,9812	1,6878	1,1580261	0,45748	0,449
	1,8673	1,5828	1,091450704	0,45018	
	2,01	1,6924	1,174859913	0,440512	
3	1,9601	1,4314	1,145692993	0,249375	0,311
	1,8932	1,4771	1,106589447	0,334822	
	2,0118	1,5872	1,175912027	0,349761	
4	1,9974	1,4317	1,16749512	0,226301	0,235
	1,9976	1,4503	1,167612021	0,242108	
	1,972	1,4266	1,152648631	0,237671	
5	1,9669	1,3062	1,149667643	0,136154	0,129
	1,8604	1,2011	1,087417603	0,104543	
	1,9688	1,3194	1,150778208	0,146528	
6	1,9275	1,2129	1,126638051	0,076566	0,073
	1,9275	1,2129	1,126638051	0,076566	
	2,0509	1,2786	1,198766267	0,066597	
7	1,9697	1,1799	1,151304264	0,024838	0,027
	2,0905	1,2579	1,22191276	0,029452	
	2,0755	1,2448	1,213145149	0,026093	
8	2,0529	1,2258	1,199935281	0,021555	0,025
	2,031	1,211	1,187134569	0,020103	
	2,0163	1,2186	1,17854231	0,033989	
9	1,7898	1,0774	1,046151379	0,02987	0,028
	1,9751	1,1829	1,154460604	0,024634	
	2,058	1,2376	1,202916269	0,028833	
10	1,7432	1,1176	1,018913334	0,096855	0,085
	1,877	1,1855	1,097120426	0,080556	
	1,9353	1,2199	1,131197209	0,078415	
11	1,8098	1,0896	1,057841528	0,030022	0,027
	1,866	1,1221	1,090690845	0,028797	
	1,8915	1,1302	1,105595784	0,022254	
12	1,7779	1,0702	1,039195741	0,029835	0,025
	1,9254	1,1408	1,125410586	0,013674	
	1,8915	1,1402	1,105595784	0,031299	
13	1,7779	1,0729	1,039195741	0,032433	0,024

	1,988	1,1933	1,16200075	0,026936	
	1,9725	1,1686	1,152940885	0,013582	
14	1,6707	1,0004	0,976536546	0,024437	0,024
	1,5425	0,9246	0,901602695	0,025507	
	1,9693	1,1768	1,151070461	0,022353	
C – 205°C					
1	1,8831	1,688	1,100685922	0,533589	0,531
	1,8333	1,6377	1,071577452	0,528308	
	1,9186	1,7168	1,121435935	0,530894	
2	1,9831	1,6003	1,159136664	0,380596	0,394
	1,8217	1,4772	1,064797166	0,387306	
	2,0346	1,6817	1,189238796	0,414098	
3	1,997	1,386	1,167261317	0,187395	0,223
	1,9482	1,4086	1,138737355	0,236984	
	1,8865	1,3731	1,102673247	0,245246	
4	1,9449	1,2337	1,13680848	0,085231	0,125
	2,0423	1,4037	1,193739503	0,175885	
	1,9756	1,2868	1,154752858	0,114351	
5	1,8723	1,1887	1,094373242	0,086192	0,066
	1,814	1,1055	1,060296459	0,042633	
	1,8433	1,1508	1,077422526	0,068105	
6	1,527	0,9504	0,89254283	0,064823	0,064
	1,5333	0,9593	0,896225226	0,070378	
	1,4129	0,87213	0,825850533	0,056039	
7	1,3531	0,8357	0,790896989	0,056648	0,055
	1,3686	0,8454	0,799956854	0,056807	
	1,416	0,8695	0,827662506	0,050549	
8	2,1726	1,3068	1,26990082	0,029057	0,036
	2,195	1,3311	1,282993786	0,037495	
	2,2105	1,3468	1,292053651	0,042372	
9	2,0851	1,2559	1,21875642	0,030477	0,030
	2,2115	1,3248	1,292638158	0,024881	
	2,2372	1,3513	1,307659999	0,033373	
C – 220°C					
1	2,3261	2,1507	1,359622708	0,581836	0,578
	2,3452	2,164	1,3707868	0,578655	
	2,4083	2,2157	1,407669218	0,57402	
2	2,2836	1,9214	1,334781143	0,439487	0,429
	2,1659	1,7888	1,26598462	0,412971	
	2,2231	1,8639	1,299418444	0,434411	
3	2,4423	1,8655	1,427542471	0,306791	0,291
	2,486	1,8736	1,453085445	0,289394	
	2,3435	1,7492	1,369793138	0,276981	
4	2,2763	1,5229	1,330514239	0,144595	0,156
	2,2859	1,5269	1,33612551	0,142782	

	2,4467	1,6869	1,430114303	0,179556	
5	2,2586	1,3689	1,320168458	0,036913	0,049
	2,2854	1,3823	1,335833257	0,034785	
	2,452	1,5421	1,433212193	0,075975	
6	2,1686	1,299	1,26756279	0,024801	0,018
	2,222	1,3185	1,298775486	0,015187	
	2,3209	1,377	1,35658327	0,01505	
7	2,3534	1,3951	1,375579761	0,014191	0,014
	2,3193	1,3753	1,355648058	0,014496	
	2,4771	1,4666	1,447883329	0,012927	
8	2,2431	1,3362	1,311108593	0,019138	0,015
	2,1272	1,2599	1,243364183	0,013299	
	2,3716	1,4038	1,386217796	0,012684	
9	2,4968	1,47974	1,459398125	0,013939	0,013
	2,0786	1,2282	1,214957122	0,0109	
	2,1066	1,2476	1,23132333	0,013219	
C – 235°C					
1	2,1748	1,9419	1,271186736	0,527628	0,524
	2,0378	1,7906	1,191109219	0,503305	
	2,2528	2,03	1,316778315	0,541641	
2	2,3851	1,9172	1,394108646	0,375216	0,379
	2,3537	1,949	1,375755113	0,416677	
	2,0915	1,6435	1,222497268	0,344379	
3	2,1212	1,4766	1,239857138	0,190944	0,198
	2,3993	1,7063	1,402408652	0,216692	
	2,1914	1,52	1,280889559	0,186675	
4	2,0822	1,2942	1,217061349	0,063381	0,091
	2,1984	1,4146	1,284981111	0,100872	
	2,1925	1,4211	1,281532517	0,108907	
5	2,1444	1,318	1,25341771	0,051525	0,037
	2,2644	1,3739	1,323558601	0,038035	
	2,2866	1,3661	1,336534665	0,022121	
6	2,3165	1,3935	1,354011437	0,029164	0,024
	2,4325	1,4533	1,421814298	0,022145	
	2,3436	1,3993	1,369851588	0,021498	
7	2,3839	1,4202	1,393407237	0,019228	0,021
	2,2007	1,3139	1,286325478	0,021437	
	2,3509	1,4066	1,374118493	0,023638	

Tabla 19: datos experimentales utilizados para la obtención de la curva de pérdida de humedad de la muestra "D" sin Harina de Trigo a las diferentes temperaturas ensayadas

Tiempo (min)	Peso Inicial (g)	peso a tiempo t (g)	peso seco (SS)	Xbs a tiempo t	Xbs a tiempo t promedio
0	2,1952	2,1952	1,209307337	0,815254016	0,815254016
D -190°C					
1	2,2326	2,0871	1,229910514	0,696953	0,700
	2,3848	2,2444	1,313755529	0,708385	
	2,2625	2,1135	1,246382038	0,695708	
2	2,3762	2,1254	1,3090179	0,62366	0,628
	2,4174	2,165	1,331714448	0,625724	
	2,2715	2,0441	1,251340022	0,633529	
3	2,0831	1,6521	1,147552894	0,439672	0,471
	2,3296	1,9162	1,283346562	0,493127	
	2,2009	1,7958	1,212447393	0,481136	
4	2,3296	1,7662	1,283346562	0,376246	0,403
	2,4318	1,9179	1,339647222	0,431646	
	2,3126	1,7834	1,273981481	0,399863	
5	2,2604	1,5773	1,245225175	0,266679	0,304
	2,4241	1,7538	1,335405392	0,313309	
	2,4589	1,8049	1,354576262	0,332446	
6	2,4997	1,6971	1,377052456	0,232415	0,227
	2,5703	1,7667	1,415945084	0,247718	
	2,2632	1,4962	1,246767659	0,200063	
7	2,0744	1,2341	1,142760177	0,079929	0,140
	2,2997	1,4547	1,266875038	0,148258	
	2,6228	1,7234	1,444866656	0,192774	
8	2,254	1,3247	1,241699498	0,066844	0,052
	2,2396	1,2729	1,233766724	0,031719	
	2,2795	1,3288	1,255747119	0,058175	
9	2,2868	1,295	1,259768594	0,027967	0,050
	2,3983	1,3955	1,321192505	0,056243	
	2,517	1,4786	1,386582802	0,066363	
10	2,0781	1,1497	1,144798459	0,004282	0,012
	2,4675	1,3908	1,359313891	0,023163	
	2,0301	1,1269	1,118355879	0,00764	
11	2,2363	1,2608	1,231948796	0,023419	0,028
	2,513	1,4286	1,384379254	0,031943	
	1,9367	1,0963	1,066903025	0,027554	
12	2,257	1,2714	1,243352159	0,022558	0,024
	2,7066	1,5307	1,491030994	0,026605	
	2,316	1,3045	1,275854497	0,022452	
13	2,0602	1,1571	1,13493758	0,019527	0,018
	2,2007	1,2304	1,212337216	0,014899	

	2,3787	1,3363	1,310395118	0,019769	
14	2,1036	1,1764	1,15884608	0,015148	0,015
	2,2776	1,2703	1,254700433	0,012433	
	2,1623	1,2119	1,191183152	0,017392	
D – 205°C					
1	2,3048	2,1377	1,269684562	0,683647	0,667
	1,9366	1,7632	1,066847936	0,652719	
	1,9603	1,7977	1,07990396	0,664685	
2	2,3206	2,0033	1,278388578	0,567051	0,557
	2,2428	1,9104	1,235529562	0,54622	
	2,3676	2,0316	1,304280271	0,557641	
3	2,3829	1,9087	1,312708844	0,454016	0,425
	2,2687	1,7861	1,249797538	0,429111	
	2,112	1,6204	1,163473531	0,392726	
4	2,274	1,6612	1,25271724	0,326077	0,347
	2,4076	1,8308	1,326315755	0,380365	
	2,293	1,6846	1,263184094	0,333614	
5	2,3674	1,5599	1,304170094	0,196086	0,191
	2,2973	1,5021	1,265552909	0,186912	
	2,3442	1,5376	1,291389513	0,190655	
6	2,0913	1,2703	1,152070169	0,102624	0,119
	2,1402	1,3029	1,179008547	0,105081	
	2,4204	1,5332	1,333367109	0,149871	
7	2,3438	1,3944	1,291169158	0,079951	0,084
	2,1158	1,2678	1,165566902	0,087711	
	2,3644	1,4106	1,302517432	0,08298	
8	2,2968	1,3669	1,265277465	0,080316	0,077
	2,3706	1,4189	1,305932932	0,086503	
	1,9701	1,1564	1,085302653	0,065509	
9	1,9075	1,1308	1,050817122	0,076115	0,065
	1,9642	1,1404	1,08205242	0,053923	
	2,2785	1,3384	1,255196232	0,066287	
D -220°C					
1	2,1019	1,8079	1,157909572	0,561348	0,558
	2,0082	1,7126	1,106291451	0,548055	
	2,2015	1,8958	1,212777926	0,563188	
2	2,2683	1,7108	1,249577183	0,369103	0,364
	2,1814	1,6203	1,201705095	0,348334	
	2,2678	1,7186	1,24930174	0,375648	
3	2,1153	1,4081	1,165291459	0,208367	0,229
	2,1482	1,4491	1,183415644	0,224506	
	2,415	1,6668	1,330392319	0,252864	
4	2,0498	1,4037	1,129208354	0,243083	0,196
	2,0707	1,3355	1,140721895	0,17075	
	2,1643	1,3989	1,192284926	0,173293	

5	2,1563	1,337	1,187877829	0,125537	0,121
	2,3705	1,4528	1,305877844	0,112508	
	2,0808	1,2896	1,146285854	0,125025	
6	2,0201	1,2144	1,112847008	0,091255	0,094
	2,0145	1,2177	1,10976204	0,097262	
	2,1073	1,2681	1,160884362	0,092357	
7	2,1629	1,2862	1,191513684	0,079467	0,069
	2,2475	1,3225	1,238118732	0,068153	
	2,0779	1,2142	1,144688282	0,060725	
8	2,2009	1,2589	1,212447393	0,038313	0,037
	2,3359	1,3336	1,28681715	0,036355	
	2,3636	1,3485	1,302076723	0,035653	
9	2,2706	1,2895	1,250844224	0,030904	0,036
	2,2368	1,2751	1,23222424	0,034795	
	2,2188	1,2732	1,222308272	0,041636	
D – 235°C					
1	2,1622	1,982	1,191128063	0,663969	0,663
	2,3431	2,155	1,290783537	0,669529	
	2,289	2,0882	1,260980546	0,656013	
2	2,1071	1,6968	1,160774185	0,461783	0,499
	2,3427	1,9157	1,290563183	0,484391	
	2,23	1,9044	1,228478208	0,550211	
3	1,8197	1,2972	1,002449235	0,294031	0,311
	2,4228	1,7693	1,334689238	0,325627	
	2,2311	1,6152	1,229084184	0,314149	
4	2,2263	1,4336	1,226439925	0,168912	0,135
	2,139	1,342	1,178347483	0,138883	
	1,8228	1,1017	1,004156985	0,097139	
5	1,8104	1,0345	0,997325985	0,037274	0,078
	2,4732	1,5201	1,362453948	0,115707	
	2,2612	1,3482	1,245665885	0,082313	
6	2,166	1,2332	1,193221434	0,033505	0,040
	2,3303	1,3301	1,283732183	0,03612	
	2,51	1,4507	1,382726593	0,049159	
7	2,1718	1,2493	1,196416579	0,044202	0,039
	2,2726	1,2973	1,251945998	0,036227	
	2,2035	1,2569	1,2138797	0,03544	

Tabla 20: datos obtenidos utilizados para el cálculo de variables de pérdida de humedad (productos terminados)

Muestra	Variación del área (%)	Promedio ±DE	Densidad real (g/cm ³)	Promedio ±DE	Variación del área (%)	Promedio ±DE	densidad real (g/cm ³)	Promedio ±DE
190°C				205°C				
A	-12,64	-13,31 ±1,01	1,545	1,63 ±0,11	-13,94	-14,48 ±2,26	1,413	1,44 ±0,04
	-15,08		1,586		-18,39		1,476	
	-13,19		1,569		-12,96		1,443	
	-12,89		1,816		-12,91		1,483	
	-12,78		1,62		-14,18		1,4	
B	-7,75	-6,65 ±0,57	1,4649	1,66 ±0,16	-8,10	-8,34 ±0,57	1,131	1,27 ±0,11
	-6,28		1,5263		-8,19		1,2638	
	-6,22		1,7912		-7,59		1,3945	
	-6,98		1,7982		-8,83		1,3836	
	-6,03		1,728		-8,97		1,2019	
C	-10,20	-10,14 ±1,01	1,426	1,44 ±0,08	-6,29	-5,45 ±0,60	1,468	1,29 ±0,11
	-9,23		1,534		-5,80		1,207	
	-10,85		1,386		-4,79		1,216	
	-9,05		1,489		-5,09		1,206	
	-11,38		1,348		-5,30		1,338	
D	-2,67	-2,77 ±0,30	1,36	1,36 ±0,09	3,53	3,72 ±0,46	1,0985	1,23 ±0,09
	-3,26		1,21		4,53		1,2167	
	-2,44		1,4179		3,44		1,3369	
	-2,68		1,42		3,68		1,2404	
	-2,79		1,4036		3,46		1,2812	
220°C				235°C				
A	-10,34	-10,26 ±1,00	1,658	1,54±0,13	-18,96	-20,77 ±3,24	1,545	1,52±0,06
	-11,43		1,35		-25,36		1,424	
	-10,09		1,62		-16,95		1,499	
	-10,74		1,449		-20,17		1,536	
	-8,72		1,6		-22,43		1,574	
B	-6,52	-6,79 ±0,40	1,5318	1,56±0,08	-5,98	-6,27 ±0,79	1,4424	1,40±0,13
	-6,90		1,6273		-7,33		1,572	
	-7,41		1,563		-6,71		1,236	
	-6,41		1,6534		-5,23		1,4431	
	-6,72		1,4375		-6,10		1,3001	
C	-4,94	-5,24 ±0,46	1,308	1,32±0,03	-8,68	-7,97 ±0,41	1,453	1,32±0,12
	-5,90		1,371		-7,96		1,407	
	-5,41		1,291		-7,70		1,359	
	-5,28		1,341		-7,70		1,203	
	-4,69		1,295		-7,79		1,196	
D	13,47	13,20 ±0,83	1,4773	1,37±0,11	4,21	4,32 ±0,40	1,15	1,10±0,04
	13,83		1,3965		4,86		1,0604	
	13,39		1,2398		4,46		1,059	
	11,73		1,49		4,29		1,1236	
	13,55		1,27		3,76		1,0922	

Propiedades fisicoquímicas de productos horneados

Tabla 21: datos de humedad, densidad aparente y real, porosidad, spread factor y acortamiento/expansión obtenidos a partir de los snacks horneados

Muestra	Tiempo (min)	Humedad	Promedio ± desvío estándar (DE)	densidad aparente (g/cm ³)	Promedio ± DE	densidad real (g/cm ³)	Promedio ± DE	porosidad (%)	Promedio ± DE	Spread factor	Promedio ± DE	Acortamiento/expansión (%)	Promedio ± DE
190°C													
A	14	2,17	2,09±0,07	0,28	0,31±0,03	1,54	1,63±0,11	82%	81,00±1,00	3,22	2,93±0,45	-12,64	-13,31±1,01
		2,01		0,27		1,59		83%		2,76		-15,08	
		2,10		0,33		1,57		79%		2,57		-13,19	
		2,10		0,34		1,82		81%		2,53		-12,78	
				0,30		1,62		81%		3,58		-12,89	
B	9	3,90	4,07±0,12	0,18	0,2±0,02	1,46	1,66±0,16	88%	88,48±0,51	14,99	13,93±0,91	-7,75	-6,65±0,71
		4,16		0,22		1,53		89%		14,56		-6,28	
		4,12		0,21		1,79		88%		14,08		-6,22	
		4,13		0,20		1,80		89%		13,19		-6,98	
				0,19		1,73		89%		12,84		-6,03	
C	8	3,31	3,44±0,16	0,244	0,25±0,02	1,426	1,44±0,08	83%	82,82±1,98	13,93	14,96±1,44	-10,20	-10,14±1,01
		3,42		0,222		1,534		86%		15,86		-9,23	
		3,67		0,269		1,386		81%		13,36		-10,85	
		3,37		0,240		1,489		84%		16,92		-9,05	
				0,252		1,348		81%		14,74		-11,38	
D	9	4,337		0,21	0,19±0,01	1,36	1,36±0,09	85%	85,81±1,01	8,32	8,47±0,44	-2,67	-2,77±0,30
		4,199		0,19		1,21		85%		8,99		-3,26	
		3,592		0,19		1,42		87%		8,89		-2,44	
		3,889		0,20		1,42		86%		8,06		-2,68	
				0,19		1,40		87%		8,10		-2,79	

Lic. Cazzaniga Amanda

205°C													
A	9	2,30	2,36±0,08	0,25	0,28±0,02	1,41	1,44±0,04	82%	80,75±1,37	2,31	2,70 ±0,36	-13,94	-14,47 ±2,26
		2,23		0,31		1,48		79%		3,20		-18,39	
		2,56		0,30		1,44		80%		2,53		-12,96	
		2,35		0,27		1,48		82%		2,51		-12,91	
				0,27		1,40		81%		2,95		-14,18	
B	6	3,61	3,62±0,09	0,22	0,22±0,02	1,13	1,27±0,11	80%	82,94±1,87	14,99	14,49 ±0,40	-8,10	-8,34 ±0,57
		3,57		0,23		1,26		82%		14,00		-8,19	
		3,56		0,21		1,39		85%		14,19		-7,59	
		3,75		0,23		1,38		83%		14,64		-8,83	
				0,19		1,20		84%		14,65		-8,97	
C	5	4,87	4,92±0,08	0,25	0,23±0,02	1,47	1,29±0,12	83%	82,87±0,67	13,66	14,00 ±1,38	-4,79	-5,46 ±0,60
		4,83		0,25		1,21		83%		12,17		-5,09	
		5,01		0,22		1,22		82%		16,03		-5,30	
		4,96		0,20		1,21		83%		14,20		-5,80	
				0,22		1,34		84%		13,93		-6,29	
D	7	5,95	6,04±0,15	0,22	0,2±0,02	1,10	1,23±0,09	80%	83,79±2,78	8,36	8,23 ±0,73	3,53	3,73 ±0,46
		6,27		0,19		1,22		85%		7,75		4,53	
		5,96		0,19		1,34		86%		8,31		3,44	
		5,96		0,22		1,24		83%		7,41		3,68	
				0,19		1,28		85%		9,32		3,46	
220°C													
A	9	5,60	5,59±0,03	0,23	0,27±0,02	1,66	1,54±0,13	82%	81,26±0,72	2,92	2,70 ±0,27	-10,34	-10,26 ±1,00
		5,58		0,26		1,35		81%		2,34		-11,43	
		5,55		0,26		1,62		81%		2,78		-10,09	
		5,62		0,29		1,45		80%		2,49		-10,74	
		0,29		1,60	82%	2,95		-8,72					
B	6	5,64	5,72±0,10	0,26	0,26±0,02	1,53	1,56±0,09	83%	83,41±1,96	13,02	12,88 ±0,51	-6,52	-6,79 ±0,40
		5,86		0,24		1,63		85%		12,07		-6,90	
		5,66		0,26		1,56		83%		13,14		-7,41	
		5,73		0,25		1,65		85%		12,76		-6,41	
		0,28		1,44	81%	13,43		-6,72					
C	5	6,24		0,24	0,24±0,01	1,31	1,32±0,03	82%	81,92±1,25	15,22		-5,41	

Crackers a partir de puré deshidratado de mandioca

Anexos

		6,14	6,46±0,32	0,24		1,37		82%		13,97		-5,28	
		6,73		0,25		1,29		81%		14,61	15,01	-4,69	-5,24
		6,74		0,22		1,34		84%		15,83	±0,73	-4,94	±0,46
				0,24		1,29		81%		15,42		-5,90	
D	7	4,76	4,84±0,09	0,23	0,25±0,02	1,48	1,37±0,12	84%	81,54±2,14	8,40	8,89	13,47	13,20
		4,58		0,28		1,40		80%		9,16	±0,31	13,83	±0,83
		4,91		0,25		1,24		80%		9,10		13,39	
		4,94		0,25		1,49		83%		9,00		11,73	
				0,26		1,27		80%		8,78		13,55	
235°C													
A	7	6,82	7,13±0,26	0,28	0,28±0,02	1,55	1,52±0,06	82%	81,08±0,94	5,04	4,95	-18,96	-20,77
		7,10		0,28		1,42		80%		4,65	±0,39	-25,36	±3,24
		7,47		0,27		1,50		82%		4,52		-22,43	
		7,14		0,30		1,54		80%		5,52		-16,95	
				0,24		1,57		81%		5,02		-20,17	
B	5	4,90	4,97±0,05	0,26	0,25±0,02	1,44	1,4±0,13	82%	81,9±2,79	12,12	11,97	-5,98	-6,27
		4,98		0,24		1,57		85%		11,12	±0,97	-7,33	±0,79
		4,99		0,28		1,24		78%		11,38		-6,71	
		5,01		0,23		1,44		84%		11,67		-5,23	
				0,24		1,30		81%		13,59		-6,10	
C	4,5	7,09	6,49±0,40	0,31	0,29±0,02	1,45	1,32±0,12	79%	78,23±1,36	15,50	15,46	-7,70	-7,74
		6,38		0,28		1,41		80%		15,51	±0,15	-7,79	±0,75
		6,23		0,31		1,36		77%		15,30		-6,59	
		6,27		0,28		1,20		77%		15,67		-7,96	
				0,26		1,20		78%		15,32		-8,68	
D	6	7,68	7,31±0,27	0,25	0,23±0,02	1,15	1,09±0,04	78%	79,00±1	8,69	9,27	4,21	4,32
		7,11		0,21		1,06		80%		9,38	±0,39	4,86	±0,4

Lic. Cazzaniga Amanda

Crackers a partir de puré deshidratado de mandioca

Anexos

	7,11	0,21	1,06	80%	9,11	3,76
	7,36	0,24	1,12	78%	9,67	4,46
		0,23	1,09	79%	9,51	4,29

1 **Datos de humedad utilizados durante la evaluación de las isotermas de sorción en los productos**
 2 **horneados**
 3

4 Tabla 22: datos de humedad de equilibrio a 10°C para las cuatro formulaciones,

a _w - 10°C	A		B		C		D	
	Humedad base seca	Promedio ± desvío estándar	Humedad base seca	Promedio ± desvío estándar	Humedad base seca	Promedio ± desvío estándar	Humedad base seca	Promedio ± desvío estándar
0,113	0,08923	0,0859± 0,003	0,05972	0,5720± 0,0031	0,06859	0,0673± 0,0018	0,01327	0,00995± 0,0028
0,113	0,08190		0,05287		0,06486		0,00646	
0,113	0,08657		0,05902		0,06859		0,01013	
0,234	0,09427	0,0941± 0,0001	0,06514	0,0678± 0,0033	0,06847	0,0668± 0,0017	0,02268	0,0320± 0,0068
0,234	0,09395		0,06580		0,06747		0,03861	
0,234	0,09419		0,07249		0,06442		0,03461	
0,431	0,10227	0,1025± 0,0028	0,07789	0,0842± 0,0045	0,08599	0,08187± 0,0029	0,04187	0,0505± 0,0062
0,431	0,09920		0,08846		0,07959		0,05646	
0,431	0,10614		0,08624		0,08003		0,05313	
0,622	0,13981	0,1341± 0,0058	0,11675	0,1155± 0,0036	0,11938	0,1205± 0,0044	0,06048	0,0648± 0,0058
0,622	0,13627		0,11916		0,12643		0,06085	
0,622	0,12612		0,11054		0,11577		0,07303	
0,721	0,17203	0,1658± 0,0047	0,16149	0,1554± 0,0043	0,16690	0,1687± 0,0025	0,09141	0,0863± 0,0037
0,721	0,16058		0,15240		0,17223		0,08305	
0,721	0,16481		0,15231		0,16694		0,08442	
0,757	0,18174	0,1796± 0,0021	0,17978	0,1761± 0,0027	0,18313	0,1837± 0,0018	0,10337	0,1079± 0,0068
0,757	0,17672		0,17507		0,18180		0,11755	
0,757	0,18037		0,17342		0,18610		0,10275	
0,868	0,24144	0,2425± 0,0017	0,24036	0,2310± 0,0075	0,29517	0,2907± 0,0034	0,16635	0,1587± 0,0057
0,868	0,24491		0,22195		0,29030		0,15274	
0,868	0,24107		0,23073		0,28679		0,15699	
0,982	0,35435	0,3338± 0,0153	0,71769	0,7070± 0,0078	0,45809	0,4553± 0,0111	0,40646	0,4062±0, 0010
0,982	0,32931		0,69925		0,46743		0,40730	
0,982	0,31775		0,70398		0,44055		0,40489	

5

6 Tabla 23: datos de humedad de equilibrio a 30 °C para las cuatro formulaciones

$a_w - 30^\circ\text{C}$	A		B		C		D	
	Humedad base seca (g de agua/g s.s.)	Promedio \pm desvío estándar	Humedad base seca	Promedio \pm desvío estándar	Humedad base seca	Promedio \pm desvío estándar	Humedad base seca	Promedio \pm desvío estándar
0,1128	0,07670	0,0774 \pm 0,0021	0,05696	0,0508 \pm 0,0045	0,06004	0,0595 \pm 0,0021	0,00425	0,0047 \pm 0,0009
0,1128	0,07521		0,04630		0,05672		0,00590	
0,1128	0,08032		0,04923		0,06170		0,00391	
0,234	0,08189	0,0839 \pm 0,0017	0,04919	0,0499 \pm 0,0013	0,05817	0,0550 \pm 0,0023	0,01595	0,0154 \pm 0,0020
0,234	0,08375		0,04872		0,05269		0,01754	
0,234	0,08615		0,05176		0,05409		0,01269	
0,432	0,08853	0,0917 \pm 0,0022	0,06941	0,0759 \pm 0,0046	0,06734	0,0654 \pm 0,0036	0,03224	0,0408 \pm 0,0061
0,432	0,09283		0,07925		0,06868		0,04462	
0,432	0,09365		0,07917		0,06034		0,04553	
0,5603	0,10502	0,1096 \pm 0,0036	0,09027	0,0951 \pm 0,0036	0,08400	0,0887 \pm 0,0070	0,03707	0,0467 \pm 0,0079
0,5603	0,11394		0,09903		0,09870		0,04687	
0,5603	0,10991		0,09589		0,08356		0,05632	
0,6789	0,13957	0,1427 \pm 0,0037	0,12811	0,1245 \pm 0,0026	0,13037	0,1267 \pm 0,0063	0,06941	0,0667 \pm 0,0024
0,6789	0,14064		0,12189		0,13194		0,06720	
0,6789	0,14781		0,12340		0,11774		0,06359	
0,7509	0,20284	0,1924 \pm 0,0080	0,15781	0,1567 \pm 0,0012	0,16473	0,1649 \pm 0,0065	0,09049	0,0948 \pm 0,0095
0,7509	0,18327		0,15712		0,17289		0,10790	
0,7509	0,19123		0,15507		0,15698		0,08595	
0,8362	0,21373	0,2210 \pm 0,0051	0,21613	0,2157 \pm 0,0013	0,21930	0,2176 \pm 0,0021	0,15031	0,1476 \pm 0,0067
0,8362	0,22530		0,21701		0,21466		0,13836	
0,8362	0,22384		0,21397		0,21888		0,15404	
0,97	0,31453	0,3163 \pm 0,0020	0,58431	0,5790 \pm 0,0047	0,35598	0,3460 \pm 0,0071	0,44983	0,4405 \pm 0,0073
0,97	0,31530		0,57276		0,33973		0,43961	
0,97	0,31918		0,57984		0,34230		0,43206	

7
8

9 Tabla 24: datos de humedad de equilibrio a 50 °C para las cuatro formulaciones

a_w - 50°C	A		B		C		D	
	Humedad base seca (g de agua/g s.s.)	Promedio \pm desvío estándar	Humedad base seca	Promedio \pm desvío estándar	Humedad base seca	Promedio \pm desvío estándar	Humedad base seca	Promedio \pm desvío estándar
0,111	0,05816	0,0543 \pm 0,0016	0,03113	0,0317 \pm 0,0018	0,02590	0,3000 \pm 0,0029	0,05602	0,0562 \pm 0,0024
0,111	0,05632		0,03417		0,03228		0,05342	
0,111	0,06034		0,02975		0,03182		0,05927	
0,189	0,07840	0,0813 \pm 0,0037	0,03029	0,0321 \pm 0,0027	0,04040	0,0420 \pm 0,0017	0,06807	0,0644 \pm 0,0029
0,189	0,08650		0,02997		0,04119		0,06086	
0,189	0,07890		0,03590		0,04432		0,06428	
0,4268	0,10900	0,1077 \pm 0,0011	0,03893	0,0462 \pm 0,0055	0,07175	0,0759 \pm 0,0029	0,09744	0,0952 \pm 0,0036
0,4268	0,10630		0,04719		0,07744		0,09004	
0,4268	0,10770		0,05235		0,07843		0,09807	
0,5093	0,11960	0,1189 \pm 0,0027	0,05412	0,0591 \pm 0,0035	0,08196	0,0872 \pm 0,0039	0,10788	0,1051 \pm 0,0020
0,5093	0,12180		0,06136		0,09136		0,10396	
0,5093	0,11520		0,06190		0,08833		0,10335	
0,6449	0,14990	0,1496 \pm 0,0017	0,089355	0,0804 \pm 0,0088	0,11708	0,1263 \pm 0,0110	0,10727	0,1105 \pm 0,0023
0,6449	0,15150		0,083485		0,11995		0,11251	
0,6449	0,14740		0,068389		0,14192		0,11188	
0,7443	0,21850	0,2056 \pm 0,0092	0,16329	0,1691 \pm 0,0049	0,131048	0,1435 \pm 0,0088	0,16310	0,1675 \pm 0,0068
0,7443	0,20060		0,16881		0,149833		0,16223	
0,7443	0,19760		0,17522		0,149669		0,17714	
0,812	0,27100	0,2761 \pm 0,0042	0,23525	0,3206 \pm 0,0049	0,19068	0,1939 \pm 0,0033	0,19028	0,1837 \pm 0,0065
0,812	0,27600		0,23280		0,19259		0,18595	
0,812	0,28140		0,22382		0,19848		0,17475	
0,958	0,60530	0,6076 \pm 0,0024	0,43655	0,4411 \pm 0,0032	0,41902	0,4212 \pm 0,0103	0,38177	0,3752 \pm 0,0135
0,958	0,60650		0,44364		0,40978		0,38733	
0,958	0,61095		0,44305		0,43484		0,35637	

10
11

12 **Propiedades texturales de los productos terminados y muestras comerciales**13 **Tabla 25: Datos de parámetros texturales obtenidos mediante la prueba de punción**

Muestra	Dureza (N/s)	Promedio \pm desvío estándar (DE)	Fracturabilidad (N/s,)	promedio \pm DE
A	3,58	5,93 \pm 167	64,467	52,37 \pm 11,99
	4,68		61,736	
	6,51		56,701	
	8,99		36,658	
	5,31		63,711	
	7,15		34,276	
	6,28		40,121	
	4,52		44,946	
	8,14		62,182	
	3,23		44,675	
	6,13		50,399	
	5,94		48,775	
	6,59		72,187	
B	8,88	13,21 \pm 2,60	61,636	79,25 \pm 15,68
	9,12		90,115	
	15,88		76,12	
	13,55		93,344	
	14,25		68,045	
	11,63		100,68	
	12,99		75,437	
	15,39		92,374	
	15,53		101,802	
	15,9		80,157	
	12,5		71,456	
	10,19		69,518	
15,98	49,627			
C	16,12	14,08 \pm 3,47	108,668	81,11 \pm 19,84
	8,94		100,299	
	9,95		69,266	
	14,07		86,666	
	16,19		53,314	
	11,26		81,765	
	18,17		107,011	
	19,46		76,098	
	13,23		91,161	
	9,57		72,398	
	17,56		98,704	
	12,57		48,967	
15,93	60,203			
D	18,51	21,18 \pm 4,35	83,28	125,99 \pm 27,80
	23,41		94,012	
	26,63		116,087	
	19,86		173,19	
	15,08		108,856	
	30,24		118,567	
	15,42		132,945	
	25,28		118,124	
	22,57		174,923	
	19,6		120,784	
18,2	136,716			

	19,96		153,332	
	20,65		107,075	
REX	15,38	14,95 ±0,85	35,183	41,62 ±4,48
	15,11		40,782	
	16,29		43,532	
	13,83		40,136	
	15,11		49,305	
	15,36		35,844	
	13,73		49,063	
	14,6		47,002	
	15		40,662	
	15,27		40,662	
	13,64		40,877	
	16,3		38,419	
	14,77		39,633	
kesitas	7,41	9,68 ±1,72	26,402	32,04 ±4,66
	11,97		35,42	
	11,01		36,308	
	9,91		34,133	
	7,17		30,429	
	11,06		25,438	
	8,95		35,325	
	8,05		30,998	
	10,32		40,6	
	7,73		27,994	
	12,07		36,267	
	11,01		30,3	
9,2	26,916			
Tostadas arroz	22,76	20,01 ±3,92	62,581	75,04 ±12,92
	20,13		88,172	
	15,3		79,529	
	15,93		85,269	
	16,42		60,202	
	23,51		86,427	
	20,17		77,981	
	14,04		86,891	
	21,39		65,98	
	17,83		84,549	
	21,24		65,027	
	27,3		84,247	
24,07	48,715			
Bagley maíz	21,02	21,06 ±3,92	34,522	31,57 ±2,14
	22,68		31,538	
	25,54		29,169	
	24,22		33,232	
	26,44		32,388	
	15,06		28,2	
	16,37		28,38	
	24,83		31,512	
	14,68		34,264	
	22,79		31,888	
	21,69		33,214	
19,11	29,466			
19,32	32,606			
Bagley arroz	22,3	18,95 ±2,04	27,241	29,47 ±2,68
	18,41		32,047	
	18,1		28,175	

Crackers a partir de puré deshidratado de mandioca

Anexos

	18,88		34,3	
	21,68		30,638	
	17,93		32,061	
	18,55		28,466	
	15,6		24,269	
	17,93		26,918	
	19,7		29,287	
	19,57		29,922	
	16,06		28,12	
	21,65		31,733	

14

15

16 Tabla 26: Parámetros texturales obtenidos mediante la de flexión de tres puntos (3PB)

Muestra	Dureza (N)	Promedio \pm desvío estándar (DE)	Fracturabilidad (mm)	Promedio \pm DE
A	33,41	26,69 \pm 5,85	2,50	3,31 \pm 0,95
	30,56		4,41	
	24,7		4,72	
	24,14		4,02	
	35,97		3,63	
	19,69		4,48	
	27,45		2,97	
	25,72		2,18	
	21,01		2,6	
	28,25		3,81	
	23,94		1,65	
	35,00		2,97	
	17,08		3,18	
B	13,59	14,85 \pm 2,70	2,20	2,0 \pm 0,33
	11,79		1,67	
	15,32		1,72	
	12,08		2,08	
	20,35		1,68	
	16,00		2,25	
	12,99		2,61	
	16,37		1,83	
	18,58		2,32	
	15,56		1,94	
	12,55		1,87	
	16,23		1,50	
	11,70		2,33	
C	25,56	29,81 \pm 5,47	2,48	2,73 \pm 0,35
	37,85		2,31	
	29,09		2,58	
	22,82		2,71	
	39,82		3,28	
	35,09		3,04	
	29,97		3,12	
	22,24		2,3	
	33,09		2,29	
	30,24		3,26	
	24,63		2,60	
	29,14		2,84	
	27,98		2,63	
D	54,76	49,10 \pm 7,36	3,65	4,24 \pm 0,59
	45,82		3,72	
	46,76		4,92	
	44,91		4,36	
	39,92		4,29	
	59,17		3,59	
	46,07		5,3	
	40,3		3,85	
	39,5		4,49	
	58,71		4,07	
	48,53		3,5	
	58,44		4,31	
	55,47		5,07	

REX	20,98	22,82 ±2,89	4,00	4,16 ±0,17
	21,76		4,36	
	22,53		4,12	
	24,74		3,86	
	21,25		4,01	
	22,9		4,34	
	20,16		4,23	
	19,75		4,36	
	24,16		4,22	
	31,23		3,92	
	22,38		4,29	
	22,26		4,22	
	22,51		4,13	
KESITAS	10,75	13,01 ±2,29	2,33	2,16 ±0,17
	15,88		1,91	
	14,97		2,11	
	13,81		2,24	
	16,43		1,95	
	11,5		2,04	
	9,32		2,23	
	15,46		2,11	
	12,82		2,33	
	11,86		1,86	
	14,17		2,26	
	10,28		2,33	
	11,86		2,36	
BAGLEY CON MAIZ-	7,84	6,95 ±0,79	3,41	3,72 ±0,22
	6,32		3,92	
	6,73		3,98	
	6,78		3,85	
	5,98		3,54	
	8,40		3,82	
	7,79		3,94	
	7,26		3,70	
	6,64		3,93	
	5,46		3,4	
	7,23		3,37	
	7,11		3,73	
	6,84		3,84	
BAGLEY CON ARROZ-	4,99	5,15 ±0,83	3,58	3,60 ±0,34
	5,34		3,96	
	5,04		3,35	
	5,56		3,71	
	6,39		3,91	
	5,44		3,23	
	4,46		4,32	
	5,49		3,48	
	4,29		3,27	
	3,71		3,91	
	6,11		3,61	
	6,09		3,26	
	4,04		3,25	
TOSTADAS DE ARROZ RIERA-	51,95	49,12 ±3,44	6,69	6,71 ±0,13
	51,79		6,82	
	52,02		6,39	
	47,12		6,77	
	43,63		6,94	

Crackers a partir de puré deshidratado de mandioca

Anexos

	43,58		6,77	
	55,66		6,78	
	49,34		6,58	
	50,31		6,66	
	47,62		6,71	
	49,30		6,73	
	46,58		6,74	
	49,72		6,72	

17

18

19 **Propiedades fisicoquímicas de las muestras elaboradas y comerciales**

20 Tabla 27: Densidad, porosidad y humedad de las muestras comerciales

Muestra comercial	Densidad aparente g/cm ³	Promedio ± DE	Densidad real g/cm ³	Promedio ± DE	Porosidad (%)	Promedio ± DE	Humedad b. s.	Promedio ± DE
Bagley Maíz	0,58668603	0,625 ±0,08	0,97272936	0,92 ±0,08	0,39686612	31,32 ±12,71	3,45441595	3,38 ±0,064
	0,733949511		0,81184043		0,09594363		3,32837581	
	0,515344909		0,86875168		0,40679837		3,36591204	
	0,646144754		0,93990071		0,31253935			
	0,640608543		0,99180695		0,35409956			
Bagley Arroz	0,40458199	0,456 ±0,055	1,10605119	1,23 ±0,08	0,63421043	62,89 ±3,32	4,76448561	4,78 ±0,051
	0,414371381		1,18651982		0,65076742		4,84213801	
	0,453910864		1,28958416		0,64801765		4,74507562	
	0,542802758		1,26388166		0,57052723			
	0,463198706		1,28927684		0,64072983			
Rex	0,852129753	0,901 ±0,057	1,00189708	1,11 ±0,10	0,14948375	23,62 ±10,93	0,45914589	0,47 ±0,016
	0,834103061		1,15569435		0,27826673		0,47167541	
	0,918594855		1,26666398		0,274792		0,49024229	
	0,930971815		1,06426247		0,3751867			
	0,971307083		1,08310497		0,10321981			
Kesitas	1,44116902	1,317±0,220	1,56956175	1,40±0,24	0,08180164	6,14 ±1,21	1,15617841	1,11 ±0,052
	1,053137965		1,11804995		0,05805822		1,05386991	
	1,160350568		1,22162779		0,05016031		1,11893701	
	1,32453363		1,40318957		0,05605511			
	1,605873964		1,71009524		0,06094472			
tostadas de arroz Riera	0,239023282	0,216 ±0,029	0,49420183	0,50 ±0,06	0,51634481	63,63 ±12,28	6,45977826	6,29 ±0,15
	0,173414577		0,44673819		0,61182057		6,22945768	
	0,200724646		0,58758008		0,65838759		6,17919135	
	0,228851351		0,44855117		0,84640849			
	0,239712982		0,53073967		0,54834169			

21

22 Tabla 28: Espesor de las muestras comerciales y elaboradas horneadas a 220°C

Muestra	espesor	Promedio \pm DE	Muestra	espesor	Promedio \pm DE
Bagley Maíz	3,883333333	3,92 \pm 0,07	A	10,29	11,22 \pm 0,93
	3,983333333			11,52	
	3,97			10,18	
	3,826666667			12,18	
	3,9455			11,94	
Bagley Arroz	3,94	3,81 \pm 0,08	B	2,68	2,71 \pm 0,11
	3,73			2,89	
	3,753333333			2,69	
	3,84			2,68	
	3,7744			2,61	
Rex	4,23	4,21 \pm 0,03	C	2,76	2,66 \pm 0,1
	4,246666667			2,65	
	4,203333333			2,75	
	4,193333333			2,52	
	4,1655			2,61	
Kesitas	3,313333333	2,75 \pm 0,34	D	4,42	4,21 \pm 0,13
	2,61			4,21	
	2,456666667			4,09	
	2,533333333			4,13	
	2,8188			4,18	
Tostadas de Arroz Riera	8,033333333	7,932 \pm 0,09			
	8,016666667				
	7,876666667				
	7,823333333				
	7,9112				

23

24 **Propiedades auditivas de las muestras elaboradas y comerciales**

25 Tabla 29: Propiedades auditivas halladas para los productos horneados

Muestra	numero de picos	Promedio \pm DE	valor promedio	Promedio \pm DE	valor máximo	Promedio \pm DE	valor mínimo	Promedio \pm DE
A	64	36,61 \pm 16,49	73,46447527	74,10 \pm 1,19	80,24507897	83,86 \pm 3,95	54,72673001	63,57 \pm 6,11
	69		74,7195036		85,39324089		66,81384654	
	50		75,29357659		93,54071948		54,60308537	
	48		76,52155738		88,49676154		56,79289027	
	32		73,89433385		84,70705776		55,34847297	
	42		73,09471482		82,99071051		63,15741334	
	24		75,56149757		82,75035512		70,41670685	
	23		73,94794289		79,61463304		70,05120216	
	28		72,32379787		84,02744699		67,87582067	
	29		74,57877986		82,94436031		67,11390711	
	24		73,09100142		78,14771089		69,54235037	
	B		13		17,38 \pm 5,71		72,77110486	
14		72,8534231	79,95240782	68,97805842				
18		72,22615579	77,83151887	69,07272845				
17		72,32267284	77,83581138	69,06684171				
9		72,66797273	77,80141177	68,56378601				
29		71,33799948	81,55702837	68,80379398				
22		74,02394894	84,2034304	71,3253007				
9		74,21733377	80,88586865	69,78967175				
14		73,99649327	79,19006026	70,58643653				
17		75,16212449	84,13512685	68,53253052				
23		73,96361095	80,92504865	67,65002272				
21		73,4337245	85,03353292	68,45705526				
20		72,48362322	78,31784703	68,87030651				
C		22	33 \pm 12,56	74,57140943		74,29 \pm 0,52	86,05502175	84,32 \pm 2,40
	25	74,63726824		80,22065524	66,61309705			
	39	73,57279915		82,60164365	46,75257017			
	24	73,82465138		80,57216462	69,7625368			
	43	74,42311173		85,94943221	52,81151844			
	56	74,60749652		87,57972506	55,26233121			
	28	73,99892698		82,07793098	68,27835322			
	15	74,39579993		83,56956383	68,9542288			
	39	74,4996268		86,67536175	66,4315589			

	16		74,83657714		84,3516312		67,09914774	
	48		73,1189589		86,99886053		47,48910353	
	33		74,89273158		85,26282784		66,03166809	
	41		74,33970938		84,20446118		63,51059324	
D	38	58,92± 16,35	75,05370513	75,46± 0,1	87,98188664	88,35± 2,45	54,60308537	57,45 ±6,01
	69		75,36575146		88,91296843		57,37762579	
	54		75,62374802		87,00707555		59,24314036	
	45		76,73588403		91,00810357		63,06389007	
	59		75,10511239		85,38874532		56,24359932	
	61		74,58715353		86,27867685		54,22122653	
	59		76,96356956		90,21732724		68,37454345	
	30		75,30386911		89,72658838		62,93362889	
	73		75,82321034		86,36188882		48,64980147	
	60		75,82409576		86,58806565		64,24866951	
	49		75,71386814		90,2353622		54,50918294	
	83		74,91692499		85,49333662		47,76707572	
	86		73,95461696		93,39203893		55,68474295	

27 Tabla 30: Propiedades auditivas halladas para los productos comerciales

Muestra	numero de picos	Promedio \pm DE	valor promedio	Promedio \pm DE	valor máximo	Promedio \pm DE	valor mínimo	Promedio \pm DE
kesitas	3	6,08 \pm 3,62	72,1991718	73,71 \pm 1,66	74,2892753	76,75 \pm 2,70	69,3449994	70,37 \pm 1,58
	11		74,4558239		80,4189314		69,8544518	
	6		75,3717147		79,0400604		70,4015702	
	2		72,0224689		73,8013434		70,2435943	
	7		73,4205335		77,5234221		71,0485097	
	8		74,4192445		75,8238074		73,0045041	
	4		72,8410145		75,6240601		71,2752116	
	4		75,7316874		77,8272242		70,1786254	
	2		70,2539858		71,2431856		69,2647861	
	14		72,7247815		76,2539029		67,1873301	
	4		75,1356717		79,049395		70,8733182	
	9		75,7149067		80,4792834		72,6415045	
	5		73,9782353		76,3358942		69,2705403	
	Rex		8		8,23 \pm 2,49		73,2877753	
4		71,0870286	71,7808119	69,8490719				
6		73,5138713	77,8751269	70,842157				
7		73,7186821	76,8339242	71,6111347				
7		72,5603176	76,8387389	69,5923812				
11		75,3236701	80,9879684	69,4808076				
12		76,4588598	84,8441046	68,3617795				
7		73,4913674	77,2293404	71,4021475				
5		72,6506167	74,9956832	70,7188983				
10		74,4174597	78,1414986	68,6815416				
11		75,1586619	82,0700275	66,867111				
9		71,5582524	71,5582524	71,5582524				
10		75,3189658	80,4634419	71,5494073				
tostadas		24	21,38 \pm 2,39	78,2251613		77,26 \pm 1,06	95,9997349	90,99 \pm 2,65
	18	79,1985606		89,4114712	71,2156405			
	22	77,6977304		90,3198834	68,6259616			
	20	76,3962993		90,313764	66,4713477			
	24	76,2768034		91,3877341	69,1313775			
	19	76,1908013		90,4162027	54,1230798			
	25	76,4962296		86,4697597	67,7670757			
	21	78,1445223		93,628582	63,998998			
	22	76,7902256		89,6886482	63,7808254			
	21	76,343597		89,4245819	67,0132586			
	20	78,7118259		86,8659214	61,6272219			
	19	76,6115259		93,8507521	60,9450247			
	23	77,3309571		92,7005572	65,88323			

28

**Formulario de autorización de depósito de tesis/trabajo final integrador en la
 Comunidad _____ del RIDUNaM
 (Repositorio Institucional Digital de la UNaM)**

Por intermedio de la presente, el abajo firmante, AUTOR de la Tesis/TFI (Trabajo Final Integrador) titulada/o DESARROLLO DE PRODUCTOS CRACKERS NORNEADOS A PARTIR DE PURÉ DESHIDRATADO DE MANDIOCA

Da FE de la autoría y originalidad de la obra mencionada, que fue dirigida por DR. ANDRÉS RATION LINARES - Dra. MARIA MARCELA BROUSSE

presentada y defendida en la Facultad de FCEQYN de la Universidad Nacional de Misiones (FCEQYN-UNaM), el 28.1.06.1.2022, Acta N°....., con el fin de obtener el título de

Tildar según corresponda

- Tesis de Posgrado
 Doctorado Maestría Trabajo Final Integrador
 Otra

Derechos patrimoniales

Como autor, expreso mi conformidad en cuanto a la cesión gratuita de los derechos de reproducción y circulación de esta obra, en forma NO EXCLUSIVA, a la FXX-UNaM. Dicha reproducción y circulación se podrá realizar, una o varias veces, en cualquier soporte, para todo el mundo, con fines sociales, educativos y científicos.

En virtud del carácter no exclusivo de esta cesión, el autor podrá reproducir y comunicar libremente la tesis o trabajo final integrador, a través de los medios que estime oportunos.

Condiciones de acceso en línea

- Autorizo el depósito de la tesis o trabajo final integrador en forma inmediata
 Autorizo el depósito del documento con embargo por el plazo de _____ meses a partir de la defensa de la misma.

Condiciones de uso de la tesis/TFI

Será puesta a disposición pública bajo las siguientes condiciones de uso:

	(BY) Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciantc (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).
	(NC) No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.
	(SA) Permite trabajos derivados — Siempre que se mantenga la misma licencia.

 CC BY NC SA	Reconocimiento – NoComercial – CompartirIgual (by-nc-sa): No se permite un uso comercial de la obra original ni de las posibles obras derivadas, la distribución de las cuales se debe hacer con una licencia igual a la que regula la obra original.
--	---

Referencias:
 CC (Licencias Creative Commons).
 BY (Atribución).
 NC (No comercial).
 SA (Compartir igual).

Dados personales (llenar un cuadro por cada autor)

Apellido y Nombres	Cazzaniga Amanda
Teléfono/Celular	0376482667
Correo electrónico	amandacazzaniga@gmail.com
Apellido y Nombres	
Teléfono/Celular	
Correo electrónico	
Apellido y Nombres	
Teléfono/Celular	
Correo electrónico	

Se firma la presente en la Ciudad de Posadas a los...28..... días del mes de...Junio..... de...2022.....-



Amanda Cazzaniga

33407780
