

División de Estudios de Posgrado

Facultad de Química

Programa de posgrado en Alimentos del Centro de la
República (PROPAC)

**Modificación de la pulpa de café mediante extrusión y su aprovechamiento
en productos de panificación**

TESIS

**Que como parte de los requisitos para obtener el título de
Maestría en Ciencia de los Alimentos**

**Presenta
L.G. Carlos Isac Rivas Vela**

**Dirige
Dr. Eduardo Castaño Tostado**

antiago de Querétaro, Qro., México
Noviembre, 2018



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Química
Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos

**Modificación de la pulpa de café mediante extrusión y su aprovechamiento
en productos de panificación**

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de
Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Presenta:

L.G. Carlos Isac Rivas Vela

Dirigido por:

Dr. Eduardo Castaño Tostado

Dr. Eduardo Castaño Tostado
Presidente

Firma

Dra. Silvia Lorena Amaya Llano
Secretario

Firma

Dra. Rosalía Reynoso Camacho
Vocal

Firma

Dra. Minerva Ramos Gómez
Suplente

Firma

Dr. Sergio de Jesús Romero Gómez
Suplente

Firma

Dra. Silvia Lorena Amaya Llano
Directora de la Facultad

Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña
Directora de Investigación y Posgrado

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Noviembre de 2018

RESUMEN

Durante la producción del café son generados subproductos que no son manejados de manera eficiente, dando como resultado su acumulación y subsecuente contaminación al ambiente. Uno de estos subproductos es la pulpa de café, que representa hasta el 40% del peso de la cereza de café en fresco, de la que se ha reportado un importante contenido de fibra y compuestos fenólicos que resultan de interés para su aprovechamiento. En este proyecto se propuso la aplicación de extrusión para la modificación de la pulpa de café y evaluar en qué condiciones se obtienen las mejores propiedades funcionales para un proceso de panificación, empleando un diseño experimental 2^3 con puntos al centro teniendo como variables la temperatura, humedad y revoluciones por minuto del extrusor. Se realizó la caracterización proximal, contenido de ácido fítico, cafeína y compuestos fenólicos de la pulpa de café, se prosiguió con la aplicación de los tratamientos de extrusión evaluando su efecto en las características de panificación con los métodos de índice de absorción de agua (IIA) y capacidad de retención de solvente (SRC). Se seleccionaron dos tratamientos (120 °C, 40 %H, 15 rpm: 110 °C, 35%, 17.5 rpm), los cuales generaron las mejores respuestas en las propiedades funcionales y en el contenido de compuestos fenólicos, cafeína y de ácido fítico respecto al control. Finalmente, se seleccionó el tratamiento con condiciones de 110 °C, 35 %H y 17.5 rpm para las formulaciones de productos de panificación. Se generaron 4 formulaciones, dos con base de trigo y dos libres de gluten, las cuales fueron evaluadas sensorialmente por 50 consumidores empleado el método "Flash profiling", logrando obtener formulaciones con buena aceptación. La harina de pulpa de café obtenida por extrusión podría considerarse como un ingrediente para productos de panificación dadas sus características sensoriales y de interés por su contenido de compuestos fenólicos, cafeína y fibra dietaria.

(**Palabras clave:** Pulpa de café, extrusión, harinas, compuestos fenólicos, panificación, Flash profiling)

Abstract

During the coffee production process, several products derived from coffee are not efficiently used and managed causing accumulation and subsequent contamination of affluent and lands near the coffee plantation. One of these derivatives is coffee pulp, which accounts for up to 40 % of the total weight of the coffee cherry, and has an important content of fiber and phenolic compounds. In this research project, the application of extrusion was proposed for the modification of coffee pulp evaluating the conditions under which the best functional properties for a baking process are obtained; an experimental design 2^3 with central points was used having the temperature, moisture and rpm as factors. Proximal characterization, phytic acid content, caffeine and phenolic compounds of coffee pulp flour were performed, extrusion treatments were continuously evaluated in their effects on the baking characteristics by the water absorption index (WAI) and the solvent retention capacity (SRC) methods. Two treatments were selected (120 °C, 40 %H, 15 rpm: 110 °C, 35 %, 17.5 rpm) which generated the best responses in the functional properties and in the content of phenolic compounds, caffeine and phytic acid with respect to control flour. Finally, the treatment with 110 °C, 35 %H y 17.5 rpm was selected for the bakery product formulations process. Four formulations were proposed, two with wheat flour and two gluten-free added, which were sensory evaluated by fifty consumers using the “Flash profiling” method, achieving formulations with good acceptance. The obtained coffee pulp flour by extrusion could be considered as an ingredient for bakery products given its sensory characteristics and its content of phenolic compounds, caffeine and dietary fiber.

(Key words: *Coffee pulp, extrusion, flour, phenolic compounds, baking, Flash profiling*)

“Podemos juzgar el progreso por la valentía de las preguntas y la profundidad de las respuestas; por la osadía de encontrar la verdad más que en regocijarnos en lo que nos hace sentir bien”

-Carl Sagan

AGRADECIMIENTOS

A mis padres y hermana.

Por qué jamás habrá forma suficiente de demostrar lo agradecido que estoy por lo que han dado por mí, porque por ello soy lo que soy, este logro es y de ustedes.

A mis amigos de generación

En especial al team Probioticos, a Humberto por ser mi mejor amigo en esta travesía, a Rebeca e Itzel por ser mis soportes y proveedoras de risas, platicas, cafés y ricas comidas. A Bety, Vanessa y Raúl, por compartir su valioso tiempo conmigo. A Elisa, por tu bonito tiempo para explicarme tantas cosas. A Daniela y Delia por su buena vibra día a día. Y no puedo terminar, sin mencionar a Karen, mi compañera de aventuras y de experimentos finales.

A todos mis compañeros de IDEA

Sin dudar un poco, puedo decir que me siento realmente afortunado de haber llegado a este laboratorio, que para mí es el mejor de todos. Por lo aportado por cada persona, por cada amistad brindada. A Lucy (por ser la mamá del laboratorio) junto con Manuel por ser prácticamente mis guías desde el primer día, les agradezco cada pregunta resuelta, paciencia y la fortuna de tenerlos como doctores y amigos. A Araceli y Lili, si bien fue un corto tiempo, fue suficiente para enseñarme todas las técnicas de laboratorio que pudieron. A Alma por ser mi tema musical y gran compañera de laboratorio. A Karina, mi compañera foodie, por cada plática, discusión sobre ciencia y duda resuelta con gran disposición. A Tana, que llegaste algo tarde pero me siento afortunado, porque de ti he aprendido muchas cosas, he ganado una gran amiga y persona que desborda pasión por lo que hace.

Al Dr. Eduardo Castaño

Por la gran disposición, oportunidades y enseñanzas que me ha brindado desde el inicio de este gran trayecto, las cuales me han ayudado a crecer tanto en el ámbito profesional como personal. Por ser un ejemplo de dedicación y pasión por la ciencia, espero seguir colaborando con usted, y en lo posible, en un futuro ser nuevamente parte de mi proceso de doctorado.

A mis asesores

Por todo lo otorgado en esta trayectoria, tanto observaciones, información y correcciones cuando las necesite. Así mismo agradezco profundamente a cada académico de la facultad por sus aportaciones y conocimiento brindado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)

Por la beca otorgada para realizar los estudios de maestría CVU: 767500

Al personal administrativo de la facultad de Química

Por todas las atenciones brindadas, en especial a Carmelita por ser nuestra gran guía en este proceso y su grandiosa labor.

En fin, a persona y circunstancia presente en este camino. Por cada ser involucrado, tanto efímeros como perennes, hoy soy el resultado de la suma de esas experiencias y momentos. ¡Gracias infinitas, este logro es de todos!

TABLA DE CONTENIDOS

	Página
RESUMEN	III
ABSTRACT	IV
AGRADECIMIENTOS	VI
ÍNDICE DE TABLAS	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	X
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
2.1 GENERALIDADES	3
2.1.1 Cultivo de café	3
2.1.2 Proceso de producción de café	4
2.1.3 La pulpa de café	6
2.2 HARINAS Y PRODUCTOS DE PANIFICACIÓN	8
2.2.1 Harina	8
2.2.2 Panificación	10
2.3 EXTRUSIÓN	15
2.3.1 Variables en la extrusión	17
3. JUSTIFICACIÓN	21
4. OBJETIVOS	23
4.1 OBJETIVO GENERAL	23
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
5. MATERIALES Y MÉTODOS	24
5.1 MATERIA PRIMA	24
5.1.1 Pulpa de café	24
5.1.2 Harina y almidones	24

5.1.3	Levadura	25
5.1.4	Mejoradores de productos de panificación	25
5.2	MÉTODOS	25
5.2.1	Diseño experimental del proceso de extrusión	26
5.2.2	Formulación de los panes de caja	27
5.2.3	Evaluación sensorial Flash profiling	30
5.2.4	Métodos para la caracterización bromatológica	31
5.2.5	Determinación de fibra dietaria	35
5.2.6	Métodos para la caracterización funcional de la harina de pulpa de café extrudida	36
5.2.7	Análisis de textura	38
6.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	38
7.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	39
7.1	CARACTERIZACIÓN DE LA PULPA DE CAFÉ	39
7.2	ANÁLISIS DE LOS EFECTOS DE LOS TRATAMIENTOS DE EXTRUSIÓN	40
7.2.1	SRC sacarosa (Pentosas)	42
7.2.2	SRC carbonato de sodio (Almidón dañado)	45
7.2.3	SRC agua (General)	47
7.2.4	Índice de Absorción de Agua (IAA)	48
7.2.5	Análisis fisicoquímicos de las harinas extrudidas	53
7.2.6	Selección de harina para las formulaciones	59
7.3	RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS SENSORIALES FLASH PROFILING DE ACEPTACIÓN DE PRODUCTOS FORMULADOS.	62
7.3.1	Productos formulados con harina de pulpa de café (PC) y harina de trigo	62
7.3.2	Productos formulados libres de gluten	65
7.4	CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y PROXIMAL DE LOS PRODUCTOS DE PANIFICACIÓN MEJOR EVALUADOS	68
8.	CONCLUSIONES	72
9.	PERSPECTIVAS	73
10.	REFERENCIAS	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química (%) de la pulpa de café por cada 100 gramos.....	7
Tabla 2. Componentes orgánicos presentes en la pulpa de café.....	7
Tabla 3. Contenido de minerales en la pulpa de café	8
Tabla 4. Parámetros de especificaciones sanitarias	9
Tabla 5. Parámetros microbiológicos especificados para las harinas	10
Tabla 6. Harinas sin gluten disponibles en el mercado latinoamericano	14
Tabla 7. Efectos de los principales parámetros de la extrusión.....	19
Tabla 8. Ingredientes de la formulación de pan de caja	27
Tabla 9. Ingredientes de la formulación de pan de caja libre de gluten.....	27
Tabla 10. Métodos de análisis de materias primas y tratamientos	32
Tabla 11. Composición proximal de la pulpa de <i>Coffea arabica</i> var. Caturra roja.	39
Tabla 12. Compuestos de interés en la pulpa de café	40
Tabla 13. Propiedades de pasta de las harinas extrudidas y el control.....	55
Tabla 14. Caracterización proximal de la harina obtenida del tratamiento 12	61
Tabla 15. Resumen de las evaluaciones sensoriales de los productos formulados con harina PC y trigo	65

Tabla 16. Resumen de las características de los productos formulados con harina PC libres de gluten	68
Tabla 17. Análisis de perfil de textura de los productos mejor evaluados	70
Tabla 18. Caracterización proximal de los productos formulados mayor aceptación (por cada 100 g)	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principales estados productores de café (SIAP, 2017)	4
Figura 2. Proceso de beneficiado por vía seca y húmeda (Asociación Nacional del Café, 2010).....	5
Figura 3. Estructura de la cereza del café (Tambre, 2004).	6
Figura 4. Diagrama de flujo de elaboración de pan (Mesas, 2002).	12
Figura 5. Esquema general de una maquina extrusora (Llopart, 2011).	17
Figura 6. Esquema general del proyecto de investigación	25
Figura 7. Esquema del proceso de panificación.....	30
Figura 8. Condiciones de los 20 tratamientos de extrusión	41
Figura 9. Análisis de los tratamientos sobre la respuesta de SRC sacarosa por ajuste de mínimos cuadrados	42
Figura 10. Análisis de los factores en la respuesta SRC sacarosa	42

Figura 11. Interacciones de los factores de extrusión en la respuesta SRC sacarosa	43
Figura 12. Proyección 3D de la respuesta SRC sacarosa en función de la temperatura y la humedad.....	43
Figura 13. Análisis de los tratamientos sobre la respuesta de SRC Carbonato por ajuste de mínimos cuadrados.....	45
Figura 14. Análisis de los factores en la respuesta SRC Carbonato	45
Figura 15. Gráfica de respuesta SRC Carbonato en función de la temperatura ...	46
Figura 16. Análisis de los tratamientos sobre la respuesta de SRC agua por ajuste de mínimos cuadrados	47
Figura 17. Análisis de los factores en la respuesta SRC Agua	48
Figura 18. Análisis de los tratamientos sobre la respuesta de IAA por ajuste de mínimos cuadrados	48
Figura 19. Análisis de los factores en la respuesta IAA	49
Figura 20. Perfil de interacciones de los factores de extrusión en la respuesta IAA	49
Figura 21. Proyección 3D de la respuesta IAA ante los factores de humedad y temperatura	50
Figura 22. Tabla resumen de los tratamientos y las respuestas obtenidas.....	51
Figura 23. Star-plot de los 20 tratamientos de extrusión	51
Figura 24. Gráfica de análisis de viscosidad	53

Figura 25. Contenido de compuestos fenólicos totales en los tratamientos seleccionados y control (mg EAG/g PC)	56
Figura 26. Contenido de cafeína en los tratamientos seleccionados y control	57
Figura 27. Contenido de ácido fólico en los tratamientos seleccionados y control.	58
Figura 28. Contenido de azúcares reductores en los tratamientos seleccionados y control.....	59
Figura 29. Star-plot de las determinaciones en las harinas extrudidas y control...	61
Figura 30. Proyección del análisis Procrusteano generalizado (GPA) de las evaluaciones a los productos formulados con harina PC y trigo	63
Figura 31. Proyección del análisis de factores múltiples (MFA) de las evaluaciones a los productos formulados con harina PC y trigo	64
Figura 32. Proyección GPA de los productos formulados con harina PC libres de gluten.....	66
Figura 33. Proyección MFA de las evaluaciones de las formulaciones con harina PC libres de gluten	67
Figura 34. Corte transversal y hogazas de los productos mejor evaluados	69

1. Introducción

La agroindustria del café se ha expandido en muchos países, logrando ser una importante fuente de empleo e ingresos. En México esta industria es una de las principales actividades agrícolas generadoras de divisas y empleos en el medio rural (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2017).

Existen dos vías principales por las cuales puede obtenerse el café en grano, denominadas como beneficio húmedo y beneficio seco. El beneficio seco consiste en el deshidratado al sol de las cerezas frescas de café para después pasar a un proceso de descascarillado obteniendo así el café en pergamino y como residuo la cascarilla seca. Durante el beneficio húmedo, los residuos por la separación de partes constitutivas son generados durante el despulpado, la fermentación (mucílago) y el trillado. Ambos procesos son generadores de subproductos por la separación de partes constitutivas de la cereza de café y que debido a tasa de generación de estos, su mal manejo o nulo aprovechamiento provocan la contaminación de afluentes y tierras aledañas al cafetal (Lopez *et al.*, 2011).

Actualmente, resulta preocupante el impacto ambiental por el efecto negativo de la acumulación de este tipo de residuos agroindustriales puesto que compromete el estado de los cuerpos de agua, tierras de cultivo y la calidad de vida de las personas cercanas al cafetal. Por ello, se busca generar tecnologías y métodos que permitan el aprovechamiento de estos materiales para un desarrollo sustentable en el campo mexicano. Un ejemplo de las alternativas de aprovechamiento de estos subproductos es su aplicación en la industria de panificación mediante la obtención de harinas.

Los productos de panificación son ampliamente consumidos en los hogares mexicanos. El pan nos proporciona energía que requerimos para el desarrollo y manutención de nuestros tejidos, éste es considerado un alimento completo, puesto que contiene casi todos los nutrimentos indispensables: hidratos de carbono,

grasas, proteínas, minerales, vitaminas y fibra (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2013). Según datos reportados por la Asociación Nacional de Proveedores Profesionales de la Industria del Pan, Repostería y Similares (ANPROPAN) en 2016 del gasto total destinado a la compra de pan, la adquisición de pan blanco (bolillo, telera, baguette, pan de caja) fue del 55 % de un nivel socioeconómico medio, 28 % de nivel socioeconómico medio alto y 7 % en el alto, siendo el principal punto de compra las panaderías tradicionales con un 79% de las compras de productos de panificación en general. La industria de la panificación es una de las ramas más productivas del sector alimentario, siendo la tercer fuerza empleadora de mano de obra en el país después de la construcción y automotriz (ANPROPAN, 2016). Además, las ventas de productos de panificación ascienden hasta 116 mil millones de pesos repartidas entre panes blancos y panes dulces (CANAINPA, 2015).

Ante el crecimiento de panaderías en tiendas de autoservicio y supermercados, se hacen esfuerzos por parte de las panaderías tradicionales para la innovación de nuevos modelos de negocio que permitan mantener a los clientes actuales e incorporar nuevos mediante la producción de productos para grupos especiales (diabéticos, celíacos o deportistas), personas que busquen una alimentación especial, con imagen, calidad y sanidad (CANIMOLT, 2014).

La propuesta en este trabajo fue desarrollar una harina a partir de la pulpa de café, para la producción de productos de panificación y derivados, otorgando así un valor agregado a la actividad de la caficultura y una alternativa sustentable a los desechos derivados.

2. Antecedentes

2.1 Generalidades

El cafeto pertenece al género *Coffea* y a la familia de las *Rubiaceas* con alrededor de 100 especies conocidas, tres de las cuales se cultivan de manera comercial: *Coffea arabica* L., *Coffea canephora* y *Coffea Liberica* (Davis *et al.*, 2006). El desarrollo de la drupa de café, también conocida como cereza de café, comienza desde la floración del cafeto en el cual transcurren de 220 a 240 días en promedio en llegar al estado de maduración óptimo para la cosecha de la cereza (Arcilla, 2007). En México, la producción cafetalera se centra en la especie *Coffea arabica*, dentro de esta especie existen variedades con diferentes características de adaptación, morfología y particularidades de los frutos, siendo predominante la criolla o mejor conocida como Typica, seguida del Bourbon, Caturra rojo, Caturra amarilla y Garnica (Lopez-García *et al.*, 2016).

2.1.1 Cultivo de café

La producción de café a nivel mundial durante el 2015 fue de 152.6 millones de sacos de café verde (United States Department of Agriculture, 2015). México se posicionó en el onceavo lugar a nivel mundial, como uno de los principales países productores de café y en la posición seis en cuanto a la producción de la especie Arábica, con una producción de un millón de toneladas de café en cereza durante el 2015 (FIRA, 2015). El cultivo del café mexicano se concentra principalmente en 12 estados: Chiapas, Veracruz, Puebla, Oaxaca, Guerrero, Hidalgo, San Luis Potosí, Nayarit, Colima, Jalisco, Querétaro y Tabasco, con un ciclo cafetalero que inicia en octubre y termina en septiembre (Figura 1). En conjunto, los principales estados dedicados a la caficultura, Chiapas, Veracruz y Puebla, producen cerca de 662,303 toneladas de cereza de café, generando así el 80 % de la producción nacional (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2017)

Porcentaje de valor de la producción por entidad federativa

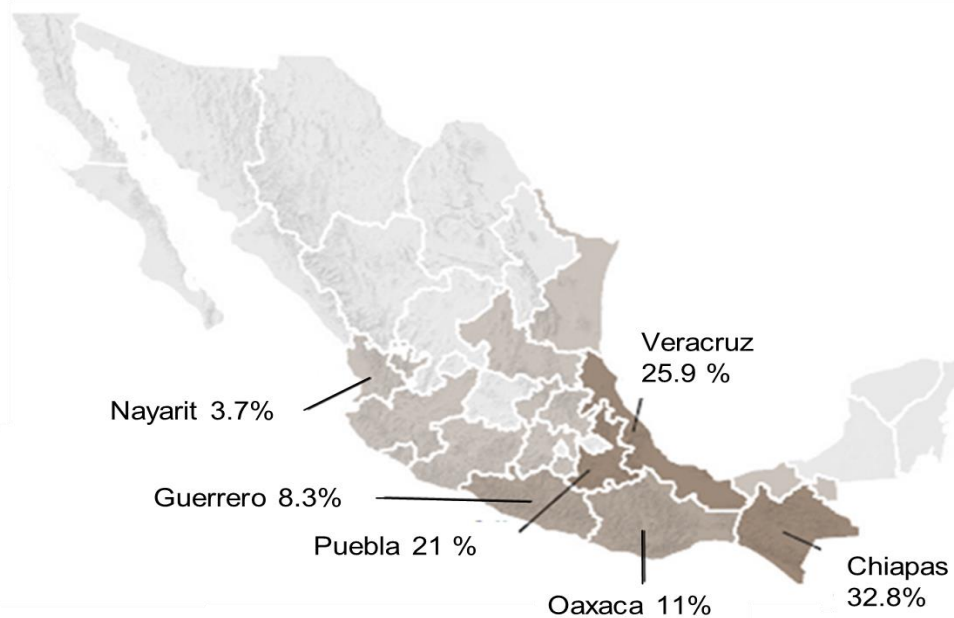


Figura 1. Principales estados productores de café (SIAP, 2017)

Tan sólo en México se producen hasta 300,000 toneladas de residuos de pulpa por año, de las cuales sólo se aprovecha únicamente un pequeño porcentaje para la obtención de biocombustible, fertilizantes, alimento para ganado y cultivo de hongos comestibles, entre otros productos (Lopez *et al.*, 2011; SIAP, 2017).

2.1.2 Proceso de producción de café

La producción del grano de café comienza con la cosecha manual de la drupa madura o cereza del café. Para después pasar a un proceso denominado beneficiado, el cual se puede dar por dos vías o modalidades: la húmeda y la seca, siendo la primera la mayormente usada en México, puesto que la tasa de producción por parte de las asociaciones cafetaleras necesita de un proceso continuo y de mayor velocidad, característica que el beneficio seco no cuenta por su lento secado al sol (Adams y Dougan, 1987).

En la Figura 2 se muestra esquemáticamente ambos procesos por los que la cereza de café es transformado a café verde:

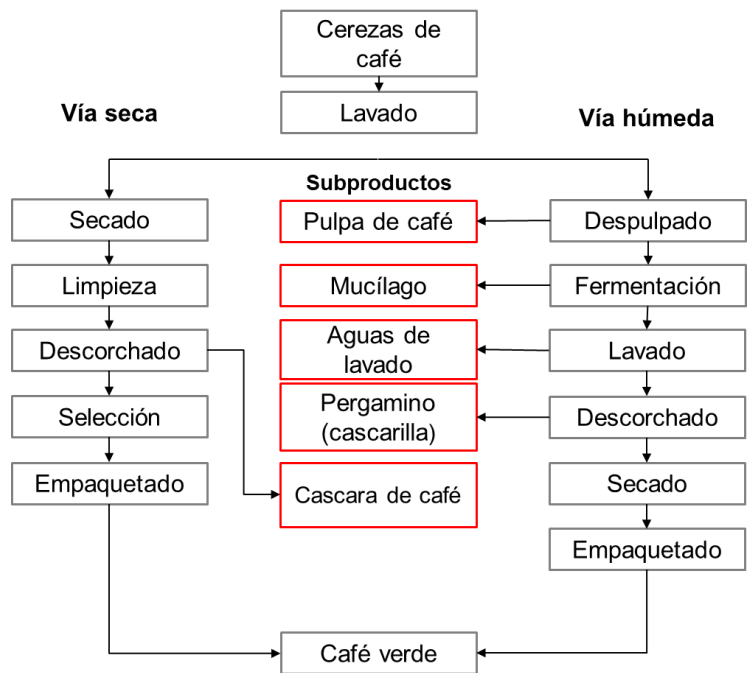


Figura 2. Proceso de beneficiado por vía seca y húmeda (Asociación Nacional del Café, 2010)

El beneficio húmedo se caracteriza por la obtención de cafés de mayor calidad, pues promueve la conservación de los atributos del grano y que el café verde sea homogéneo y tenga pocos granos defectuosos, resultado en un alcance de precios más altos por quintal (costal de 46 kg) de café verde. Además, este proceso tiene como principal diferencia a la vía seca, la separación de la pulpa para después poner a secar el grano de café, el despulpe se realiza con ayuda de una máquina que aprieta las cerezas entre planchas o cilindros móviles. La pulpa y el pericarpio del fruto quedan a un lado y los granos, recubiertos de una capa de mucílago, al otro. El espacio entre los cilindros se ajusta para evitar que se dañen los granos. La operación de despulpado deberá hacerse lo más pronto posible después de la recolección para evitar que el fruto se deteriore, lo que podría afectar a la calidad del grano (International Coffea Organization, 2017). Una vez separada la pulpa del grano, se somete al grano a un proceso de fermentación en tanques con agua para la degradación de la capa de mucílago restante, este proceso tarda

alrededor de 24 a 36 horas, para después ser secados al sol o en una secadora mecánica. Una vez alcanzado el punto óptimo de secado, el café pergamino, como se denomina en este punto, deberá pasar a una trilladora para retirar la película restante y obtener el café verde. Este último es almacenado en quintales de café verde para su exportación o para tostarlo y así obtener el producto final de esta cadena de producción (Asociación Nacional de Café, 2010).

2.1.3 La pulpa de café

La pulpa de café es el primer subproducto obtenido del beneficio húmedo, ésta representa hasta el 40 % del peso del fruto recién cosechado y, en peso seco, representa cerca del 28 % del peso total (Rodríguez-Valencia y Zambrano-Franco, 2010). La cereza de café se divide en 7 partes constitutivas mostradas en la Figura 3, la pulpa o mesocarpio (6) y la piel exterior o epicarpio (7) en conjunto constituyen a lo que se denomina como pulpa de café.



Figura 3. Estructura de la cereza del café (Tambre, 2004).

La pulpa de café está constituida mayoritariamente (Tabla 1) por proteínas (7.5-15.0 %), lípidos (2.0-7.0 %), y carbohidratos (21-32 %). También es rica en minerales, especialmente potasio y calcio, también contiene una cantidad apreciable de componentes orgánicos (Tabla 2) que incluyen polifenoles como taninos, ácido clorogénico, ácido cafeico y cafeína (Murthy y Naidu, 2012).

Tabla 1. Composición química (%) de la pulpa de café por cada 100 gramos

	Fresco	Deshidratado	Fermentado y deshidratado naturalmente.
Humedad	76.7	12.6	7.9
Materia seca	23.3	87.4	92.1
Extracto etéreo	.48	2.5	2.6
Fibra cruda	3.4	21	20.8
Proteína cruda	2.1	11.2	10.7
Cenizas	1.5	8.3	8.8
Extracto nitrogenado libre	15.8	44.4	49.2

(Braham y Bressani, 1979)

Tabla 2. Componentes orgánicos presentes en la pulpa de café

	% base seca
Taninos	1.80 – 8.56
Substancias pécticas totales	6.5
Azúcares reductores	12.4
Azúcares no reductores	2.0
Cafeína	1.3
Ácido clorogénico	2.6
Ácido caféico	1.6

(Murty y Naidu, 2012)

La Tabla 3 describe el contenido de minerales de la pulpa, haciendo relevante que ésta tiene una concentración de potasio de 1765 mg, seguido de calcio con 554 mg y fósforo con 116 mg por cada 100 g de pulpa de café.

Tabla 3. Contenido de minerales en la pulpa de café

Ceniza (g %)	8.3
Ca (mg %)	554
P (mg %)	116
Fe (mg %)	15
Na (mg %)	100
K (mg %)	1765
Mg	rastros
Zn (ppm)	4
Cu (ppm)	5
Mn (ppm)	6.25
B (ppm)	26

(Braham y Bressani, 1979)

Como se observa la composición de la pulpa de café es rica en nutrientes pero que debido a las condiciones de proceso que implica el despulpado resulta ser un producto altamente perecedero, pero que de ser aprovechados de manera óptima, ofrecería la posibilidad de un nuevo ingrediente para la producción de alimentos.

2.2 Harinas y productos de panificación

2.2.1 Harina

La denominación harina se refiere exclusivamente al producto obtenido de la molienda del endospermo del grano de trigo limpio, aunque también se hace referencia al polvo fino que se obtiene mediante la molienda de un cereal u otros alimentos ricos en almidón. Por tanto, el denominador común de todas las harinas

es el almidón. Si se trata de otros granos de cereales, leguminosas o frutas hay que indicarlo; por ejemplo: harina de maíz, harina de cebada, harina de frijol, harina de coco, entre otros. Si en el molido para obtener la harina se utiliza no solo el endospermo, sino todos los componentes del grano, ésta se denominará como harina integral (Tejero, 1995; CODEX Alimentarius Commission, 2007)

2.2.1.1 Normatividad general de harinas

En México se tienen establecidas disposiciones y especificaciones sanitarias que deben cumplirse en el transporte y almacenamiento de cereales destinados para consumo humano, así como el proceso de harinas de cereales, sémolas o semolinas, alimentos preparados a base de cereales, de semillas comestibles, de harinas, de sémolas o semolinas o sus mezclas y los productos de panificación (NOM-247-SSA1-2008).

Las materias primas que se empleen para la elaboración de los productos objeto de esta norma, deben cumplir con lo establecido en el Reglamento y las Normas Oficiales Mexicanas correspondientes que se muestran en las Tablas 8 y 9.

Tabla 4. Parámetros de especificaciones sanitarias

	Determinación	Límite máximo
Contaminantes	Aflatoxinas	20 µg/kg
Características físicas	Humedad	15 %
	Materia extraña	≤ 50 fragmentos de insectos, ≤ un pelo de roedor y estar exentos de excretas, en 50 g de producto.
Metales pesados	Plomo (Pb)	0.5 mg/kg

Cadmio (Cd) 0.1 mg/kg

(NOM-247-SSA1-2008)

Tabla 5. Parámetros microbiológicos especificados para las harinas

	Límite de mesófilos aerobios UFC/g	Límite de coliformes totales UFC/g	Límite de hongos UFC/g
Harina de trigo, sémolas o semolinas	50,000	NA	300
Harina de maíz	100,000	100	1000
Harina de maíz nixtamalizado	50,000	100	1000
Harina de centeno	100,000	100	200
Harina de cebada	100,000	100	200
Harina de avena	50,000	50	100
Harina de arroz	100,000	100	200
Harinas integrales	500,000	500	500
Harinas integrales de trigo	500,000	NA	NA

(NOM-247-SSA1-2008)

2.2.2 Panificación

El pan constituye la base de la alimentación occidental desde al menos hace 9000 o 10,000 años (Arranz-Otaegui *et al.*, 2018) . Al principio consistía una pasta plana, no fermentada, elaborada con una masa de granos machacados a groso modo y cocida, muy probablemente sobre piedras planas calientes.

El pan es el producto perecedero resultante de la cocción de una masa obtenida por la mezcla de harina (generalmente de trigo), sal, agua potable y de otros ingredientes secundarios, fermentada por levaduras como *Saccharomyces cerevisiae* (Tejero, 1995). En México tradicionalmente se emplean hornos de piedra

o de barro, aunque en la actualidad se utilizan sobre todo hornos de convección o industriales. La panadería mexicana se divide en dos grandes grupos: los panes dulces y los de sal o blancos.

2.2.2.1 Proceso de panificación

Cada variedad o estilo de pan puede tener ciertas particularidades en su proceso; sin embargo, el proceso de elaboración común del pan consta de las siguientes etapas (Reinhart, 2001) (Figura 4).

1. **Amasado:** Su objetivo es lograr la mezcla de los distintos ingredientes (harina, agua, sal y levaduras, entre otros ingredientes) y conseguir por medio del trabajo mecánico las características plásticas de la masa así como su oxigenación.

2. **División y pesado:** El objetivo de este proceso es el dar a las piezas el peso justo para su procesamiento.

3. **Reposo:** Proceso que consiste en dejar descansar la masa para que se recupere de la desgasificación sufrida durante la división.

Esta etapa puede llevarse a cabo a temperatura ambiente o en cámaras de bolsas en las que se puede controlar la temperatura y tiempo de permanencia.

4. **Formado:** En esta etapa se le da la forma que corresponde a cada tipo de pan, esta etapa es meramente estética.

5. **Fermentación:** Consiste en una fermentación alcohólica llevada a cabo por levaduras que transforman los azúcares fermentables en etanol, CO₂ y algunos productos secundarios. Los objetivos de la fermentación son la formación de gas carbónico que, al ser retenido por la masa, ésta toma una textura esponjosa y mejora el sabor del pan como consecuencia de las transformaciones que sufre la masa.

Este proceso se puede dividir en varias etapas:

- ❖ La pre-fermentación corresponde a la elaboración de la masa madre.
- ❖ La fermentación en masa, es el periodo de reposo que se da a la masa desde que finaliza el amasado hasta que la masa se divide en piezas.
- ❖ La fermentación inmediata, es el periodo de reposo que se da a la masa en cámaras de bolsas antes del formado.
- ❖ La fermentación final o fermentación en piezas es el periodo de reposo que se da a las piezas individuales hasta que se inicia el horneado.

6. **Cocción:** Tiene como objetivo la transformación de la masa fermentada en pan; se da una evaporación de todo el etanol producido en la fermentación, evaporación de parte del agua contenida en el pan, coagulación de las proteínas, transformación del almidón en dextrinas y azúcares menores y pardeamiento de la corteza.

La cocción se realiza en hornos a temperaturas que van desde los 160 a los 260 °C, aunque en el interior la masa nunca llega a rebasar los 100 °C.

Terminado el proceso de cocción y enfriado, el pan estará listo para su consumo.

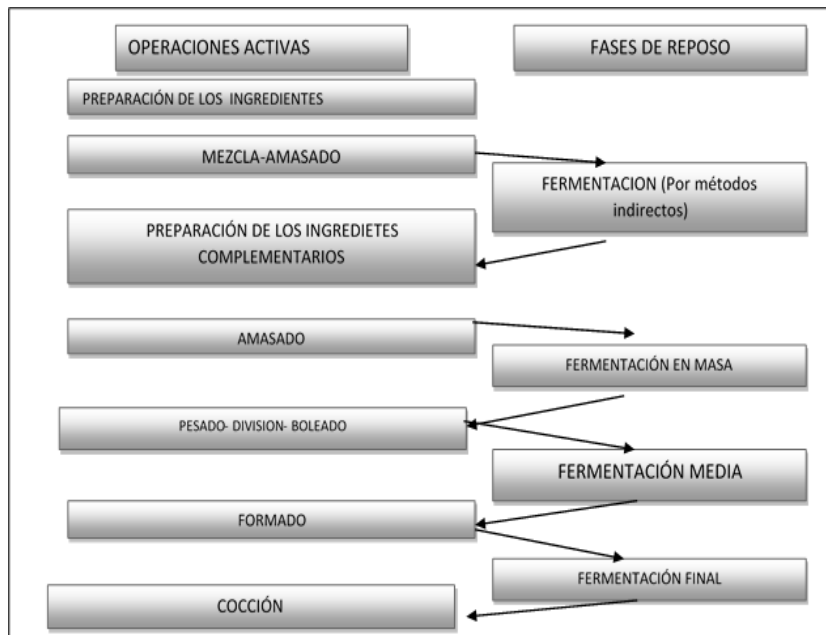


Figura 4. Diagrama de flujo de elaboración de pan (Mesas, 2002).

2.2.2.2 Panificación para grupos especiales

En años recientes la población latinoamericana consumidora de la industria de alimentos ha comenzado a buscar opciones más saludables y que ayuden a balancear sus dietas, tratando de cambiar su estilo de vida. Esto basado en el 53 % de la población latinoamericana padece de obesidad o de enfermedades que necesitan de una alimentación con necesidades nutrimentales determinadas como diabetes y celiaquía (Nielsen, 2015). Así mismo, el mercado latinoamericano demanda etiquetas con mayor transparencia e ingredientes más naturales, en la búsqueda de una alimentación de mayor calidad. En América Latina el 32 % de la población busca productos libre de gluten, 42 % de la población busca productos bajos en calorías y 49 % de la población busca productos altos en fibra (Nielsen, 2016).

La celiaquía es una enfermedad intestinal crónica hereditaria caracterizada por la mala absorción del gluten, el cual al entrar en contacto con la mucosa del intestino delgado genera un proceso crónico y autoinmune. La principal causa se debe a la mala digestión de las prolaminas, un tipo de proteínas constituyentes del gluten, las cuales son nombradas dependiendo del cereal que provengan; como la gliadina en el trigo, hordeínas en la cebada, las secalinas del centeno o la avenina de la avena, dichas proteínas provocan una respuesta inmune anormal dañando las vellosidades de la pared del intestino delgado, resultando en distintas reacciones inflamatorias y endócrinas. Por tal razón, las personas con enfermedad celiaca no pueden consumir alimentos a base de harinas de los cereales ya mencionadas o con bajo contenido de gluten en su fórmula (Biesiekierski, 2017). En México, la prevalencia de esta enfermedad es del 4.6% de la población, siendo uno de los países con mayor incidencia de dicho padecimiento, en comparación a países de la Unión Europea y Estados Unidos con una prevalencia de 1-2 %, dicha incidencia se atribuye principalmente a la predisposición genética de las poblaciones latinoamericanas (Catassi *et al.*, 2014).

El incremento en el consumo de alimentos sin gluten (“gluten free”) se encuentra entre las 10 principales tendencias que están modificando el perfil de la industria alimentaria en años recientes, y surge ante la creciente demanda por brindar opciones a la alimentación de las personas que padecen de celiaquía, intolerancia al gluten o personas con sensibilidad a esta proteína presente en los productos que tengan como ingredientes al trigo, avena, cebada y centeno. Se reporta que la demanda mundial de productos sin gluten aumentará un 5 % anual proyectado al 2021 (Statista, 2013).

Dentro del mercado de productos libres de gluten, es posible encontrar ciertas harinas de distinta naturaleza empleadas para el desarrollo de productos de panificación y repostería (Asociación Celiaca del Uruguay, 2016) (Tabla 6).

Tabla 6. Harinas sin gluten disponibles en el mercado latinoamericano

Tipo de harina	Origen
De cereales	❖ Arroz ❖ Maíz
De pseudocereales	❖ Amaranto ❖ Trigo sarraceno ❖ Quinoa
De leguminosas	❖ Garbanzo ❖ Soya ❖ Altramuz
De frutos secos	❖ Almendra ❖ Castañas

(Asociación Celiaca del Uruguay, 2016)

Los productos de panificación y repostería libres de gluten, por lo general, utilizan mezclas de harinas y aditivos para obtener características reológicas similares a los productos elaborados con harina de trigo (Sánchez *et al.*, 2008).

2.3 Extrusión

La extrusión es un proceso de inducción de energía térmica y mecánica, ésta se aplica al alimento como un proceso de alta presión y alta temperatura, durante un breve periodo de tiempo. Como resultado, se producen una serie de cambios en la forma, estructura y composición del producto (Alam, *et al.*, 2015). La extrusión puede o no implicar simultáneamente un proceso de cocción. Durante el proceso, las partes constitutivas de los alimentos están sujetos a una sucesión de tratamientos prácticamente instantáneos. Las principales variables a modular del proceso incluyen humedad, temperatura, configuración del extrusor, velocidad de rotación del tornillo y acondicionamiento del material antes de la extrusión (Harper, 1981). Los primeros extrusores para alimentos fueron registrados alrededor del 1870, estos en un principio eran a pistón y eran empleados para la producción de embutidos. Posteriormente, entre 1935 y 1940 los extrusores de tornillos comenzaron a ser utilizados por la industria alimentaria para elaborar fideos y dar formas a masas de cereales precocidas. Durante la década de 1940 aparecieron los extrusores-cocedores que son usados para elaborar botanas y harinas precocidas (González y Torres, 2002). Además de ser empleado para la producción de botanas y pastas, la extrusión se ha utilizado para el desarrollo y obtención de harinas de diferentes materias primas como leguminosas (Pérez-Navarrete *et al.*, 2007; Vanier *et al.*, 2016), almidones de plátano y mango (Manrique-Quevedo *et al.*, 2007), cebada (Sharma *et al.*, 2012) y plátano verde (Sarawong *et al.*, 2014).

Debido a la intensa ruptura y mezclado estructural que provoca este proceso, se facilitan reacciones que, de otro modo, estarían limitadas por las características de los productos y reactivos implicados. Este proceso tiene la ventaja de ser controlado con suma exactitud, de manera continua y homogénea, por lo que es

una opción para el procesado de alimentos con altos contenidos nutricionales y con presencia de cierta concentración de componentes antinutricios, con lo cual éstos pueden ser degradados (Maskan y Altan, 2011). Dentro las ventajas de la extrusión es posible resumir:

- ❖ Mejora y modificación de las propiedades funcionales de matrices vegetales (Vanier *et al.*, 2013)
- ❖ Inducir la formación de complejos lípidos-carbohidratos, mejorando la textura y características sensoriales de los alimentos (Cuggino, 2008).
- ❖ Disminuir o inactivar factores antinutricionales (fitatos, ácido clorogénico, entre otros). Ya que es un proceso de alta temperatura y tiempo corto (HTST) evita daños en los componentes sensibles como aminoácidos y permite la inactivación, entonces, de ciertos componentes antinutricios, mejorando la biodisponibilidad de nutrientes, como proteínas (Kokini *et al.*, 1992).
- ❖ Realiza simultáneamente operaciones de mezclado, cocción, texturización y secado parcial, requiere de poca mano de obra y espacio para su instalación (Kokini *et al.*, 1992).
- ❖ Ambientalmente favorable: el proceso es llevado a cabo con baja humedad, por lo que no generan efluentes que deban ser tratados (Kokini *et al.*, 1992)

Existen diferentes tipos y variedades de extrusores de alimentos, pero todos comparten ciertos elementos, como los tornillos que giran dentro de un cilindro por medio de un motor eléctrico cuya potencia depende de la capacidad de producción y del diámetro del tornillo. El cilindro en su parte final está equipado con un dado restrictivo que causa el aumento de presión. La alta presión generada previene la ebullición durante el proceso y cuando el material cocido es forzado a través del dado, esta presión es liberada y el agua líquida pasa a estado gaseoso, provocando la expansión de la masa extrudida, con su correspondiente pérdida de humedad y el descenso en la temperatura (Maskan y Altan, 2011).

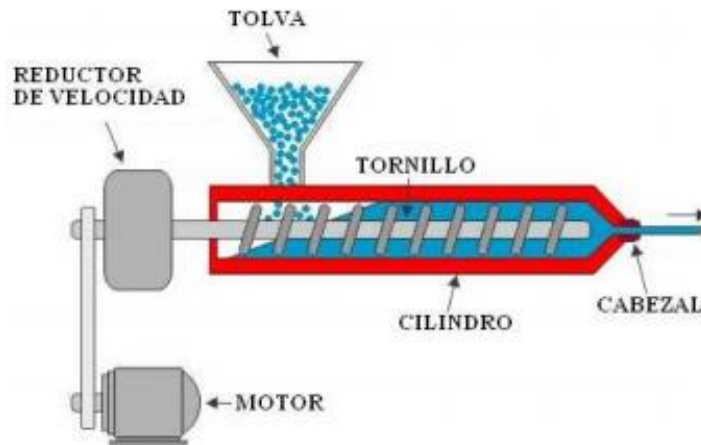


Figura 5. Esquema general de una maquina extrusora (Llopart, 2011).

2.3.1 Variables en la extrusión

Las principales variables del proceso incluyen humedad, perfil de temperaturas, configuración del extrusor, velocidad de rotación del tornillo y acondicionamiento del material antes de la extrusión (Harper, 1981). Las características del alimento o componente que fluye dentro del extrusor son aspectos también a tomar en cuenta, pues las propiedades finales del producto dependerán de su composición como la humedad, el contenido lípidos, fibra, almidón, proteína, sales y emulsificantes (Maskan y Altan, 2011).

2.3.1.1 Parámetros de operación de un extrusor monotornillo

- ❖ Geometría del tornillo: Los parámetros que se pueden mencionar en un extrusor monotornillo incluyen: el diámetro, el filete del tornillo, la separación entre cilindro y lomo del filete y el paso del tornillo.
- ❖ Largo del extrusor: Lo cual influye en el tiempo de residencia y al gradiente de presión.
- ❖ Características de la boquilla: La boquilla puede ser de bronce, aleación de bronce o acero inoxidable. Siendo el primero el más usado ya que se puede modificar con facilidad.

- ❖ Velocidad del tornillo: La velocidad del tornillo influye, tal como se ha explicado, al tiempo de residencia y al gradiente de velocidad impuesto al material que es transportado a lo largo del tornillo.
- ❖ Temperatura del cilindro: Que puede ser controlada desde el exterior (Llopart, 2011)

2.3.1.2 Parámetros de la materia prima

- ❖ Tipo de material a alimentar: La naturaleza del material, como su contenido de almidón, proteínas, lípidos y humedad definen las características del producto extrudido. El pH del material también podría influir en las características de producto obtenido, ya que pueden influir en el estado de las proteínas durante la extrusión, causar cambios en el color, en el contenido de compuestos volátiles y de compuestos nutritivos.
- ❖ Tamaño de la partícula del material: El tamaño de partículas adecuado para la extrusión, se relaciona con el espacio entre la hendidura del tornillo y la pared del barril del extrusor y debe ser al menos 10 veces menor a ésta.
- ❖ Humedad: El nivel de humedad afecta principalmente a la fricción desarrollada durante la extrusión. Aunque, en condiciones de alta humedad, también afecta a la gelatinización. En la elaboración de expandidos, se verifica una relación inversa entre la humedad y la expansión.
- ❖ Otros ingredientes: Ingredientes tales como aceites y emulsificantes pueden ser añadidos al material alimentado, actuando como lubricantes y disminuyendo la fricción y la cantidad de calor disipado (Haller, 2008)

2.3.1.3 Efectos de la extrusión en la obtención de harinas

La aplicación de extrusión en harinas de trigo ha tenido como finalidad mejorar la reología de las masas producidas con ellas y, por consiguiente, las del producto final. Durante la extrusión, el almidón sufre de un cambio conformacional de su forma cristalina debido al efecto de cizallamiento producido por la ruptura de los puentes de hidrógeno que estabilizan las estructuras o zonas cristalinas y

amorfos de la amilosa y amilopectina, generado así almidón pregelatinizado. En cuanto al efecto en las proteínas de gluten, estas son desnaturalizadas promoviendo su interacción con el almidón, mejorando de este modo la reología de las masas, su calidad sensorial y su vida de anaquel (Ortolan *et al.*, 2015).

También se ha empleado para la obtención de harinas de diferentes fuentes como leguminosas y frutas con el fin de reducir compuestos considerados como antinutricios, pregelatinizar el almidón, aumentar el contenido de fibra dietaria y su solubilidad, así como el incrementar la digestibilidad proteica (Sarawong, 2014; Andersson, *et al.*, 2017). Los efectos en los alimentos del manejo de diferentes niveles de algunos parámetros del proceso de extrusión han sido identificados, y pueden ser resumidos en la Tabla 7.

Tabla 7. Efectos de los principales parámetros de la extrusión

Parámetros	Nivel	Alimento	Efecto	Referencia
Velocidad de giro (rpm)	180-250	-Cebada -Plátano y mango	Formación de almidón resistente y mayor índice de absorción de agua.	(Andersson <i>et al.</i> , 2017) (Manrique-Quevedo <i>et al.</i> , 2007)
Temperatura y humedad	- Temperaturas altas (>160 °C) y humedad <15 %	Sorgo	-Mayor grado de cocción, volumen y susceptibilidad enzimática y menor dureza de la harina.	(Llopart, 2011)
		Frijol	-Reducción de contenido fitatos	(Batista, 2010)

Temperatura y humedad	-Temperatura <150 °C y humedad >14 %	Frijol- maíz	Incremento en disponibilidad proteica	(Pérez-Navarrete <i>et al.</i> , 2007)
--------------------------	--	-----------------	---	---

Humedad	>14 %	Cebada	Reducción de compuestos fenólicos y taninos.	(Turner, 2004; Sharma <i>et al.</i> , 2012;)
---------	-------	--------	--	--

3. Justificación

El impacto ecológico de los desechos de la industria cafetalera establece la relevancia de alternativas para el aprovechamiento de este tipo de residuos; así mismo, la actual problemática en el déficit de la producción del café promueve la generación de estas alternativas para dar valor agregado a los residuos de esta actividad agrícola generando beneficios adicionales.

La pulpa del café, es la parte más externa del fruto del cafeto, comprendida por la piel exterior y la pulpa. Durante el proceso de despulpado, la separación de esta sección representa hasta el 40 % de cada kilo de cereza pasada por el proceso. Existen varios reportes y procesos desarrollados para lograr el aprovechamiento de los residuos de la caficultura, en especial sobre la pulpa del café.

Los componentes principales de la pulpa consisten en fibra, proteína y carbohidratos. Adicionalmente, ésta presenta otros compuestos relevantes como la cafeína, el ácido clorogénico, fenoles, taninos, así como minerales (hierro y potasio). Los compuestos fenólicos y flavonoides presentes en la pulpa pueden ser la base para considerar a la pulpa del cerezo de café para la obtención de ingredientes que permitan el desarrollo de alimentos saludables, pues su consumo en concentraciones adecuadas se ha asociado a beneficios a la salud, como vasodilatadores, anticarcinogénicos, antiinflamatorios, estimuladores de la respuesta inmune, antialérgicos y como antioxidantes, entre otros. Dada la constitución que la cereza de café presenta, toma relevancia el desarrollo de vías para su aprovechamiento integral y sustentable como lo pueden ser para alimentación humana y animal, así como de materia orgánica para compostaje o producción de hongos comestibles.

Debido a las ventajas que el proceso de extrusión presenta como la modificación de las propiedades funcionales de matrices vegetales, disminución de compuestos antinutricios, ambientalmente favorable y el ser un proceso continuo y de variables

controladas con precisión, se perfila como una tecnología con gran potencial para la obtención de un homólogo de harina a partir de pulpa de café.

Es entonces debido a la composición de la pulpa de café y al impacto ambiental generado por su acumulación, que se propone como forma para su aprovechamiento, el empleo de tecnología de extrusión para la obtención de un homólogo de harina con alto contenido de fibra y de compuestos con efectos benéficos a la salud y la formulación de productos de panificación como forma de integración de este ingrediente en la alimentación humana.

4. Objetivos

4.1 Objetivo General

- Modificar la pulpa de café empleando un proceso de extrusión para obtener una harina y su uso en la formulación de productos de panificación

4.2 Objetivos específicos

- Obtener una harina panificable a partir de la pulpa de café empleando un diseño experimental de un proceso de extrusión
- Formular productos de panificación con base en la harina de la pulpa de café obtenida mediante extrusión
- Realizar una valoración general de aceptación del producto mediante un análisis sensorial empleando técnicas de perfilado
- Evaluar la composición proximal, análisis de textura y contenido de compuestos fenólicos y cafeína de los productos de panificación elaborados.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

Consideraciones bioéticas

Con el fin de prevenir complicaciones bioéticas y de salud resultantes de la investigación se tomaron medidas, como la de brindar a cada uno de los evaluadores reclutados para el análisis sensorial la información sobre los procesos e ingredientes constituyentes de los alimentos a evaluar. Así mismo se realizaron encuestas previas acerca de alergias, sensibilidad a alimentos y estado de salud, para no comprometer la salud de los participantes convocados. Los productos a evaluar fueron procesados y manipulados con los estándares de sanidad correspondientes.

5.1 Materia prima

5.1.1 Pulpa de café

Ésta fue obtenida de una cooperativa cafetalera ubicada en la localidad de Mecatán, perteneciente al municipio de San Blas en el estado de Nayarit. La pulpa obtenida pertenece al cafeto *Coffea arabica* var. Caturra roja. La pulpa de café se recolectó directamente del punto de salida de la despulpadora para evitar su contaminación y mayor daño, posteriormente se almacenó en una hielera para evitar su deterioro durante el transporte. Una vez arribado a la Universidad Autónoma de Querétaro campus Universitario, se almacenó a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el Laboratorio de Innovación y Desarrollo de Alimentos (IDEA) hasta su procesamiento.

5.1.2 Harina y almidones

Para las formulaciones de los productos de panificación se utilizó harina de trigo de la marca Selecta® y para los productos libres de gluten se empleó harina de arroz de la marca Tres estrellas®, almidón de maíz de la marca Maizena® y almidón de yuca.

5.1.3 Levadura

Para las fases de fermentación se empleó levadura seca para panificación de la marca Lesaffre®.

5.1.4 Mejoradores de productos de panificación

Se empleó suero leche en polvo para mejorar las características organolépticas de textura y sabor en ambos productos. Para las formulaciones libres de gluten se incluyó goma guar como espesante y estabilizante, así como también claras de huevo como mejorador de la miga.

5.2 Métodos

El proceso experimental que se siguió en esta investigación se muestra en la Figura 6:



Figura 6. Esquema general del proyecto de investigación

5.2.1 Diseño experimental del proceso de extrusión

1. Acondicionamiento del material a extrudir.

Previo a la extrusión se molió la pulpa de café en un horno de secado en un rango de 50 °C hasta alcanzar una humedad del 30 al 40 %. Posterior al secado, se dejó reposar el material en un refrigerador a 4 °C durante 24 h previo a la extrusión.

2. Condiciones de extrusión

Se utilizó un extrusor de laboratorio de tornillo simple de 40 cm con una relación de compresión 4:1, con dado de salida de 3.0 mm de diámetro y una velocidad del tornillo de 30Hz (43 rpm). El barril está dividido en dos zonas de calentamiento (alimentación y central), las cuales se calentaron de forma independiente, las temperaturas fueron no isotérmicas de acuerdo al diseño estadístico experimental. Para poder analizar los efectos de las factores de extrusión sobre las características fisicoquímicas y de textura del producto, se aplicó en un principio un diseño experimental factorial 2^3 con puntos al centro y una repetición, tomando como variables independientes a la humedad de la materia prima o humedad de alimentación (%H: 30, 35, 40), la temperatura de extrusión (T: 100, 110, 120 °C) y la velocidad de rotación de tornillo (15, 17.5 y 20 rpm). Se consideraron como variables respuestas los valores del método SRC (Solvent Retention Capacity) e Índice a Absorción de Agua (IAA) como ensayos rápidos para seleccionar las harinas con mejores características para la panificación.

3. Posterior a la extrusión, los materiales extrudidos se secaron en un horno a 50 °C hasta alcanzar una humedad del 7 %.

Las muestras extrudidas correspondientes a cada condición experimental, se molieron y pasaron a través de un tamiz de 210 μ m para obtener un polvo fino y homogéneo.

5.2.2 Formulación de los panes de caja

Con la harina obtenida mediante el tratamiento de extrusión 12 (110 °C, 17.5 rpm y 35 % de humedad de producto) se prosiguió con la formulación de productos de panificación tipo pan de caja, uno basado en harina de trigo y otro libre de gluten. Este último se propuso dado que la harina de pulpa de café es libre de origen de dicha proteína, por lo que resultó de interés el evaluar su incorporación en este tipo de productos. Para las formulaciones de ambos productos se determinaron 2 niveles de inclusión de la harina de pulpa de café, 10 y 15 % de sustitución sobre la harina en el producto con trigo y 10 % y 5 % en el producto libre de gluten respecto a la suma de todos los ingredientes de la formulación. Las cuatro formulaciones se muestran en las tablas siguientes:

Tabla 8. Ingredientes de la formulación de pan de caja

Ingrediente	Cantidad	
Harina de trigo	117.50 g	124.82 g
Harina de pulpa de café	20.75 g	13.87 g
Levadura	8 g	
Azúcar	35 g	
Suero de leche en polvo	25 g	
Mantequilla	25 g	
Leche	100 ml	
Agua	25 ml	

Tabla 9. Ingredientes de la formulación de pan de caja libre de gluten

Ingrediente	Cantidad	
Harina de arroz	70 g	80 g

Harina de pulpa de café	45 g	23 g
Levadura	12 g	
Azúcar	30 g	
Suero de leche en polvo	70 g	60 g
Clara de huevo	100 g	
Sal	5 g	
Almidón de maíz	105 g	
Almidón de yuca	20 g	
Goma guar	10 g	
Agua	40 ml	

Las formulaciones se determinaron con la información disponible en la literatura (Rakkar, 2007; Demirkesen, *et al.*, 2013), en base a pruebas preliminares y asesoría de La Farina Panadería (Ciudad Victoria, Tamaulipas). Las pruebas preliminares se realizaron con el fin de conocer el límite de inclusión de la harina de pulpa de café sin afectar la textura del producto y de la aceptación del mismo por parte de los consumidores debido las características organolépticas que presentó la harina, como acidez y astringencia dadas por la presencia de compuestos fenólicos, estimando el límite en un 30 % de sustitución. La inclusión del suero de leche en las formulaciones y, en especial a la libre de gluten, se debe a que provee una mejora en el volumen específico y aporta aminoácidos importantes para llevar a cabo la síntesis de compuestos durante la reacción de Maillard asociados a características sensoriales de productos de panificación (Deora et al., 2014). En la formulación libre de gluten se incluyó tanto claras de huevo como goma guar para la formación y estabilización de la red polimérica que retiene el CO₂ generado por la fermentación de la levadura para la obtención de una miga características de textura aceptables (Mohammadi et al., 2014).

Elaboración de las masas.

La elaboración de los productos de panificación consistió en los pasos siguientes:

- 1.** Pesado de todos los ingredientes
- 2.** Activación de la levadura con 25 ml agua a 30 °C y 12 g de azúcar, la cual se deja fermentar durante 10 min.
- 3.** Mezclado del resto de ingredientes.
- 4.** Incorporación de la levadura activada con el resto de ingredientes, amasado en batidora (Kitchen Aid 600) a velocidad media durante 5 min.
- 5.** Fermentación a 30 °C en horno durante 30 min.
- 6.** Ponchado y amasado de masa a mano hasta alcanzar punto de ventana.
- 7.** Boleado de masa y colocación en moldes con papel encerado.
- 8.** Segunda fermentación a 30 °C durante 10 min en horno.
- 9.** Horneado en convección con vapor durante 20 min a 190 °C.
- 10.** Enfriado y desmoldado pasado 20 min.

La única variación entre las dos formulaciones es la inclusión de la claras de huevo, las cuales se batieron para la formulación libre de gluten; éstas se agregaron justo después de la incorporación de la levadura y previo a la 1ra fermentación.

Toda la producción de pan se llevó a cabo en la Planta Piloto de Alimentos, ubicada en el Parque Biotecnológico de la Universidad Autónoma de Querétaro, aplicando buenas prácticas de manufactura para asegurar la inocuidad del producto.

Se muestra el esquema general del proceso de panificación empleado (Figura 7):

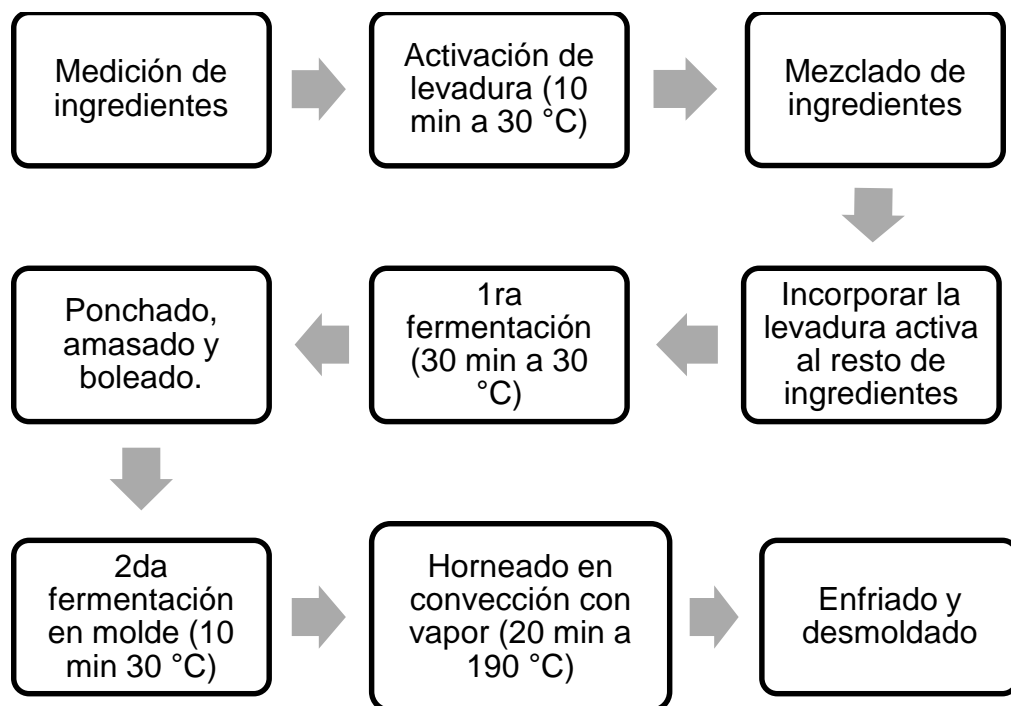


Figura 7. Esquema del proceso de panificación

5.2.3 Evaluación sensorial Flash profiling

Se evaluaron las características sensoriales de las formulaciones de pan descritas anteriormente; además, se incluyeron muestras control, siendo estos panes de caja de trigo-centeno y otra libre de gluten de productos con presencia el mercado. La evaluación de las formulaciones se realizó utilizando el método Flash profiling (Lassoued, 2008).

Muestras: Se presentó un set de 3 muestras codificadas para cada evaluador, que consistieron en rebanadas de 11 mm de grosor y 25 g de cada producto formulado. Los productos se hornearon horas antes a la evaluación para dejar enfriarlos y que alcanzara el equilibrio de humedad. Las muestras se presentaron en pequeños platos de plástico y se utilizó agua purificada a 25 °C como limpia paladar (Hough, 2010).

Evaluadores: Se recurrió al reclutamiento de 50 consumidores sin experiencia para la evaluación sensorial, a quienes se les preguntó su frecuencia de consumo de pan, teniendo como criterios de inclusión el que no presentaran sensibilidad o alergia a alguno de los ingredientes presentes en la formulación.

Flash Profiling: Se dispuso de un set de 7 características a evaluar en una escala del 1 al 10, las cuales fueron textura, olor, sabor y aceptabilidad general. A los evaluadores se les permitió manipular de manera libre los productos. En la hoja de evaluación también se dispuso de un espacio para que los evaluadores realizaran comentarios sobre cada producto en caso de que los hubiera.

Análisis de datos: Para cada atributo sensorial, los datos de evaluación se recopilaron manualmente en una hoja de cálculo por evaluador, así como también de la construcción de una matriz de datos consenso de todos los evaluadores. La información individual de los evaluadores se analizó empleando un análisis de factores múltiples (MFA) y la matriz con la información de todos los consumidores se analizó por un análisis Procrusteano Generalizado (GPA). Ambos análisis se llevaron a cabo usando el programa estadístico R (R Development Core Team, E.U.A.).

5.2.4 Métodos para la caracterización bromatológica

Se realizó la caracterización proximal tanto de la pulpa de café como de la harina y de los productos formulados con el fin de determinar su valor nutrimental o si hubo cambios en los constituyentes durante el proceso de extrusión. La caracterización se realizó según los métodos oficiales de la A.O.A.C. (Association of Oficial Analytical Chemists). Dichos métodos se encuentran descritos en la Tabla 10.

Tabla 10. Métodos de análisis de materias primas y tratamientos

Análisis	Métodos
Humedad	A.O.A.C 925.09
Cenizas	A.O.A.C 923.03
Proteína cruda	A.O.A.C 920.87
Grasa cruda	A.O.A.C 920.39C
Fibra cruda	A.O.A.C 962.09
Extracto libre de nitrógeno	A.O.A.C 986.25

(CODEX Alimentarius Commission, 2007).

5.2.4.1 Determinación de cafeína

El procedimiento se realizó según lo descrito por Peña-Aguilar y colaboradores (2017); llevando a cabo la extracción con 20 ml de solución etanol al 60 % (etanol:agua) por 40 min a 80 °C en baño maría, con una proporción pulpa:solvente 1:20.

Para la determinación del contenido de cafeína se construyó una curva estándar de 5 puntos con soluciones con 4, 8, 16, 24 y 32 µg de cafeína anhidra por ml de agua. Las lecturas de espectro UV se realizó a una longitud de onda de 273 nm, donde la cafeína presenta un máximo de absorción (Belay *et al.*, 2008). Una vez construida la curva estándar se procedió a realizar las lecturas de las extracciones previamente realizadas. Para el cálculo de concentración de cafeína se usa la regresión lineal de la curva estándar $Y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon$. Por último, se procedió a determinar la cantidad de cafeína determinada mediante la absorbancia de la espectrofotometría UV:

Datos: Peso de muestra = mg

Solución A = mg cafeína extraída / 100 ml agua Milli-Q

Solución B = 10 ml solución A / 25 ml agua Milli-Q

Fórmula:

$$100ml \text{ Sol A} \cdot \frac{25 \text{ ml sol B}}{10 \text{ ml sol A}} \cdot \frac{\text{concentración en mg de cafeína}}{1000 \text{ ml sol B}} = Y$$

5.2.4.2 Determinación de compuestos fenólicos totales

La determinación de compuestos fenólicos totales se realizó empleando el método espectrofotométrico descrito por Singleton y Rossi (1965) con algunas modificaciones. Se adicionaron en una microplaca 150 μ l del reactivo FOLIN [1:10], para el cual se tomaron 2.5 ml de Folin en 25 ml de agua, 30 μ l del extracto fenólico y 120 μ l de Na₂CO₃ al 7.5%, el cual se preparó pesando 1.875 g de carbonato para 25 ml de agua. La curva del estándar se elaboró con 8 puntos (incluido un blanco); para el punto más alto de la curva se preparó primeramente una solución A (5 mg en 5 ml de agua); para preparar la solución "B" se tomó 1 ml de la solución "A" y se aforó a 10 ml. Esta nueva solución "B" tuvo una concentración de 0.1 mg/ml, de la cual se tomó 1 ml y se trasvasó a un tubo eppendorf; los 6 tubos restantes se llenaron con 500 μ l de agua. Del punto más alto se tomaron 500 μ l y se trasvasaron al tubo 2 y así sucesivamente hasta el tubo 6 el cual terminó con volumen de 1 ml. Después de 30 min, se leyó la absorbancia a 765 nm en un lector de placas FLUOstar Omega (BMG Labtech Inc., USA). Los resultados se reportaron como mg de equivalentes de ácido gálico/g de peso seco (mg EAG/g PS), este valor se calculó empleando la ecuación de regresión entre la absorbancia y la concentración de ácido gálico.

5.2.4.3 Determinación de ácido fítico

Se siguió el método reportado por Latta y Eskin (1980), el cual consistió en pesar 2 g de muestra a los cuales se les adicionó 100 ml de HCL al 2 % para proceder a su agitación durante tres horas. Una vez finalizado el tiempo, las

muestras se filtraron con papel Whatman #1 con ayuda de una bomba de vacío. Se tomaron 50 ml del filtrado a los que se les agregó 10 ml de agua y 10 ml de tiocionato de amonio al 0.3 %, se procedió a titular con cloruro de hierro (II) 0.00195 Fe/ml hasta que viraron a una coloración melón persistente. Para el cálculo del contenido de ácido fítico se tomó la cantidad de FeCl₂ empleado para la titulación usando la fórmula:

$$\% \text{ ácido fítico} = Y * 1.19 * 100 \quad Y = \text{ml de FeCl}_2$$

5.2.4.4 Determinación de azúcares reductores

La determinación se realizó siguiendo el método descrito por Miller (1959), se preparó el reactivo DNS, disolviendo 0.8 g de NaOH en agua destilada, luego se adicionaron 15 g de tartrato de sodio y potasio tetrahidratado y 0.5 g de DNS (ácido 3,5-dinitrosalisílico), se aforó a 50 ml con agua destilada y se almacenó a 4 °C. La concentración de azúcares reductores se determinó empleando una curva de calibración absorbancia utilizando glucosa como estándar. Para las muestras se tomaron 0.5 ml y se mezclaron con 0.5 ml del reactivo DNS, se colocaron en agua en ebullición por 5 min y se detuvo la reacción con baño de agua y hielo. Se reconstruyeron las muestras con 5 ml de agua destilada, se agitaron, se dejaron en reposo por 15 min. Las muestras y la curva se leyeron con un espectrofotómetro (Halo XB-10 UV-vis, Dynamica Scientific Ltd. EUA) en una longitud de onda de 540 nm.

5.2.4.5 Método para la determinación de cafestol

El cafestol es un diterpeno sintetizado únicamente por el género *Coffea*. Esta molécula tiene como características ser estable a tratamientos a altas temperaturas como el tostado. Así mismo, el cafestol ejerce un efecto antioxidante y antiinflamatorio; así mismo, se tienen reportes que indican a su vez un efecto hipercolesterolémico (Rustan *et al.*, 1997). Si bien se tiene información disponible en la literatura de que el pericarpio fresco contiene hasta 49 mg por cada 100 gramos (Ampanha, 2010), es importante la determinación de este compuesto en la

pulpa de café y en la harina extrudida, con el fin de no comprometer la salud de los consumidores.

Para la extracción y cuantificación de cafestol se siguió la metodología descrita por Eloy-Días y colaboradores (2010). Se pesaron 0.2 g de muestra, se mezclaron con 2 ml de una solución de hidróxido de potasio (2.5 M) en etanol al 96%. Posteriormente, la muestra se saponificó en baño María a 80 °C durante 1 h. Se dejó enfriar y se agregaron 2 ml de agua destilada y se homogenizó. Se agregaron 2 ml de éter etílico y se homogenizó con vortex. Posteriormente, la muestra se centrifugó a 3000 rpm durante 2 min y se recuperó el sobrenadante, este paso se repitió 3 veces. Los sobrenadantes recuperados se dispusieron en baño María a 70 °C durante 15 min. Al evaporar el solvente de los tubos, se reconstituyó con la fase móvil hasta llegar a un volumen de 25 ml. Finalmente, la muestra se filtró con un acrodisco de membrana de 0.45 µm y se depositó en un vial para ser inyectado al HPLC. Se empleó un equipo de cromatografía líquida de alta resolución con detector de arreglo de diodos (HPLC-DAD). El análisis se realizó en un equipo HPLC Agilent Serie 1100 (Agilent Technologies, Palo Alto, CA, EE.UU.), se utilizó una columna Zorbax SB-C18 (Agilent Technologies, 4, 6 x 250 mm, 5,0 micras). La temperatura de la columna se controló con ayuda de un termostato a 25 ± 1 °C y la velocidad de flujo se ajustó a 1 ml/min. La fase móvil isocrática constó de dos disolventes grado HPLC, agua y acetonitrilo (1:1). La detección se realizó a 230 nm con una velocidad de adquisición de 1 s. Se inyectó un volumen de 20 µl y las muestras se analizaron por triplicado. Para la cuantificación se utilizó un estándar externo de cafestol.

5.2.5 Determinación de fibra dietaria

El procedimiento se realizó según lo descrito por la empresa proveedora del kit enzimático TDF-100 (Sigma-Aldrich) bajo las especificaciones dadas por el método 32-45.01 de la A.A.C.C. Las muestras se evaluaron por triplicado, se secaron y desgrasaron previo al procedimiento. Para la fibra dietaria insoluble se pesó 1 g a la cual se le adicionó 50 ml de amortiguador de fosfatos (pH 6), se le

adicionó 100 µl alfa-amilasa termoestable para después incubar en baño María a 95 °C por 30 min con agitación. Pasado el tiempo, la muestra se temperó a temperatura ambiente, se ajustó pH a 7.5 con NaOH 0.275 M para después adicionar 100 µl de proteasa (5 mg/ml); las muestras se incubaron nuevamente en baño María a 60 °C por 30 min y con agitación continua. Una vez frío, se ajustó a pH 4.5 con HCl 0.325 M. Se adicionó 300 µl de amiloglucosidasa e incubó en baño María a 60 °C por 30 min con agitación continua. Se dejó enfriar para ser filtrado en papel Whatman 4 con bomba de vacío en un matraz kitazato, con baños continuos de agua destilada y uno de etanol al 80%. El papel filtro se secó en estufa por 24 h a 35 °C, se pasó a un desecador por 20 min y registró el peso del filtro con la muestra. Para la fibra dietaria soluble, el líquido remanente de los lavados con agua y etanol, se conservó en refrigeración por un durante 72 h hasta la precipitación de partículas, se filtró al vacío en papel Whatman 42 (previamente puestos a peso constante). Una vez filtrado, el papel filtro se lavó 2 veces con 15 ml de etanol al 80 % y 2 lavados más de 15 ml con acetona, se secó el papel filtro en estufa, enfrió y se pesó. Con los pesos registrados se procedió a realizar los cálculos correspondientes para obtener el contenido de fibra dietaria total, soluble e insoluble.

5.2.6 Métodos para la caracterización funcional de la harina de pulpa de café extrudida

5.2.6.1 Capacidad de retención de solvente (Método A.A.C.C 56-11, 2002)

La capacidad de retención de solvente (SRC) es el peso del disolvente contenido en la harina después de la centrifugación. Se expresa como porcentaje del peso de la harina, sobre una base de humedad del 14 %. Se emplean independientemente cuatro solventes para producir cuatro valores SRC: agua SRC, 50 % de sacarosa SRC, 5 % de carbonato de sodio SRC, y 5 % de ácido láctico SRC. El patrón combinado de los cuatro valores SRC puede establecer un perfil práctico y rápido de calidad/funcionalidad de la harina para predecir el rendimiento de la cocción y la conformidad con las especificaciones. En el procedimiento, el ácido láctico puede revelar características de la glutenina, el carbonato de sodio se

asocia con los niveles de almidón dañado en la harina y la sacarosa con las características de las pentosas; mientras que, la medición con agua es la prueba general de evaluación de todos los componentes de la harina.

Se prepararon las soluciones para la evaluación, una con sacarosa al 50 % y otra de carbonato de sodio al 5 %, omitiendo la solución con ácido láctico debido a la ausencia de las glutelinas en la pulpa de café por naturaleza. Se pesaron 5 g de muestra en un tubo falcón adicionando 25 g del solvente (sacarosa 50 %, carbonato de sodio 5 % y agua) dependiendo de la característica a evaluar. Se homogenizaron con un vortex, se dejaron reposar durante 20 min, agitando manualmente cada 5 min durante 5 s. Una vez terminado el tiempo de reposo, los tubos se centrifugaron a 1000 g durante 15 min a temperatura ambiente. Los tubos fueron drenados para retirar el agua remanente, posicionándolos boca abajo durante 10 min. Transcurrido el tiempo, se pesó el gel formado en cada tubo para proceder al cálculo del valor SRC de cada tratamiento. El cálculo del valor SRC se realizó empleando la ecuación siguiente:

$$\% SRC = \left[\frac{\text{Peso del gel}}{\text{Peso de la harina}} \times \left(\frac{86}{100 - \% \text{ de humedad de la harina}} \right) - 1 \right] \times 100$$

5.2.6.2 Rapid Visco Analyzer

Se realizó usando un viscoamilógrafo de la empresa Newport Scientific (Warriewood, Australia) modelo RVA-3C en las instalaciones del Cinvestav campus Querétaro. Para el análisis de las harinas se siguió el programa estándar para análisis en RVA acorde a la metodología internacional aprobada de la AACC 61-02.01, el cual consistió en tomar 4 g de muestra y completar a 28 g con agua destilada en las celdas del equipo. Los ciclos de calentamiento y enfriado se programaron como se describe a continuación: las muestras permanecieron a 50 °C por un min para luego calentarse hasta 92 °C con rampas de 5.6 °C por min; se mantuvo a esta temperatura por 5 min y luego se enfrió de nuevo hasta 50 °C con

rampas de 5.6 °C por min, manteniendo esta temperatura final por dos minutos. El tiempo total del análisis fue de 23 min (Falfán-Cortés *et al.*, 2014).

5.2.7 Análisis de textura

El análisis del perfil de textura (TPA) de los panes se llevó a cabo según la metodología descrita por Rahman *et al.*, (2015), utilizando un texturómetro CT3 marca Brookfield. Para su análisis los productos fueron despojados de la base y la corteza y se cortaron en cubos de 3 cm por lado. Las muestras fueron evaluadas mediante compresión a doble ciclo al 50 % de su altura original con una sonda cilíndrica de 36 mm de diámetro (TA-36). La compresión se llevó a cabo a una velocidad de 1 mm/s con intervalos de 5 s entre cada ciclo de compresión. Los parámetros evaluados mediante ésta técnica fueron dureza, elasticidad y masticabilidad.

6. Análisis estadístico

Todos los análisis se llevaron a cabo por triplicado. Los datos se presentan como la media \pm DE. Para el análisis de los datos de los tratamientos de extrusión se aplicó una ANOVA y se realizó una comparación de las medias de los tratamientos mediante la prueba de Tukey, utilizando el software estadístico JMP 8. Para el análisis sensorial Flash Profiling se analizó por un análisis Procrusteano Generalizado y un análisis de factores múltiples (MFA) utilizando el software R-Project. (Lassoued *et al.*, 2008; Rodrigues y Teixeira, 2012).

7. Resultados y discusión.

7.1 Caracterización de la pulpa de café

Los resultados de la caracterización de la pulpa de café que se empleó como materia prima se muestran a continuación en la Tabla 11:

Tabla 11. Composición proximal de la pulpa de *Coffea arabica* var. Caturra roja

	% en base seca
Lípidos	0.73 ± 0.14
Cenizas	0.85 ± 0.03
Proteína cruda	13.11 ± 0.93
Fibra cruda	15.31 ± 0.40
Extracto libre de nitrógeno	69.68 ± 0.59
Fibra total	34.72 ± 1.84
Fibra insoluble	30.95 ± 2.39
Fibra soluble	3.7 ± 1.1

Los resultados representan los promedios (n=3) ± la DE

Con lo consultado en la literatura, las concentraciones de los macronutrientes entran dentro del rango de lo ya reportado, con variaciones dependientes de la temporada de cosecha, al terruño donde se da el cultivo y de la especie o variedad de interés (Ulloa, 2002).

Así mismo, se determinó la concentración de algunos compuestos de interés presentes en la pulpa de café como compuestos fenólicos, fitatos y cafeína (Tabla 12) con el fin de evaluar los efectos del proceso de extrusión en ellos puesto que su presencia resulta relevante en el producto final. Para evitar un efecto hipercolesterolémico inesperado debido al consumo de la harina, se determinó la concentración de cafestol en la pulpa de café. Los datos obtenidos de la determinación arrojaron una concentración de 1.6 mg de cafestol por cada g de pulpa. La concentración de este diterpeno puede considerarse como segura y que

no implica riesgo de generar efectos nocivos al consumo del producto generado con la pulpa empleada como materia prima (Urgert, 1997).

Tabla 12. Compuestos de interés en la pulpa de café

Compuesto	Contenido
Compuestos fenólicos totales	37.79 ± 0.74 mg EAG/g
Fitatos	0.86 % en base seca
Cafeína	10.90 ± 0.54 mg/g
Cafestol	1.64 ± 0.15 mg/g

Los resultados representan los promedios (n=3) ± la DE. EAG: equivalentes de ácido gálico.

7.2 Análisis de los efectos de los tratamientos de extrusión

Se aplicaron los tratamientos de extrusión a la pulpa de café (PC) utilizando un diseño factorial 2³ con puntos al centro y una réplica. Basado en la información disponible en la literatura se propuso a los tratamientos de extrusión como medio para modificar la porción de almidón y fibra de la pulpa de café para obtener una harina con mejores características para procesos de panificación diferenciándose de aquella obtenida únicamente por secado.

Aunque los valores obtenidos de las mediciones SRC en las harinas de pulpa de café variaron de los reportados en harina de trigo, éstos nos sirvieron para conocer la existencia de cambios en las características de las harinas obtenidas mediante extrusión de manera rápida para facilitar la selección.

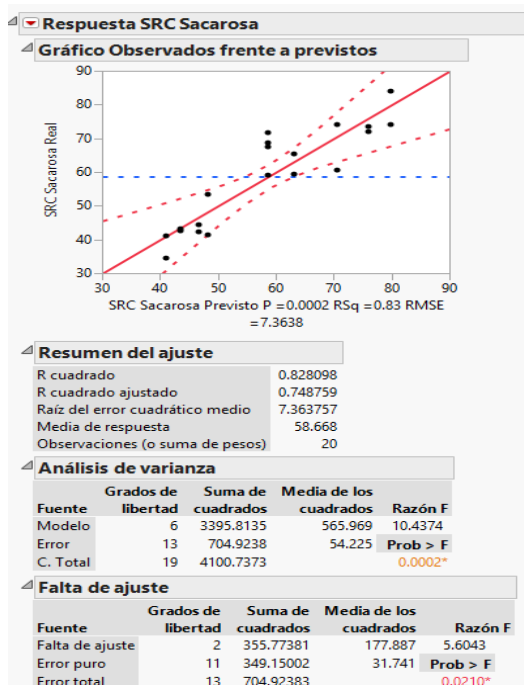
La selección del tratamiento de obtención de la harina para la formulación de productos, dependió de la funcionalidad tecnológica de las harinas y de conocer el contenido de cafeína, compuestos fenólicos y fitatos; que si bien, estos últimos son compuestos denominados como antinutricios, su presencia en los alimentos en cierta proporción resulta benéfica (Schlemmer *et al.*, 2009).

En la Figura 8 se presenta los tratamientos con las codificaciones y condiciones obtenidas por el diseño experimental mencionado:

	Patrón	Temp	Rpm	Humedad
1	+++	120	15	40
2	---+	100	15	40
3	----	100	15	30
4	---+	100	15	40
5	-+-	100	20	30
6	-++	100	20	40
7	+++	120	20	40
8	++-	120	20	30
9	---	100	15	30
10	000	110	17.5	35
11	-+-	100	20	30
12	000	110	17.5	35
13	000	110	17.5	35
14	-++	100	20	40
15	+++	120	20	40
16	+-	120	15	30
17	000	110	17.5	35
18	++-	120	20	30
19	+-	120	15	30
20	+++	120	15	40

Figura 8. Condiciones de los 20 tratamientos de extrusión

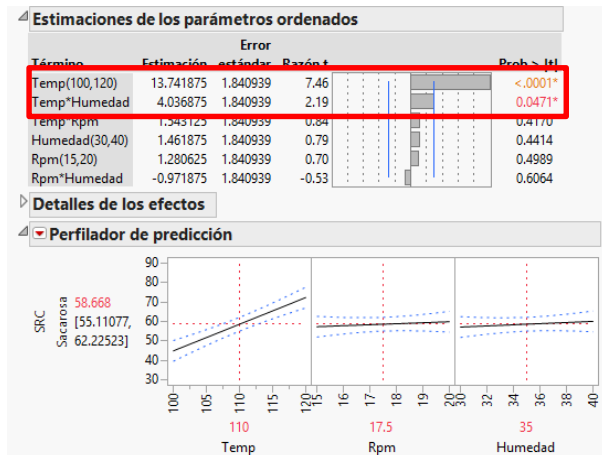
7.2.1 SRC sacarosa (Pentosas)



El análisis por ajuste de mínimos cuadrados de los datos sobre los valores de SRC sacarosa se presenta a continuación:

La Figura 9 nos muestra los resultados obtenidos frente a los resultados previstos por el modelo. Con un valor de ajuste de R^2 de 0.82. Así mismo, se observa que la H_0 es rechazada, es decir que si existe cambios dados por los tratamientos efectuados.

Figura 9. Análisis de los tratamientos sobre la respuesta de SRC sacarosa por ajuste de mínimos cuadrados



Las estimaciones de los parámetros nos ayudan a visualizar de manera rápida que el efecto de la interacción entre la temperatura y la humedad del material en el tratamiento resulta significativa en el cambio en la respuesta SRC sacarosa (Figura 10).

Figura 10. Análisis de los factores en la respuesta SRC sacarosa

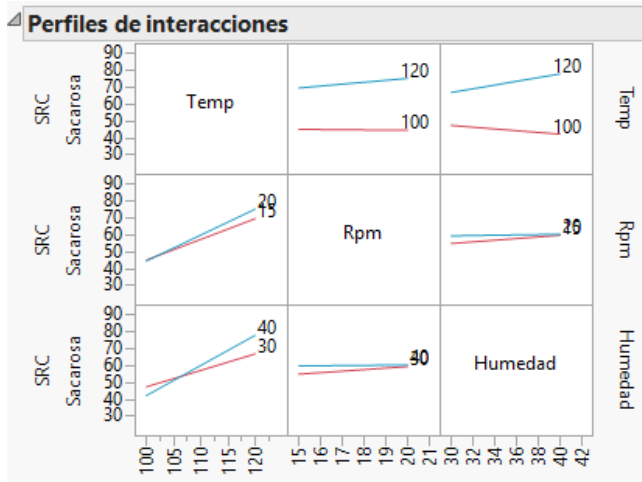


Figura 11. Interacciones de los factores de extrusión en la respuesta SRC sacarosa

En la Figura 11 se muestran los perfiles de las interacciones de los factores en sus distintos niveles. De esta manera puede apreciarse que al cambiar el nivel de humedad sólo cuando la temperatura es 120 °C se produce un incremento en la respuesta SRC sacarosa. Al contrario, cuando la temperatura es 100 °C el cambio en humedad induce una disminución.

El mejor tratamiento fue aquel con temperatura a 120 °C, sin presentar cambio significativo al cambio del nivel de humedad en relación a esta variable respuesta.

Para visualizar y entender de mejor manera el efecto de los factores de temperatura, humedad y su interacción, se generó una proyección 3D presentada en la Figura 12.

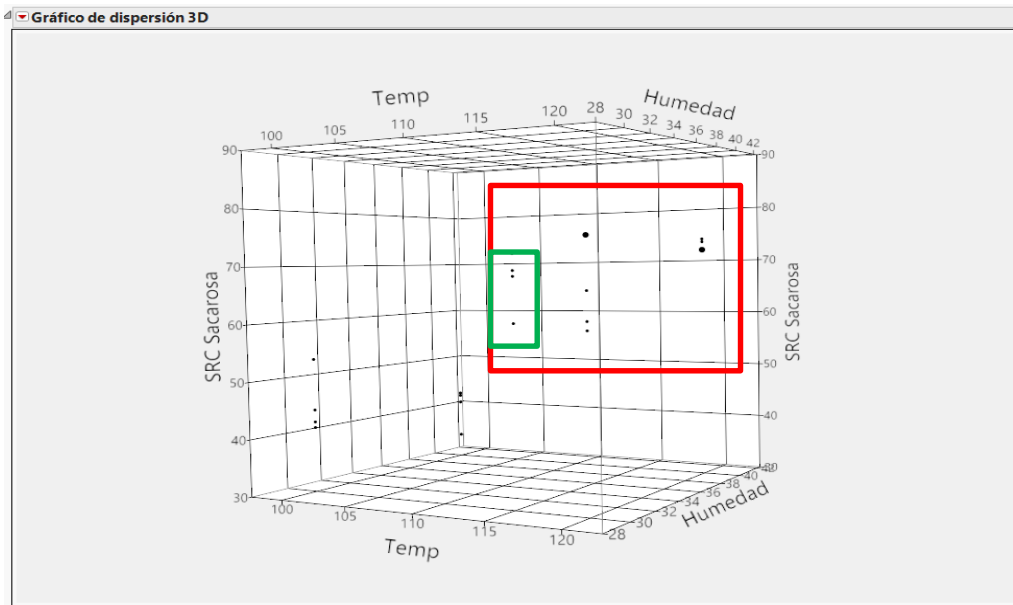
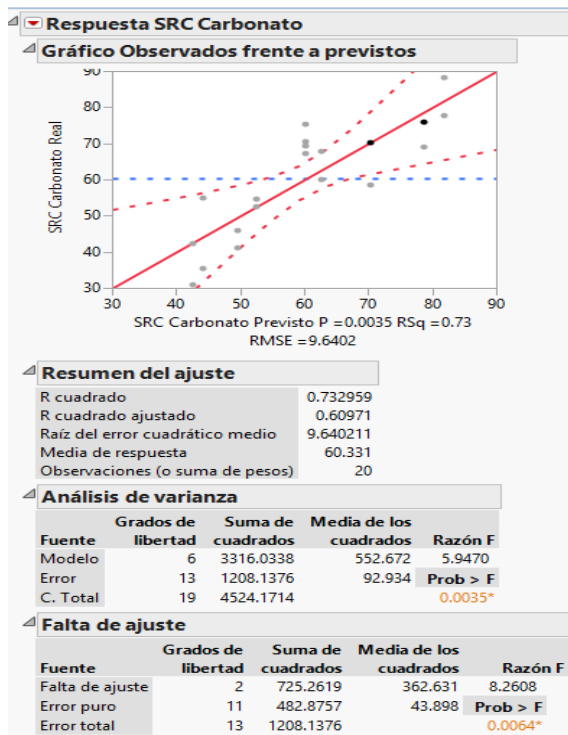


Figura 12. Proyección 3D de la respuesta SRC sacarosa en función de la temperatura y la humedad

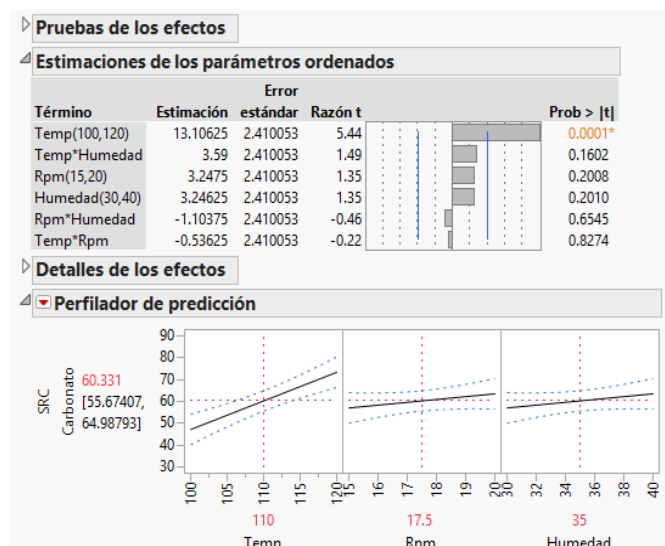
La proyección 3D nos permite observar de forma más dinámica el comportamiento de los datos respecto a las variables de interés seleccionadas; además, nos permite ver los puntos centrales dados por el diseño experimental para comprender mejor los datos y tomar decisiones con mayor confianza en los resultados. Este gráfico de nueva cuenta nos indicó que el cambio de los niveles de humedad no produjo cambios significativos en la respuesta, mientras que el aumento de temperatura si lo hizo. Lo relevante de dicha proyección fue la de poder visualizar tanto el efecto de la interacción, como de los puntos centrales de los factores. La respuesta obtenida con los puntos centrales de temperatura (110 °C) y humedad (35 %) resultó ser similar a la obtenida por los niveles más altos de temperatura y del efecto en conjunto de temperatura y humedad en su punto más alto. Los tratamientos con los niveles centrales presentaron un comportamiento más homogéneo durante el proceso de extrusión, por lo que fue importante analizar dichos datos junto con los costos tecnológicos y energéticos que esto podría significar.

7.2.2 SRC carbonato de sodio (Almidón dañado)



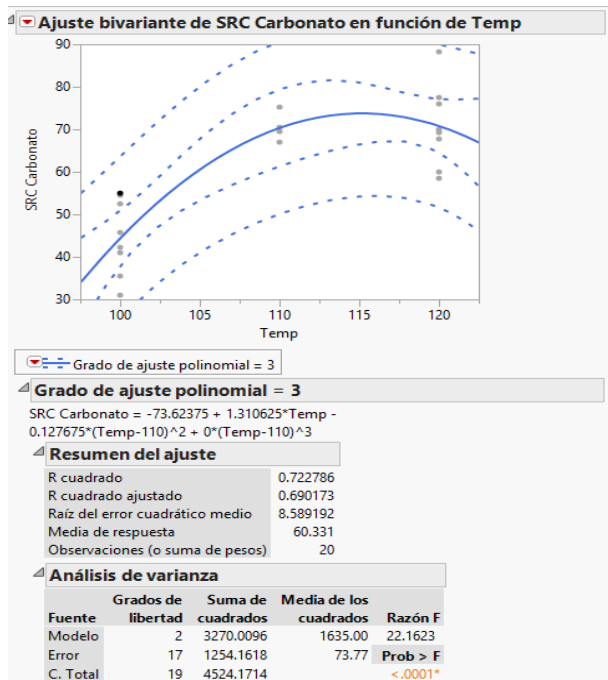
El modelo de los datos de SRC carbonato indica el rechazo de H_0 con una R^2 de 0.73 (Figura 13). Aunque este valor podría considerarse bajo para confiar en el ajuste del modelo, se analizó de manera específica cada variable para tener un mejor panorama.

Figura 13. Análisis de los tratamientos sobre la respuesta de SRC Carbonato por ajuste de mínimos cuadrados



Se muestra la tabla de las estimaciones de los parámetros, en la cual se observó que la variable temperatura también resultó un factor importante en el cambio de esta respuesta (Figura 14). En este caso no se reportaron interacciones entre los factores que fuesen significativas.

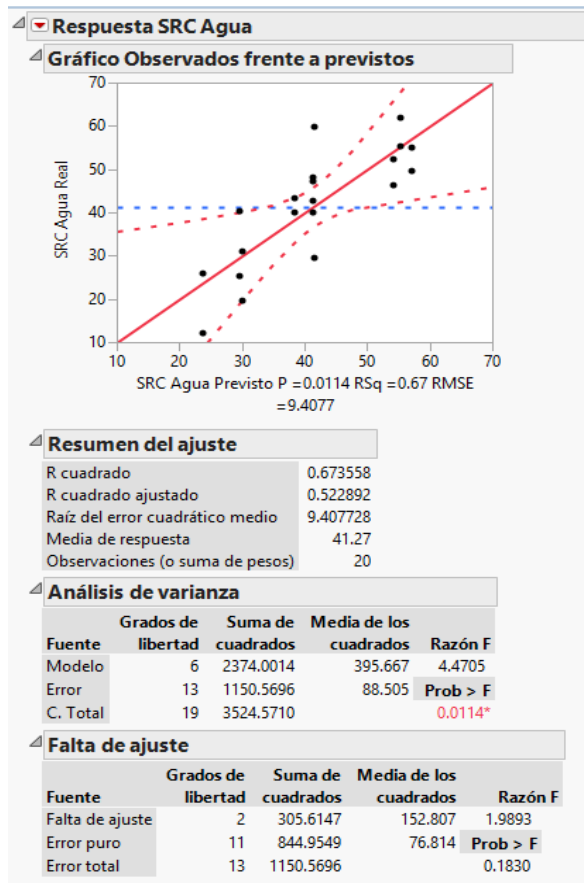
Figura 14. Análisis de los factores en la respuesta SRC Carbonato



Para observar mejor el efecto de la temperatura en esta respuesta, se ajustó un modelo cúbico y se proyectaron sus intervalos de confianza (Figura 15). El modelo presentó un valor de R^2 de 0.72. En este caso la proyección y sus intervalos de confianza presentaron mucha dispersión en los niveles de 100 °C y 120 °C, pero los datos centrales se situaron más cercanos a la línea de tendencia. En esta proyección también se observó una curvatura que nos podría estar indicando el estar en un óptimo o un punto silla. En ambos casos, el punto máximo se obtuvo justo en los niveles centrales para después decrecer conforme se fue aumentado el nivel en los factores.

Figura 15. Gráfica de respuesta SRC Carbonato en función de la temperatura

7.2.3 SRC agua (General)



Al evaluar los resultados de los tratamientos respecto al SRC de agua, el cual realiza un análisis general de las harinas, es cuestionable el valor de la R^2 que presentó el modelo (Figura 16). Sin embargo, éste fue solo una primera aproximación en el análisis de los resultados. El análisis de varianza de los datos nos indicó el rechazo de H_0 .

Figura 16. Análisis de los tratamientos sobre la respuesta de SRC agua por ajuste de mínimos cuadrados

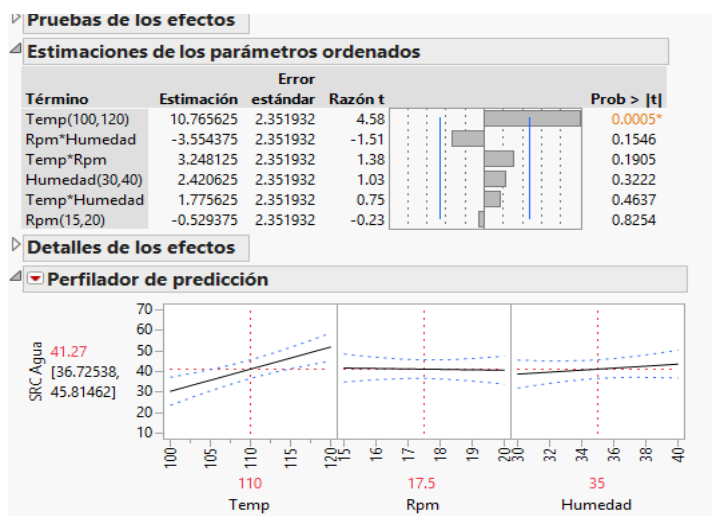


Figura 17. Análisis de los factores en la respuesta SRC Agua

7.2.4 Índice de Absorción de Agua (IAA)

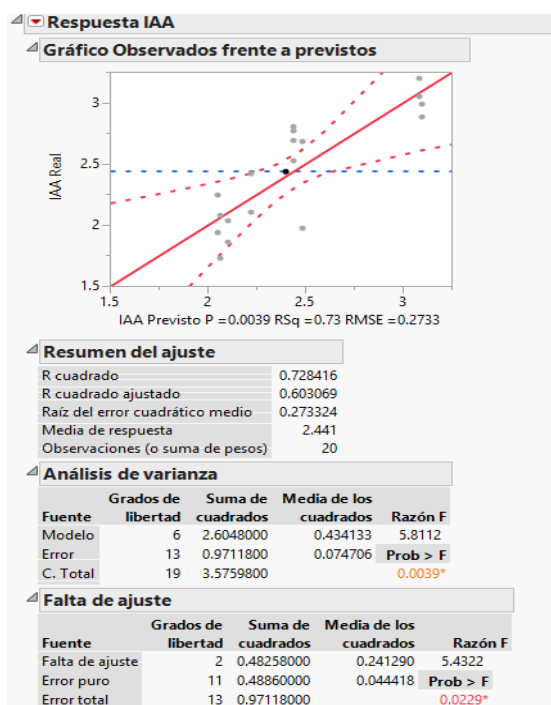


Figura 18. Análisis de los tratamientos sobre la respuesta de IAA por ajuste de mínimos cuadrados

La tabla de la estimación de los parámetros ordenados nos indicó nuevamente que la temperatura resultó ser el único factor significativo en el cambio de la respuesta SRC agua (Figura 17). El cambio en los niveles de los otros factores no supuso una variación de la respuesta.

A la par de las estimaciones dadas por el método SRC, se realizó la prueba de IAA para tener una opción más en la evaluación y selección de los mejores tratamientos en la búsqueda de la obtención de una harina de pulpa de café con características apreciables en panificación. El modelo tuvo una R^2 baja, con un valor de 0.72; así mismo, el valor de F nos permitió conocer el rechazo de H_0 (Figura 18).

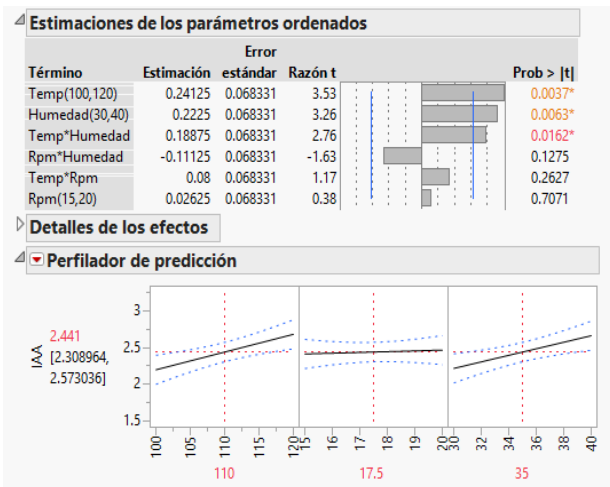


Figura 19. Análisis de los factores en la respuesta IAA

Las estimaciones de los efectos en IAA se muestran en la Figura 19; estos nos permitieron observar nuevamente que la temperatura resultó un factor significativo en la mejora o cambio de la respuesta. En este caso, la humedad por sí sola nuevamente no fue una variable significativa, pero sí su interacción con la temperatura.

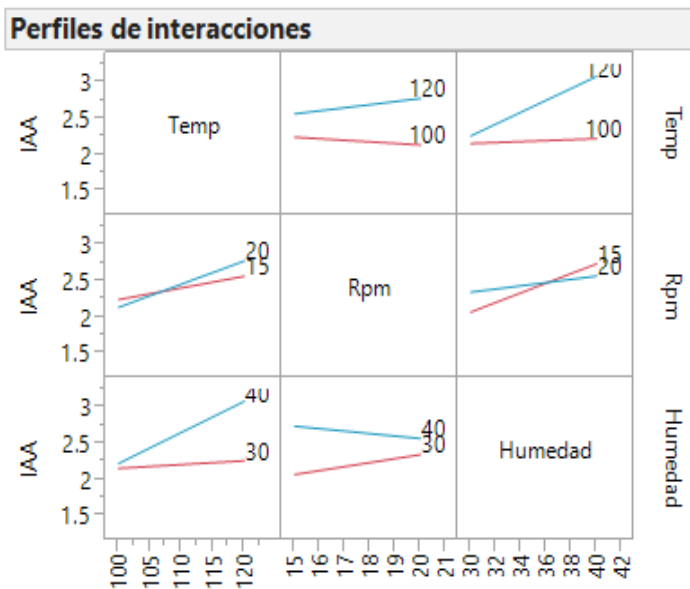


Figura 20. Perfil de interacciones de los factores de extrusión en la respuesta IAA

El perfilador de interacciones (Figura 20) nos permitió observar el efecto de la interacción entre temperatura y la humedad en la variable respuesta. Ésta fue observable a una temperatura de 100 °C. El aumento de la humedad no supuso algún cambio, pero sí se produjo un aumento en la variable respuesta cuando se incrementó el nivel de temperatura a 120 °C. Por otra parte, el mejor tratamiento fue a una temperatura de 120 °C y humedad al 40 %.

La proyección 3D de las respuestas en el índice de absorción de agua de las muestras extrudidas se muestra en la Figura 21. En ella podemos observar que el mejor valor en la respuesta de interés se obtuvo con los niveles más altos de los factores de humedad y temperatura; así mismo, se aprecia que los valores obtenidos por los puntos medios también se consideran buenos.

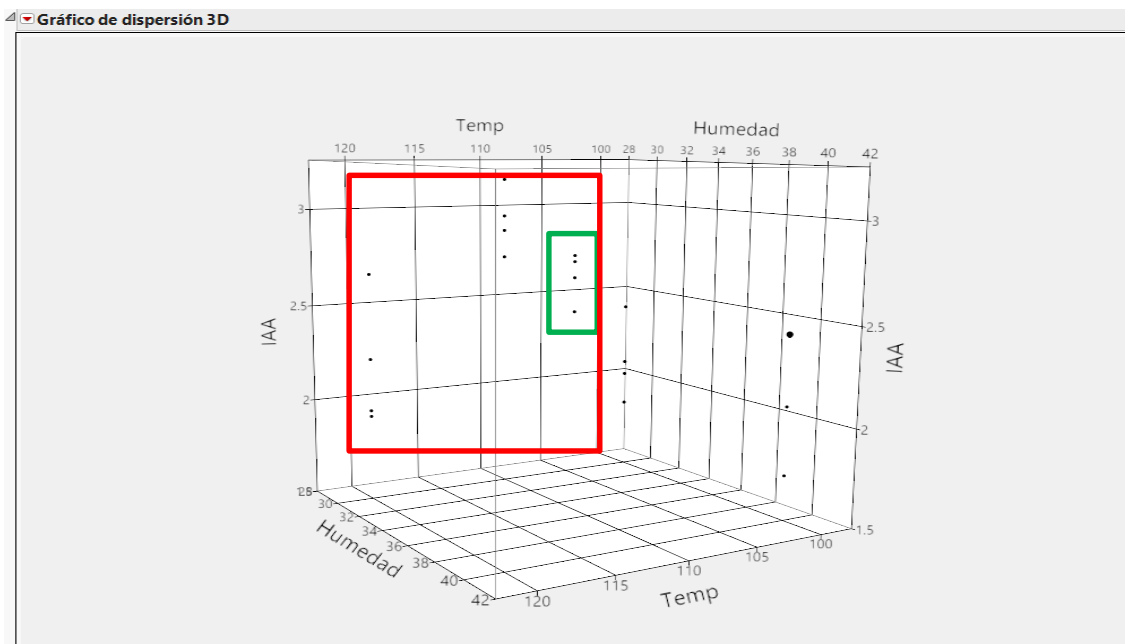


Figura 21. Proyección 3D de la respuesta IAA ante los factores de humedad y temperatura

A continuación se presenta el resumen de los resultados de cada tratamiento sobre las respuestas tecnológicas planteadas (Figura 22) y un Star-plot de los mismos (Figura 23) para facilitar el análisis de los datos y ubicar los mejores tratamientos:

	Patrón	Temp	Rpm	Humedad	Realizados	Sacarosa	Carbonato	SRC Agua	IAA
1	+++	120	15	40	14-11	73.48	69.13	54.98	2.99
2	---	100	15	40	14-11	43.1	35.41	39.88	2.44
3	---	100	15	30	14-11	42.41	30.89	31.1	2.03
4	---	100	15	40	27-11	42.59	55.02	43.42	2.43
5	--+	100	20	30	27-11	41.41	52.41	40.43	2.42
6	---	100	20	40	06-11	34.39	45.85	12.1	1.73
7	+++	120	20	40	06-11	74.01	77.56	55.36	3.05
8	+++	120	20	30	29-01	74.08	70.07	46.27	2.68
9	---	100	15	30	29-01	44.54	42.23	19.49	1.86
10	000	110	17.5	35	30-01	67.62	70.45	47.28	2.77
11	--+	100	20	30	30-01	53.53	54.53	25.18	2.1
12	000	110	17.5	35	30-01	68.68	69.38	55.17	2.99
13	000	110	17.5	35	01-02	59.02	67.09	42.65	2.96
14	---	100	20	40	01-02	41.21	41.03	25.96	2.08
15	+++	120	20	40	06-02	84.03	88.23	61.77	3.2
16	---	120	15	30	07-02	65.49	67.67	29.54	2.24
17	000	110	17.5	35	07-02	71.81	75.26	48.06	2.52
18	+++	120	20	30	08-02	60.7	58.52	52.38	2.51
19	---	120	15	30	08-02	59.26	59.93	59.93	2.63
20	+++	120	15	40	12-02	72	75.96	49.58	3

Figura 22. Tabla resumen de los tratamientos y las respuestas obtenidas

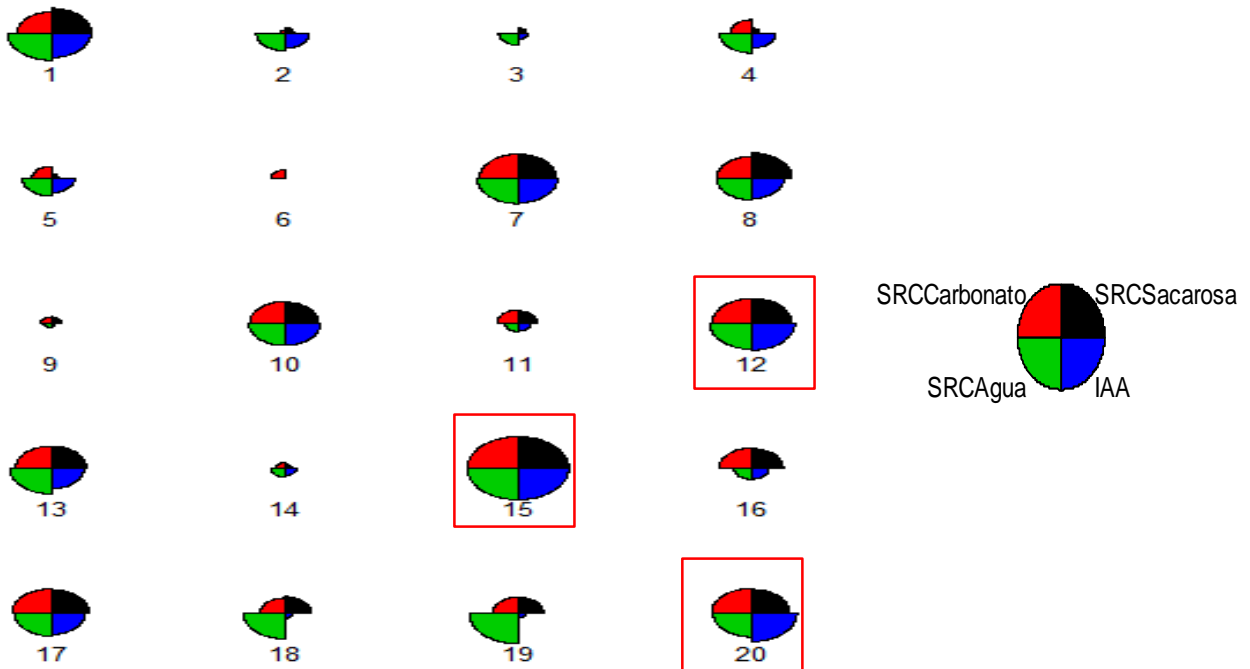


Figura 23. Star-plot de los 20 tratamientos de extrusión

El Star-plot obtenido de los resultados en cada tratamiento de extrusión nos permitió visualizar de mejor general las respuestas de cada prueba SRC e IAA, para seleccionar los tratamientos para la siguiente fase experimental (Figura 23). Para entender a la proyección obtenida, el tamaño de las áreas referentes a cada variable respuesta resulta proporcional a que tan benéfico es el valor en dicha respuesta, es decir, a un área mayor, mejor es el valor obtenido para un proceso de panificación. Basándonos en lo anterior, los tratamientos 12, 15 y 20 son los que presentan mejores valores en las variables tecnológicas; sin embargo, el tratamiento 15 fue descartado dado la variabilidad entre sus réplicas y su inestabilidad durante el proceso de extrusión, afectando su reproducibilidad. Por lo que, los tratamientos 12 y 20 fueron los seleccionados para continuar con las siguientes determinaciones.

Resumiendo, los tratamientos de extrusión tuvieron como efecto la mejora en las variables respuestas planteadas para la selección de una harina con características que beneficiasen su empleo en la formulación de productos de panificación. La temperatura resultó ser factor clave en la mejora de todas las pruebas realizadas a los productos de extrusión; dicha mejora se dio con el aumento de la temperatura. La interacción de la temperatura y humedad mejoró la respuesta en la respuesta para SRC sacarosa, SRC agua e IAA. El efecto de estos factores puede explicarse por la hidrólisis o ruptura de las cadenas poliméricas de hemicelulosa, celulosa de otros componentes de la pulpa de café, exponiendo de esta manera a algunos grupos funcionales (como grupos hidroxilo) de las cadenas de estos polímeros, aumentando así su interacción con el agua y solutos de las pruebas SRC aumentando la respuesta obtenida en cada medición (Cerón-Fernández *et al.*, 2016). Además, los puntos medios de los factores temperatura y humedad generaron respuestas similares a las obtenidas por los niveles más altos y con mayor homogeneidad entre y durante los tratamientos.

7.2.5 Análisis fisicoquímicos de las harinas extrudidas

Los análisis fisicoquímicos consistieron en un análisis de viscosidad (Rapid Visco Analyzer), la determinación de fenoles totales, determinación de cafeína, determinación de fitatos y determinación de azúcares reductores (DNS).

7.2.5.1 Viscoamilograma (RVA)

El análisis de viscosidad nos permite conocer el grado de severidad del tratamiento de extrusión sobre el material de interés y en específico sobre el almidón presente en él (Figura 24). Por medio de dicho análisis se obtienen 3 valores principales: la viscosidad de empaste, el pico de viscosidad y la viscosidad final (Tabla 13).

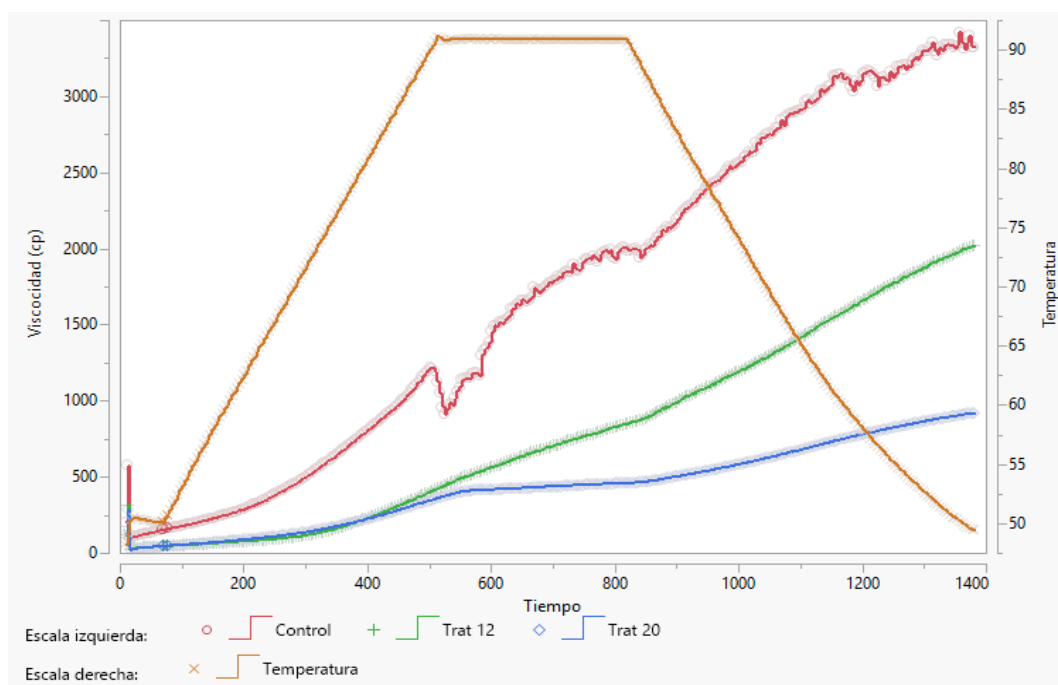


Figura 24. Gráfica de análisis de viscosidad

Iniciando con el punto de viscosidad de empaste, se observó una disminución en dicho valor para las muestras extrudidas respecto al control: para el tratamiento 12 se obtuvo un valor de 115 cp y de 81 cp en el tratamiento 20, mientras que el tratamiento control obtuvo 265 cp (Tabla 13). La disminución en esta variable respuesta puede asociarse al estado de pre-gelatinización en el que se encuentra

el gránulo de almidón por el tratamiento de extrusión; éste provoca la ruptura de los puentes de hidrógeno tanto de la relación amilosa-amilopectina como de las mismas cadenas lineales de glucosa de las que están conformadas, dejando grupos hidroxilo libres que puedan interactuar con las moléculas de agua con mejor estabilidad y, gradualmente conforme la temperatura aumenta, disminuyendo el valor inicial de la viscosidad de la pasta durante el análisis (Ferreira-Cardoso et al., 2014). La viscosidad de empaste indica el punto al cual registra un aumento progresivo en la viscosidad asociado a la interacción entre los componentes del material y el agua, como el hinchamiento de los gránulos de almidón, generando el aumento en la viscosidad (Lima et al., 2012). En cuanto al pico de viscosidad, los tratamientos de extrusión mostraron valores menores respecto al control (1217 cp), siendo de 428 cp para el tratamiento 12 y 410 cp para el tratamiento 20. Dichas diferencias en los valores entre los tratamientos de extrusión y el control se fundamentan en las características del estado de pregelatinización, estado que además de ser irreversible, permite la formación de geles (gelatinización) más rápido, a menor temperatura, ser más estables al aumento de temperatura y a la retrogradación (Álvarez, 2016); como en este caso se presenta en la gráfica (Figura 24). El pico de viscosidad consiste en el punto máximo de viscosidad que alcanza el material, en donde la mitad de los gránulos se encuentran hinchados y la otra mitad sufre de una ruptura, provocando la dispersión en la disolución de las moléculas de las que está conformado el gránulo (principalmente amilosa), provocando la disminución en la viscosidad.

La viscosidad final hace referencia al punto máximo de viscosidad que alcanza la muestra al enfriarse en el fin de la prueba y, en conjunto con la viscosidad media tras el punto de ruptura o “breakdown” de viscosidad, nos permite conocer el grado de retrogradación que puede tener la muestra. En los tratamientos de extrusión 12 y 20 se alcanza una viscosidad final de 2021 y 923 cp, respectivamente, y para el tratamiento control de 3327 cp. En la gráfica de RVA (Figura 24) se pudo observar que únicamente la muestra del tratamiento control presentó “breakdown”

o ruptura para luego ir aumentando nuevamente la viscosidad, mientras que para los tratamientos de extrusión se siguió mostrando un incremento gradual y estable en la viscosidad. Dichas tendencias en las muestras extrudidas indican un menor grado de retrogradación, siendo el tratamiento 20 el que cuenta con menor valor, considerado esto beneficioso en dicha característica, mientras que el tratamiento control muestra evidente tendencia a la retrogradación. En la industria de panificación, la retrogradación es una de las principales causas asociadas al deterioro de dichos productos, y consiste en el reordenamiento de las cadenas de amilosa y amilopectina que favorecen la liberación del agua que fue retenida durante el proceso de panificación, dando como resultado el endurecimiento de la miga y la proliferación de hongos y levaduras (Wang *et al.*, 2015).

Tabla 13. Propiedades de pasta de las harinas extrudidas y el control

Tratamiento	Viscosidad de empaste (cp)	Pico de viscosidad (cp)	Viscosidad final (cp)
Control	265 ± 77	1217 ± 472	3327 ± 345
Tratamiento 12	115 ± 6	428 ± 3	2021 ± 23
Tratamiento 20	81 ± 4	410 ± 5	923 ± 31

7.2.5.2 Determinación de compuestos fenólicos totales

Se determinó el contenido de fenoles totales en los tratamientos de extrusión seleccionados y el tratamiento control (Figura 25), constatando un incremento de un 45 % (55.1 mg EAG) para el tratamiento 12 y de un 63 % (63.4 mg EAG) para el tratamiento 20, respecto al contenido de fenoles totales del tratamiento control (37.7 mg EAG). Dicho incremento podría asociarse a la liberación de los compuestos fenólicos ligados a la matriz fibrosa de la que está constituida la pulpa de café y cuya liberación se promueve por el efecto del cizallamiento, temperatura y presión

generadas durante el proceso de extrusión, dando como resultado la ruptura de la estructura de la pared celular de la pulpa de café (hemicelulosa y celulosa principalmente). Lo anterior permite la liberación de estos compuestos ligados y aumentado la concentración de compuestos fenólicos libres (Zhang *et al.*, 2017).

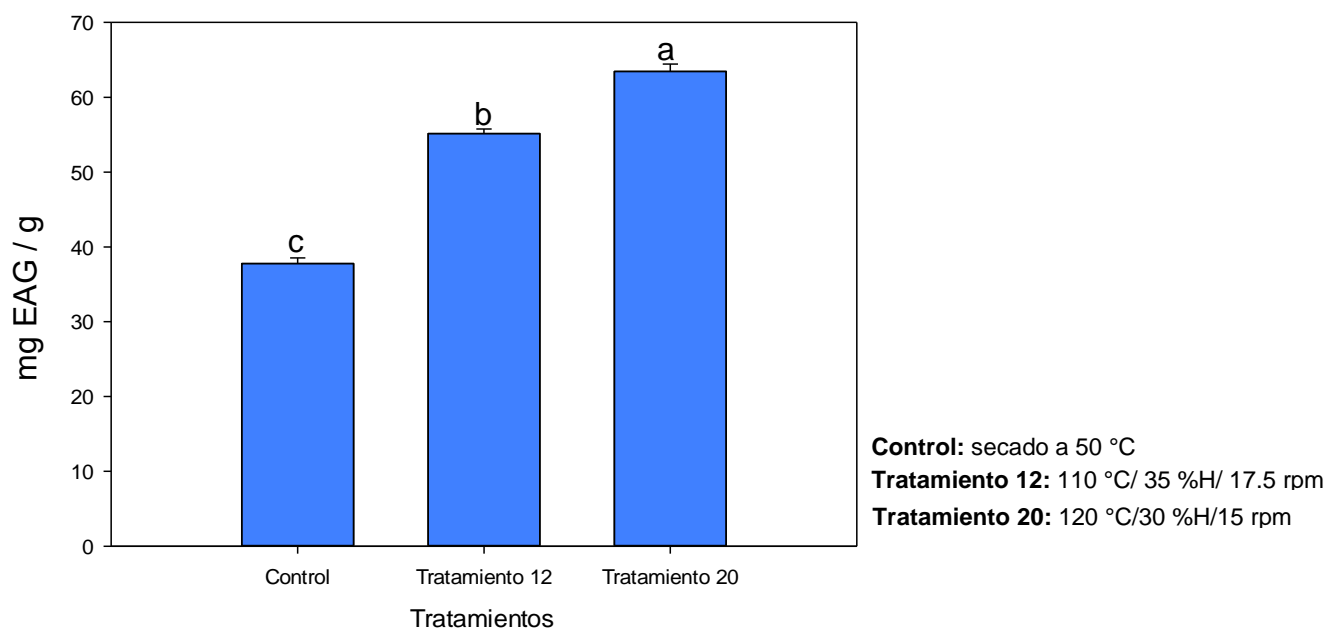


Figura 25. Contenido de compuestos fenólicos totales en los tratamientos seleccionados y control (mg EAG/g PC)

Los resultados representan los promedios de las concentraciones de fenoles totales en los tratamientos (n=3) \pm la DE. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$).

7.2.5.3 Determinación de cafeína

Como en el caso de los compuestos fenólicos, se observó un incremento en la concentración de cafeína en las harinas obtenidas mediante extrusión. El incremento fue de un 30 % (14.2 mg/g) para el tratamiento 12 y de un 34 % (14.7 mg/g) para el tratamiento 20, respecto a la muestra control con 10.9 mg/g (Figura 26). Dicho incremento se asocia al efecto de corte mecánico producido dentro del extrusor, permitiendo la liberación de las moléculas de cafeína internalizadas en la matriz de la pulpa de café (Lingxiao Yang *et al.*, 2014).

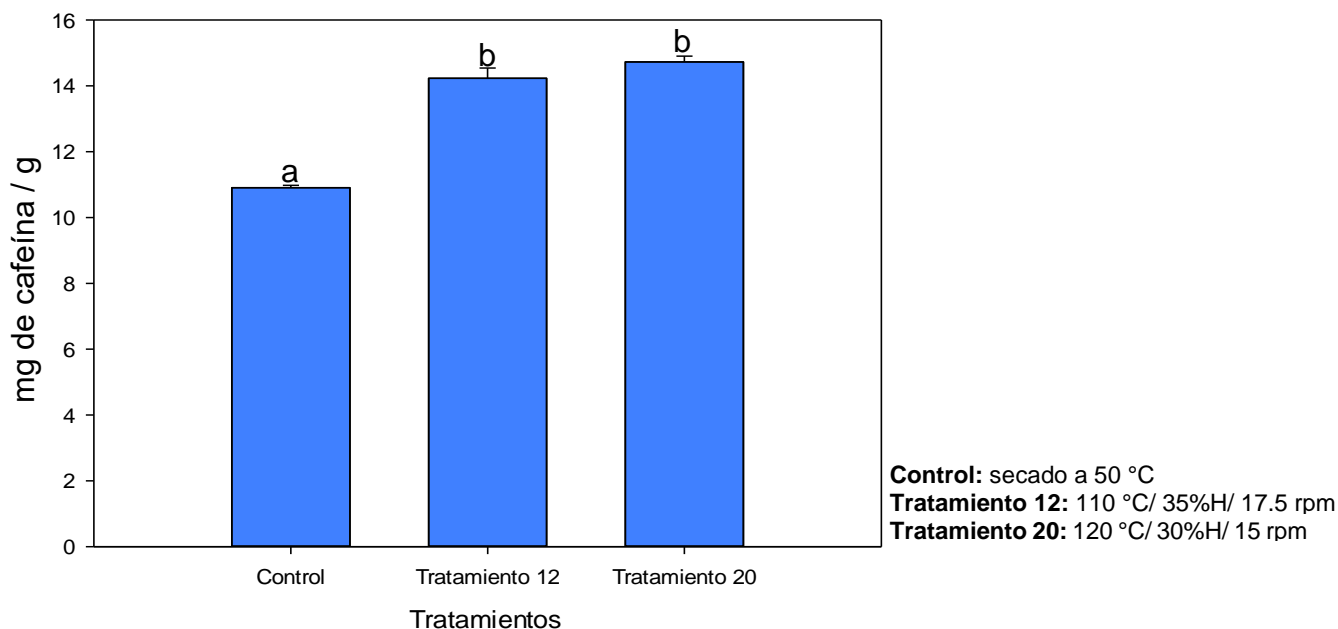


Figura 26. Contenido de cafeína en los tratamientos seleccionados y control

Los resultados representan los promedios de las concentraciones de cafeína en los tratamientos ($n=3$) \pm la DE. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$).

7.2.5.4 Determinación de fitatos

Los resultados obtenidos de la determinación de fitatos indican una disminución en el contenido de ácido fítico en las harinas obtenidas mediante extrusión. El tratamiento sin extrusión tuvo una concentración de 0.86 % de ácido fítico en base seca, mientras que el tratamiento 12 fue de 0.56 % y 0.52 % para el tratamiento 20, sin reportar diferencias estadísticas entre los tratamientos de extrusión (Figura 27). La reducción en la concentración de este compuesto denominado como antinutriente puede asociarse a su hidrólisis debido a la aplicación de energía térmica efectuada dentro del barril del extrusor (Albarracín *et al.*, 2014). Cuando el ácido fítico (hexafosfato de inositol o IP6) es hidrolizado se liberan grupos fosfatos formando fracciones de este compuesto como penta- o tetrafosfatos de

inositol, en estas nuevas conformaciones la inhibición en la absorción de minerales se ve reducida en comparación a su forma IP6 (Alonso *et al.*, 2001).

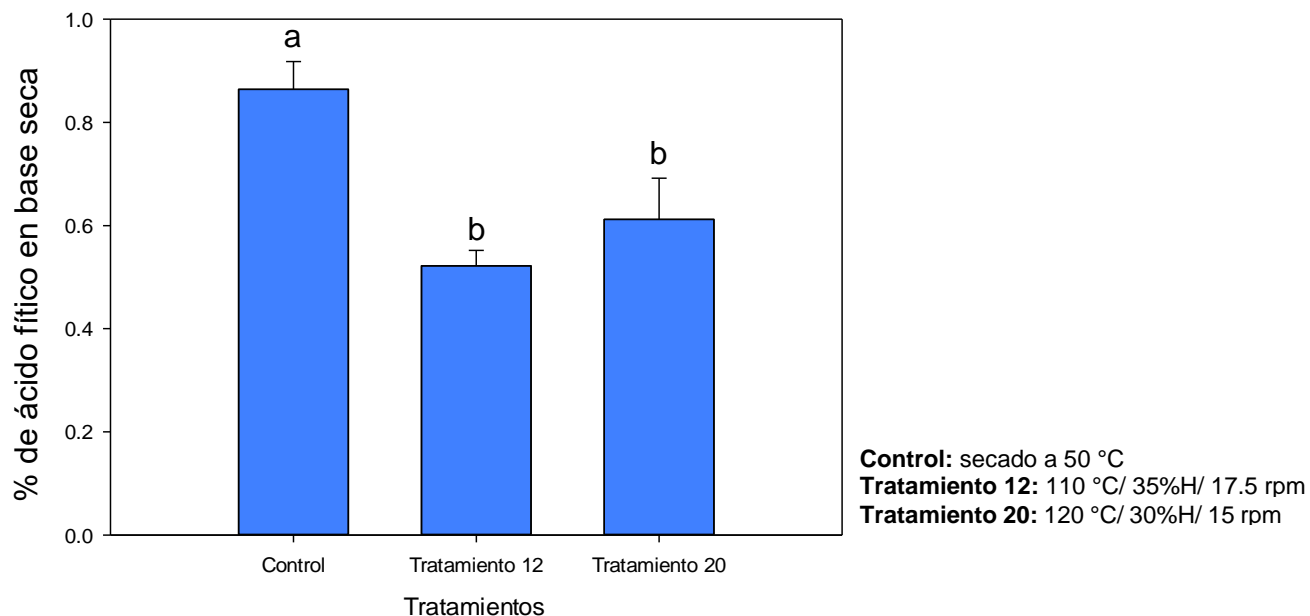


Figura 27. Contenido de ácido fítico en los tratamientos seleccionados y control

Los resultados representan los promedios de las concentraciones de fitatos en los tratamientos (n=3) \pm la DE. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$).

7.2.5.5 Determinación de azúcares reductores

El contenido de azúcares reductores de los tratamientos 12 y 20 fue 42.2 mg/g y 31.4 mg/g, respectivamente; mientras que, para el tratamiento control se determinó una concentración de 30 mg/g (Figura 28). Si bien es evidente el incremento de estos azúcares en el tratamiento 12, para el tratamiento 20 no se observó un cambio significativo respecto al control. Esto podría asociarse a la reacción de Maillard, reacción que usa como sustrato a los azúcares reductores y que es promovida conforme se va aumentando la energía térmica que se aplica (Hellwig y Henle, 2014); en este caso, el tratamiento 20 es un tratamiento con un nivel de temperatura mayor que la del tratamiento 12. Esta determinación se realizó

con la finalidad de asociar indirectamente el incremento de azúcares reductores con la ruptura de los componentes fibrosos mayoritarios (hemicelulosa y celulosa) de lo que está constituida la pulpa, por efecto de cizallamiento producido dentro del extrusor. Estos resultados fueron similares por lo reportado por Heredia-Olea y colaboradores (2015), quienes evaluaron distintos parámetros de un proceso extrusión con la finalidad de obtener azúcares libres a partir de bagazo de sorgo para la producción de bioetanol.

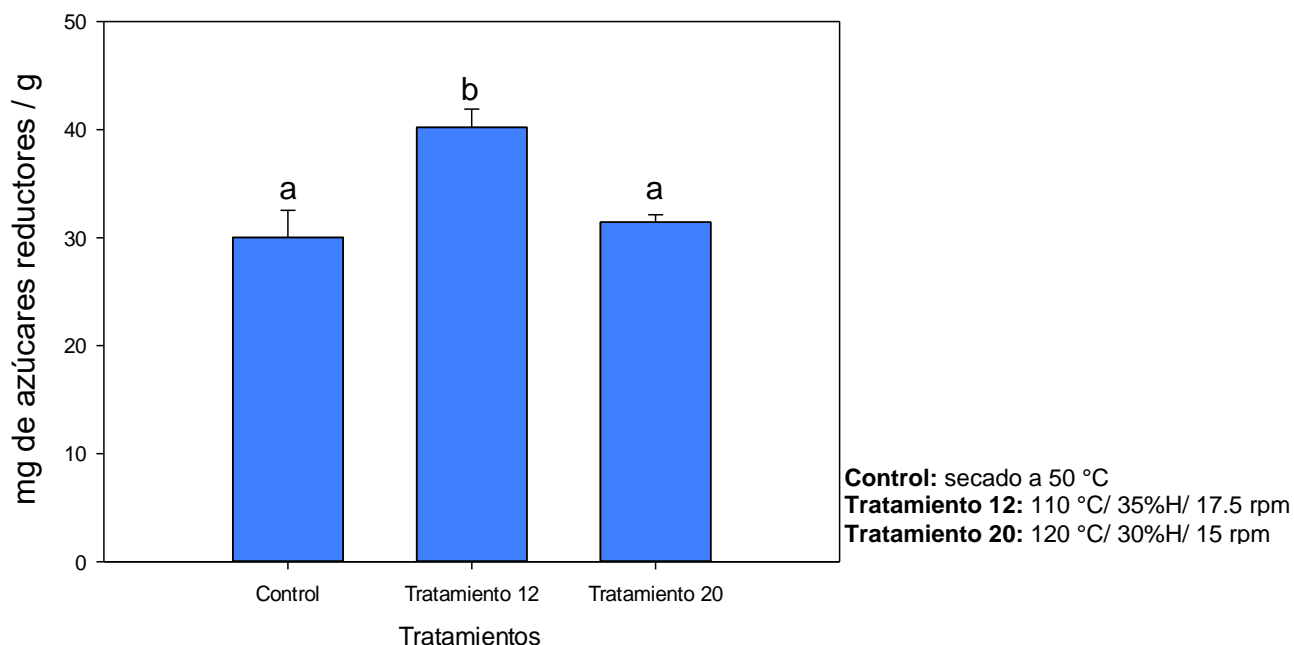


Figura 28. Contenido de azúcares reductores en los tratamientos seleccionados y control

Los resultados representan los promedios de las concentraciones de azúcares reductores en los tratamientos ($n=3$) \pm la DE. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$).

7.2.6 Selección de harina para las formulaciones

Se generó un Star-plot para mostrar a manera de resumen cada una de las características medidas en las harinas obtenidas de los tratamientos de extrusión y el tratamiento control (Figura 29). La proyección toma como valor “0” al valor más bajo o menos benéfico de cada característica en todos los tratamientos y como “1” o máximo al valor más alto que se presente en alguno de los tratamientos.

De acuerdo a lo anterior, el tratamiento control mostró la mayor concentración de fitatos (0.864 %) dentro de los tratamientos y los valores más bajos en las demás características. Estos valores eran los que se esperaban en este tratamiento puesto que consiste en un tratamiento de secado, por lo que no hay una modificación fisicoquímica en las respuestas de interés.

El tratamiento 12 (110 °C, 17.5 rpm y 35 % humedad) presentó buenas respuestas en las determinaciones de SRC agua, sacarosa, carbonato y el índice de absorción de agua, un contenido interesante de compuestos fenólicos totales (55.1 mg EAG/g) y cafeína (14.2 mg/g). El tratamiento 20 resaltó por tener los valores más altos en las respuestas de los parámetros tecnológicos (SRC y IAA), así mismo es el tratamiento con las lecturas más altas en compuestos fenólicos totales (63.4 mg EAG/g) y cafeína (14.7 mg/g). Si bien, fue evidente que el tratamiento 20 presentó las mejores características, se seleccionó al tratamiento 12 para llevar a cabo las siguientes fases experimentales de este proyecto. La razón se fundamentó en primera instancia, a una menor homogeneidad entre sus repeticiones y su inestabilidad durante el tratamiento de extrusión mismo, obteniendo resultados poco confiables y replicables, probablemente por las características técnicas que presentó el extrusor monotornillo, dificultando el procesamiento de materiales con un alto contenido de componentes fibrosos. Además, como punto a favor del tratamiento 12, éste tiene un menor consumo de energético y logró resultados similares a los logrados por el tratamiento 20.

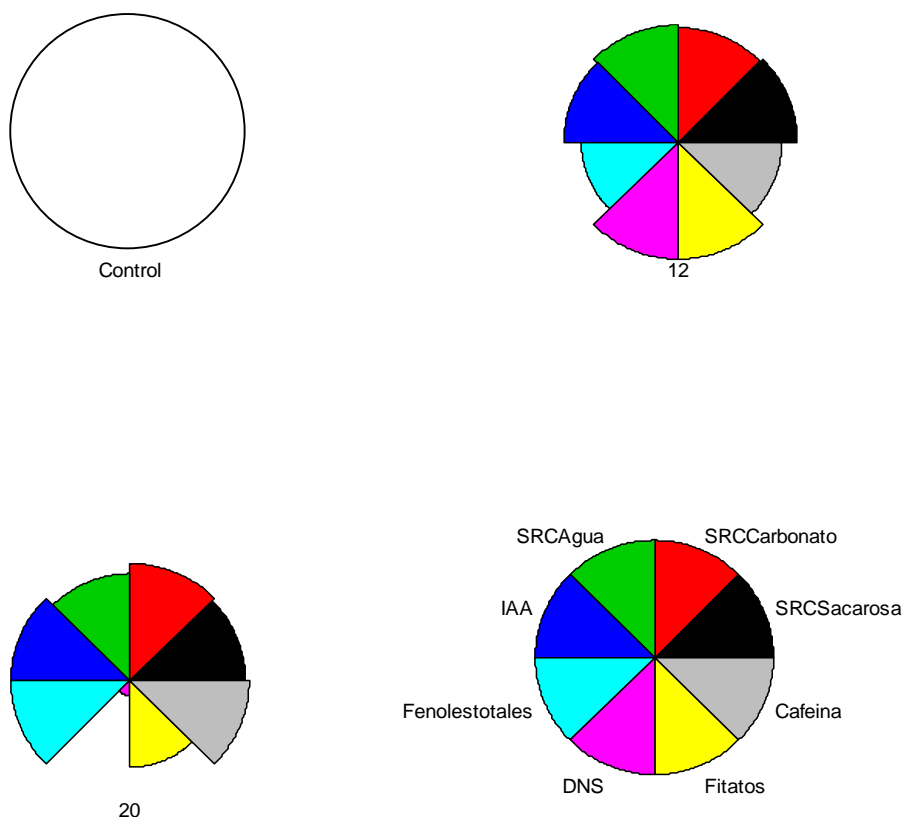


Figura 29. Star-plot de las determinaciones en las harinas extrudidas y control

La caracterización proximal de la harina seleccionada (Tabla 14) permite resaltar su contenido de fibra dietaria de hasta un 55 %, lo que puede categorizarla como una harina alta en fibra dietaria, y de una proporción de proteína de un 11 %, teniendo una contenido mayor de fibra dietaria y similar de proteína que las harinas de alto valor nutricional como la harina de quínoa (Vásquez et al., 2016) ó harina de chía (Sandri et al., 2017).

Tabla 14. Caracterización proximal de la harina obtenida del tratamiento 12

	% en base seca
Lípidos	0.60 ± 0.16
Cenizas	0.69 ± 0.07
Proteína cruda	11.48 ± 0.75
Fibra cruda	14.41 ± 0.38

Extracto libre de nitrógeno	72.79 ± 0.67
Fibra total	51.22 ± 4.96
Fibra insoluble	41.96 ± 1.88
Fibra soluble	9.26 ± 3.19

Los resultados representan los promedios (n=3) ± la DE

7.3 Resultados de los análisis sensoriales Flash Profiling de aceptación de productos formulados.

7.3.1 Productos formulados con harina de pulpa de café (PC) y harina de trigo

En la figura 30 se muestra un análisis Procrusteano Generalizado (GPA), el cual nos ayuda a conocer la consistencia de las evaluaciones de los productos entre los participantes. Donde irregularidades en las evaluaciones de las muestras por parte de cada juez se mostrarán con líneas más distantes del centro de cada producto; además, entre más cercanos sean estos punto centrales generados por la proyección nos indicara que tan similares o diferentes fueron las muestras para los consumidores. Con lo anterior es posible mencionar que los productos con la inclusión de la harina PC resultaron ser similares para los evaluadores, puesto que se agrupan a un lado de la proyección obtenida; mientras que, el producto control queda aislado en otro sector, esto debido a las características sensoriales que aporta la harina PC. En cuanto a las evaluaciones entre participantes, la proyección GPA nos indicó que el producto control fue evaluado con más homogeneidad que los productos propuestos (F1:10 % y F2:15 %). Dichas variaciones podrían asociarse a que ambos productos parecieron ser muy semejantes para los participantes, complicando el encontrar diferencias entre productos y forzándolos a

dar con dichas diferencias obteniendo irregularidades en las evaluaciones dependientes de cada evaluador.

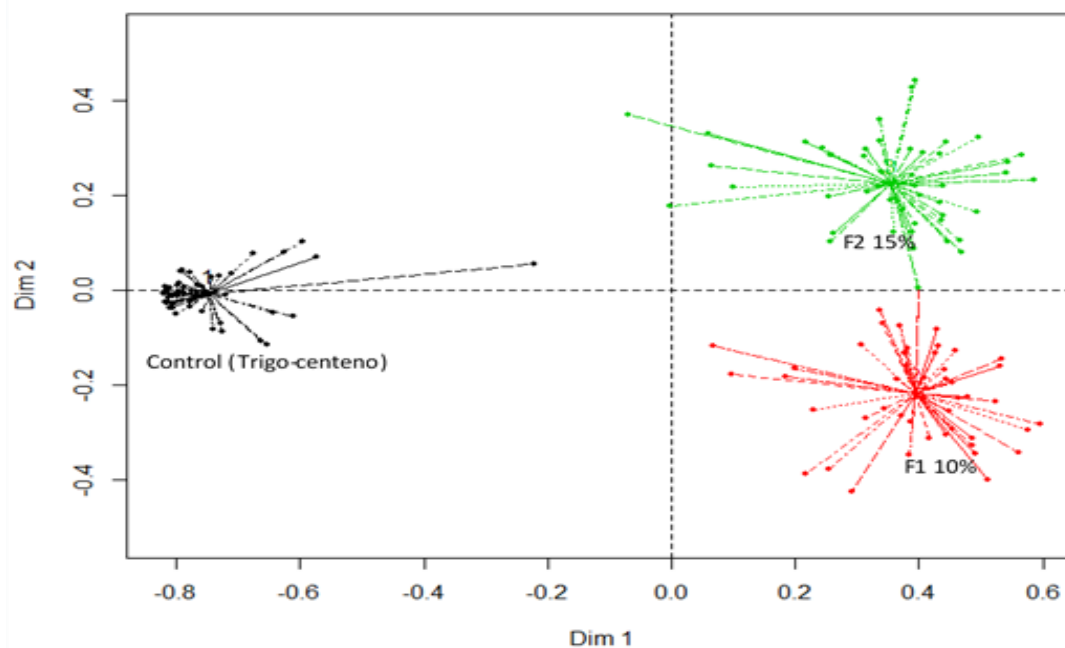


Figura 30. Proyección del análisis Procrusteano generalizado (GPA) de las evaluaciones a los productos formulados con harina PC y trigo

Se realizó un análisis de factores múltiples (MFA) para conocer como fueron percibidos los productos formulados y el control por los evaluadores en cuanto a las características individuales importantes para un producto de panificación (Figura 31). Las proyecciones obtenidas recuperaron el 100 % de la información, por lo que pueden considerarse confiables. La primera dimensión recuperó el 80.47 % de la información; en su lado positivo se posicionaron los productos con una mejor aceptación general, de sabor y de aroma; para el lado negativo de dicho eje se posicionaron aquellos productos con sabor ácido marcado y una textura dura de la miga del pan. La segunda dimensión recuperó el 19.53 % de la información; en su lado positivo se posicionaron aquellos productos con un aroma intenso a pan y del lado negativo los productos con un tamaño de burbujas grandes en la miga. Resumiendo los puntos anteriores, el producto control fue el de peor aceptación para los consumidores teniendo como características principales una textura muy

dura y un sabor ácido remarcado proporcionado por la presencia harina de centeno en su formulación. Los productos formulados resultaron ser similares en cuanto a su aceptabilidad de general, de sabor y de aroma; sin embargo, los productos presentaron diferencias entre ellos en dos características: la formulación F2:15 % presentó un aroma más intenso que la formulación F1:10 % y esta última un tamaño de burbujas más pequeñas; pareciendo ser estas dos características clave en la aceptación o diferenciación en este tipo de producto de panificación.

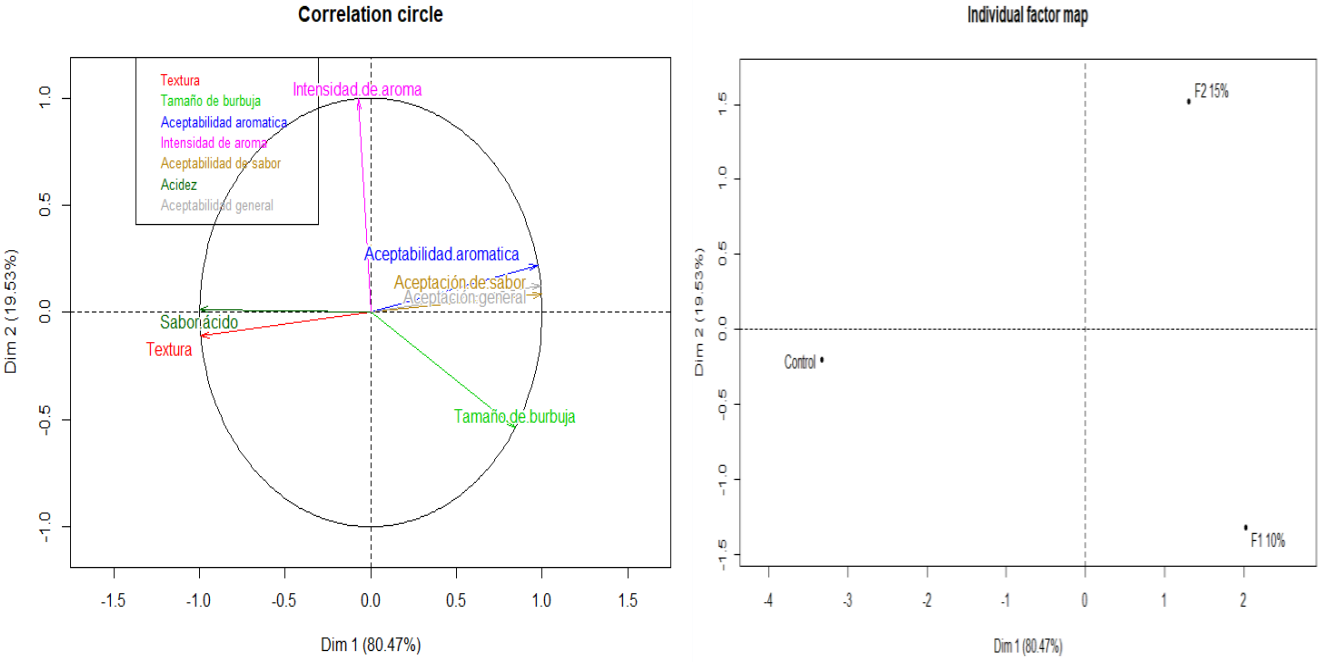


Figura 31. Proyección del análisis de factores múltiples (MFA) de las evaluaciones a los productos formulados con harina PC y trigo

Con las proyecciones obtenidas y las hojas de evaluación se generó una tabla con las características sensoriales relevantes de los productos (Tabla 15).

Tabla 15. Resumen de las evaluaciones sensoriales de los productos formulados con harina PC y trigo

Producto	Textura	Tamaño de burbuja	Sabor	Acidez	Intensidad aroma	Aroma	Aceptabilidad general
Control	Dura	Grande	Malo	Muy ácido	Medio	Ácido, no agradable	Bajo
F 10 %	Suave	Pequeña	Agradable, ligeramente dulce	Ligera	Bajo	Agradable, ligeras notas a tostado	Alto
F 15 %	Suave-media	Mediano	Agradable con notas acidas y herbales	Ligera-media	Alto	Agradable con notas herbales y a pan	Alto

7.3.2 Productos formulados libres de gluten

Se obtuvo una proyección de un análisis Procrusteano Generalizado (GPA) para conocer la consistencia de las evaluaciones en las formulaciones libres de gluten (Figura 32). La proyección GPA de las formulaciones libres de gluten muestra que los productos con la inclusión de harina PC se agruparon a un lado del mapa obtenido, diferenciándose así del producto control, debido a las características organolépticas que proporcionan la harina PC. Si bien, las formulaciones con harina PC se distinguen entre sí, presentaron muchas irregularidades en su evaluación por parte de los participantes, mientras que la muestra control fue evaluada con más homogeneidad entre los evaluadores.

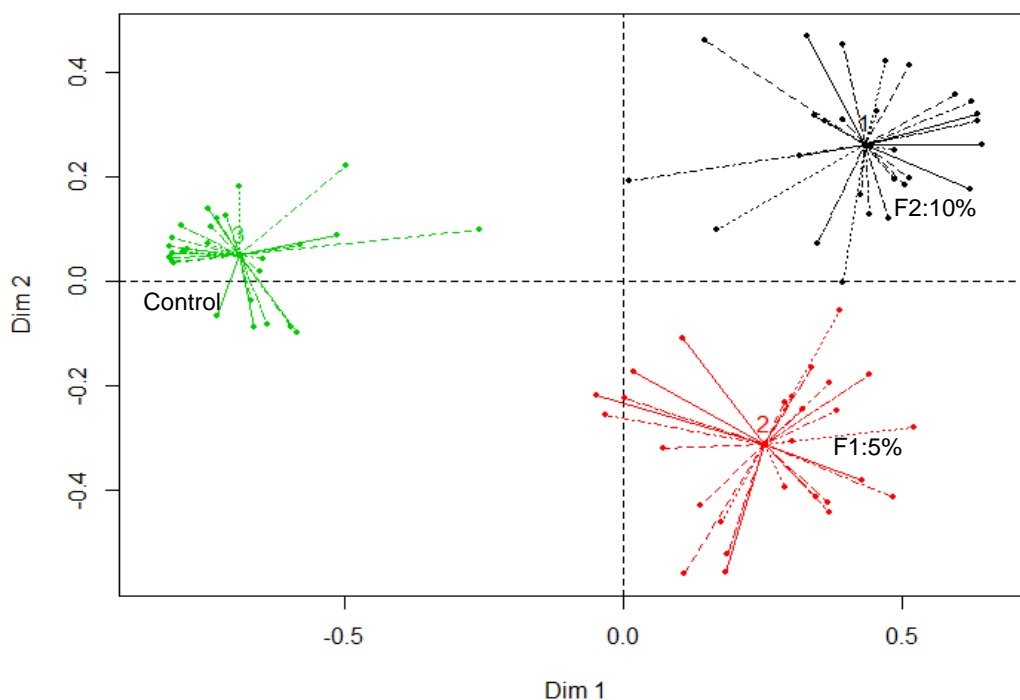


Figura 32. Proyección GPA de los productos formulados con harina PC libres de gluten

Los datos de la evaluación sensorial de las formulaciones libres de gluten analizados por MFA, recuperaron el 100 % de la información y se muestran en la Figura 33. En su primera dimensión (94.94 % de la información), de lado positivo se posicionaron aquellos productos con evaluaciones positivas en cuanto a características como un aroma agradable a pan, una miga agradable y una mejor aceptación general de los productos y en su lado negativo aquellos productos con características sobresalientes como una textura muy dura y un aroma ácido. Para la segunda dimensión, la cual recuperó el 5.08 % de la información, en su lado positivo se posicionaron los productos con un sabor ácido marcado y en su eje negativo, productos con buena aceptación de sabor. Con la información proporcionada por el mapa obtenido por MFA fue posible distinguir las características sensoriales de cada producto. El producto F1 (10 % Harina PC) se caracteriza por un sabor ácido y una textura dura, dicha combinación de características lo posicionan como el producto con el valor de aceptación más bajo

por parte de los participantes. Por el contrario, el producto F2:5 % (Harina PC) se caracterizó por tener una textura de miga dura, un aroma y sabor ligeramente ácido, pero con una mejor aceptación de sabor y mejor aceptación general que la F 1. Por último, el producto control fue el que obtuvo una mejor aceptación general y mejores valores en las características de aceptabilidad de aroma, de miga y sabor de los productos de panificación. Con estos resultados resulta necesario el desarrollar una mejor formulación de los productos libres de gluten, siendo éstos un reto tecnológico para la industria de alimentos. Por lo anterior, es necesario el continuar con diversos experimentos y pruebas con distintos ingredientes y aditivos para obtener un producto que resulte competitivo tanto sensorial como económicamente a los productos libres de gluten presentes en el mercado.

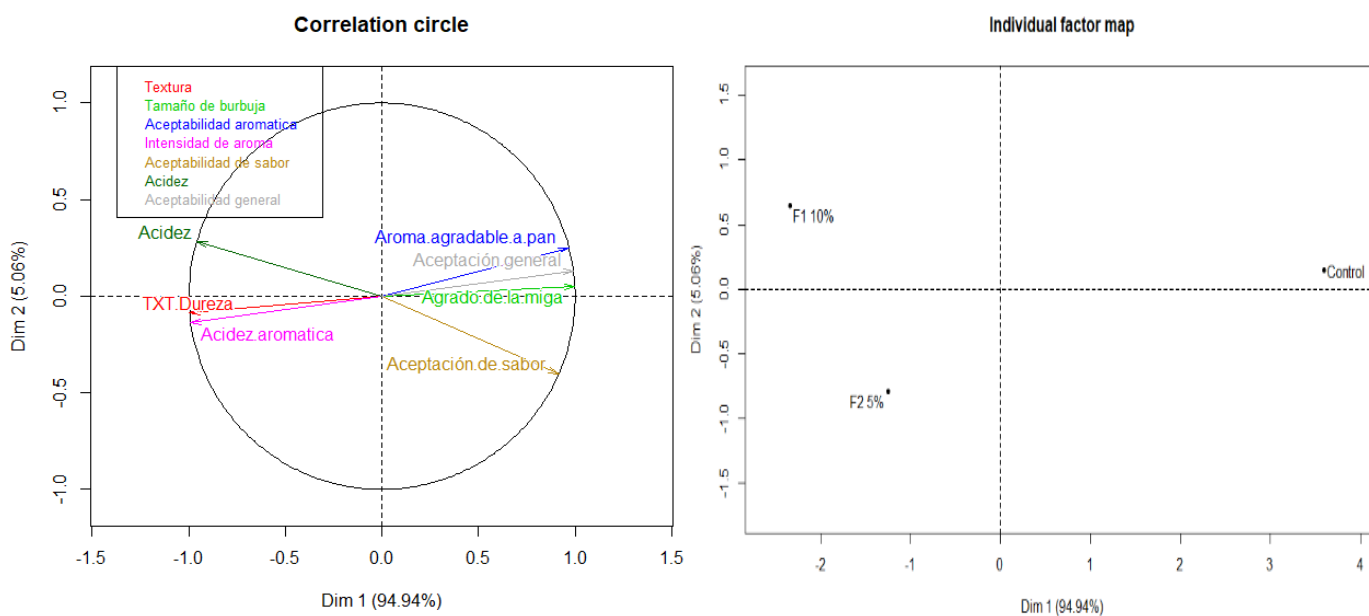


Figura 33. Proyección MFA de las evaluaciones de las formulaciones con harina PC libres de gluten

Con las proyecciones obtenidas y las hojas de evaluación se generó una tabla consenso de las características sensoriales relevantes de los productos (Tabla 16).

Tabla 16. Resumen de las características de los productos formulados con harina PC libres de gluten

Producto	Textura	Agrado de miga	Sabor	Acidez	Tipo de aroma	Aroma	Aceptabilidad general
Control	Muy suave	Buena	Agradable a pan blanco	Neutro	Neutro	Agradable a pan	Buena
F1 10 %	Muy dura	Mala	Regular	Media	Acido	Poco desagradable	Bajo
F2 5 %	Dura	Mala	Regular	Ligera	Ligeramente ácido con notas herbales	Poco desagradable	Medio

La siguiente etapa del proyecto consistió en la caracterización proximal y de textura de los productos con mejor aceptación; se seleccionó la formulación con trigo F1:10 % y, aunque la formulación libre de gluten F2:5 % no resultó con una mayor preferencia por parte de los consumidores ante el control, si fue la mejor evaluada de entre las dos formulaciones libres de gluten propuestas, por lo que se incluyó en dichos análisis.

7.4 Caracterización física y proximal de los productos de panificación mejor evaluados

Los productos de panificación formulados se caracterizaron por tener una coloración parda ligera asociada directamente a la inclusión de la harina de pulpa de café (Figura 34). En cuanto a la forma de las hogazas, el producto de harina de trigo obtuvo una corteza redondeada debido a la retención de CO₂ producido por las levaduras y por la red polimérica gluten-almidón, además pasó de tener una altura inicial en masa de 3.5 cm a 8.5 cm de altura en el producto final. La forma de

la corteza superior de la formulación libre de gluten fue aplanada indicando ligeros problemas en la retención de CO₂, puesto que la hogaza obtenida presenta una altura similar a la del producto con trigo teniendo una altura inicial de 3.5 cm a 8 cm de altura final. Lo anterior sugiere que los ingredientes utilizados brindan de una red lo suficientemente estable como para permitir la retención de CO₂ en los productos/panes.



Figura 34. Corte transversal y hogazas de los productos mejor evaluados

El análisis de textura a las formulaciones seleccionadas se muestra a continuación:

Tabla 17. Análisis de perfil de textura de los productos mejor evaluados

Producto	Dureza	Elasticidad	Masticabilidad
F1	14.36 ± 3.03	13 ± 4.90	53.4 ± 0.28
GF2	36.89 ± 22.25	7.00 ± 1.17	76.30 ± 29.55

F1: Formulación con 10% de harina PC y trigo. **GF2:** Formulación libre de gluten con 5% de harina PC

El análisis de textura realizado a los panes formulados nos permitió observar un mayor grado de dureza en el producto libre de gluten que la de la formulación con trigo, característica asociada a la rápida pérdida de humedad que podría asociarse a la retrogradación del almidón, el cual se encuentra en mayor proporción en dicha formulación. En este sentido, la dureza se asocia al esfuerzo para comprimir un alimento entre los molares. En cuanto a la elasticidad, el producto basado en trigo presentó un valor más alto en esta característica, debido a la presencia de gluten en su estructura. Dicha proteína brinda o promueve las características visco-elásticas deseables a los productos de panificación (Khatkar *et al.*, 2013), permitiéndole regresar en mayor grado a su forma original después de la compresión o trabajo ejercido; debido a la ausencia de dicha proteína en el producto libre de gluten, éste tiende a ser más “quebradizo”. Por último, la masticabilidad se asocia directamente con el grado de dureza y de cohesividad de los productos, pues se define como el trabajo requerido a un alimento para poder ser deglutido (Sczesniak, 1963), por lo que el producto libre de gluten presentó un valor más alto en dicha característica que el producto con trigo.

La caracterización proximal de los productos seleccionados se muestra en la Tabla 18. Dentro de las características nutricionales de los productos formulados destacó su contenido de proteínas y de fibra dietaria con 18.68 g de proteína y 10.83 g de fibra dietaria para el producto con trigo y 21.72 g de proteína y 7.50 g de fibra

dietaria para el producto libre de gluten; estos valores son comparables incluso con el contenido en estos compuestos en barras proteicas o barras para deportistas. Además por el origen de la harina obtenida, se obtuvo una ligera concentración de cafeína y de compuestos fenólicos, estos últimos asociados a su efecto en el sistema antioxidante de nuestro organismo, brindando la oportunidad de obtener beneficios adicionales a la salud por su consumo. La inclusión de la harina de pulpa de café mejoró las características nutrimentales en los productos de panificación tanto de macronutrientes como de compuestos bioactivos. Dichos resultados son similares a lo reportado por Constantini y colaboradores (2014), quienes incluyeron harinas trigo sarraceno y chía, obteniendo un incremento en el contenido proteico, de fibra dietaria y flavonoides totales en la formulación de productos de panificación

Tabla 18. Caracterización proximal de los productos formulados mayor aceptación (por cada 100 g)

Compuesto	Producto con trigo	Producto libre de gluten
	Contenido	Contenido
Humedad (%)	21.87 ± 1.67	33.35 ± 0.70
Proteína	18.68 ± 0.28	21.72 ± 0.35
Lípidos	6.11 ± 0.78	1.28 ± 0.30
Fibra cruda	3.49 ± 0.93	1.35 ± 0.30
Cenizas	1.51 ± 0.14	2.35 ± 0.09
Carbohidratos	48.48 ± 2.58	39.92 ± 0.53
Cafeína (mg)	73.54 ± 9.65	31.40 ± 1.47
Fenoles totales (mgEAG)	171.40 ± 2.83	64.35 ± 1.18
Fibra dietaria total	10.83 ± 0.25	7.50 ± 0.83
Fibra soluble	1.06 ± 1.28	7.02 ± 0.86
Fibra insoluble	9.54 ± 0.74	0.47 ± 0.26

Los resultados representan los promedios de ambas formulaciones (n=3) ± la DE.

8. Conclusiones

1.- La temperatura en conjunto con la humedad son factores claves en el incremento de valores de las características tecnológicas como las mediciones SRC e IAA para generar una harina a partir de pulpa de café; en específico se obtuvo un aumento de hasta el 60 % en el IAA, de un 400 % para SRC sacarosa y de hasta un 200 % para la medición de SRC carbonato, respecto al tratamiento control. Permitiendo la obtención de una harina a partir de este subproducto de la caficultura con características mejoradas para la panificación mediante extrusión.

2.- La tecnología de extrusión tuvo efecto en la liberación de compuestos fenólicos y cafeína ligados con un incremento del 60 y 30 %, respectivamente, así como la reducción en el contenido de ácido fítico (40 %) respecto al control.

3.- La tecnología de extrusión aplicada a la pulpa de café se puede considerar exitosa debido a que se logró obtener un ingrediente nuevo para su inclusión en productos de panificación, logrando una formulación de hasta el 15 % de sustitución con buena aceptación por parte de los consumidores. Además, las formulaciones propuestas contienen presencia de compuestos que podrían resultar benéficos para la salud, como los compuestos fenólicos (171 mg EAG), la cafeína (73 mg), proteína (18 g) y fibra dietaria (10 g) por cada 100 gramos de consumo para la formulación con el 10 % de inclusión de harina de pulpa de café.

9. Perspectivas

Con base en los resultados obtenidos de este proyecto se generaron las siguientes perspectivas:

1.- Implementar la transferencia de tecnología a las familias cafetaleras del país para reducir el impacto ambiental de esta actividad agrícola y generar valor agregado a dicha actividad para beneficiar a las personas que se dedican a la producción de café.

2.- Debido a las limitaciones dadas por el extrusor monotornillo con el que se contó, resulta de interés el abordar tratamientos a la pulpa de café en extrusores de doble tornillo o con otras características, buscando con ello optimizar el proceso con la finalidad de conocer si es posible el encontrar mejoría en las respuestas de los parámetros evaluados.

3.- Evaluar el efecto biológico del consumo del producto formulado para corroborar los beneficios a la salud que podrían conllevar la integración de la harina extrudida de pulpa de café a los productos de panificación.

4.- Generar nuevos productos gastronómicos a partir de la harina extrudida obtenida de pulpa de café promoviendo los beneficios de su consumo, tanto sociales como ambientales y nutricionales.

10. Referencias

- AACC International (2010) Approved Methods of Analysis 54-21. [En línea] Onceava edición. AACC International. Disponible en: <http://methods.aaccnet.org/toc.aspx> (Accesado el 2 de mayo de 2017)
- AACC International (2010) Approved Methods of Analysis 54-30.02. [En línea] Onceava edición. AACC International. Disponible en: <http://methods.aaccnet.org/toc.aspx> (Accesado el 25 de junio de 2017)
- AACC International (2010) Approved Methods of Analysis 32-45.01. [En línea] Onceava edición. AACC International. Disponible en: <http://methods.aaccnet.org/toc.aspx> (Accesado el 12 de enero de 2018)
- Adams, M. y Dougan, J. (1987) Coffee Volume 2: Technology. Segunda edición. Clarke, R. J. Macrae, R. Ámsterdam, Países Bajos.pp.257-285. DOI: 10.1007/978-94-009-3417-7
- Alam, M. S., Kaur, J., Khaira, H. y Gupta, S. (2016) Extrusion and extruded products: changes in quality attributes as affected by extrusion process parameters: A review. Crit Rev Food Sci Nutr., 56, 445-475. DOI: 10.1080/10408398.2013.779568.
- Albarracín, M., González, R., y Rosa, S. (2014) Soaking and extrusion effects on physicochemical parameters, phytic acid, nutrient content and mineral bioaccessibility of whole rice grain. Int J Food Sci Nutr., 66, 1-6. DOI: 10.3109/09637486.2014.986070
- Alonso, R., Rubio, L. A., Muzquiz, M. y Marzo, F. (2001) The effect of extrusion cooking on mineral bioavailability in pea and kidney seed meals. Anim Feed Sci Technol., 94, 1-13. DOI:10.1016/S0377-8401(01)00302-9
- Álvarez, F. (2016) Caracterización físicoquímica y reológica de harinas mixtas pregelatinizadas de quinua, frijol caupí y arroz parbolizado por extrusión

termoplástica.[Tesis de grado] Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras. 26-35.

Ampanha, A. C. (2010) Evaluation of kahweol and cafestol in coffee tissues and roasted coffee by a new high-performance liquid chromatography methodology. *J Agri Food Chem*, 58, 88-93. DOI: 10.1021/jf9027427

Andersson, A. M., Andersson, R., Jonsäll, A., Andersson, J., & Fredriksson, H. (2017) Effect of different extrusion parameters on dietary fiber in wheat bran and rye bran. *J Food Sci.*, 82, 1344-1350. DOI: 10.1111/1750-3841.13741

Arcila, J. (2007) *Sistemas de producción de café en Colombia*. Primera edición. Chichina, Colombia: Héctor Ospina y Sandra Marín, 22-60.

Arranz-Otaegui, A., Gonzalez Carretero, L., Ramsey, M. N., Fuller, D. Q., y Richter, T. (2018). Archaeobotanical evidence reveals the origins of bread 14,400 years ago in northeastern Jordan. *Proc Natl Acad Sc.*, 115, 7925-7930. DOI:10.1073/pnas.1801071115

Asociación Celiaca del Uruguay (2016) *Harinas sin gluten y sus propiedades nutricionales*. [En línea] Disponible en: <http://acelu.org/wordpress/informacion/harinas-sin-gluten-y-sus-propiedades-nutricionales/> (Accesado el 26 de abril de 2017)

Asociación Nacional del Café. (2010) *El beneficiado húmedo*. [En línea] www.anacafe.org. Disponible en: https://www.anacafe.org/glifos/index.php/Caficultura_BeneficiadoHumedo (Accesado el 8 de febrero del 2017)

Asociación Nacional de Proveedores Profesionales de la Industria del Pan Repostería y Similares (2016) *Industria de la panificación*. Catorceava edici . [PDF] Ciudad de México, México: ANPROPAN. 1-25. Disponible en: <http://mexipan.com.mx/wp-content/uploads/2016/07/Mexipan2016->

industria.pdf (Accesado el 16 de mayo de 2017)

Batista, J. (2010) Buscando aumentar la competitividad del sorgo argentino. Rosario, Argentina: IX Congreso Nacional de Maíz y I Simposio Nacional de Sorgo. 17-19 de noviembre de 2010. Rosario, Argentina.

Belay A., Ture K., Redi M. y Asfaw A. (2008) Measurement of caffeine in coffee beans with UV/vis spectrometer. *J Food Chem.*, 108, 310-315. DOI: 10.1016/j.foodchem.2007.10.024.

Biesiekierski, J. (2017) What is gluten?. *J Gastroenterol Hepatol.*, 32, 78-81. DOI: 10.1111/jgh.13703.

Braham, J.E. y Bressani, R. (1979) Coffee pulp composition, technology, and utilization. Primera edición. Michael Graham. Ottawa, Canada. International Development Research Center. 11-16.

Calaveras, J. (1996) Tratado de panificación y bollería. Primera edición. Antonio Madrid. Madrid, España. Mundi Prensa.

Cámara Nacional de la Industria Molinera de Trigo (1996) Clasificación y uso de harinas. [En línea]. Disponible en: <http://www.canimolt.org/harina/clasificacion-y-uso> (Accesado el 19 de abril de 2017)

Cámara Nacional de la Industria Molinera de Trigo. (2015) Reporte estadístico CANIMOLT 2015. [En línea] Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/0Bws40FQdCiaSTGxUQmgtR2JjbEU/view> (accesado el 19 de abril de 2017)

Catassi, C., Gatti, S., y Fasano, A. (2014) The new epidemiology of celiac disease. *J Pediatr Gastroenterol Nutr.*, 59, 7-9. DOI: 10.1097/01.mpg.0000450393.23156.59

Cerón-Fernández, C. L, Guerra-Morcillo, L. V., Legarde-Quintero, J., Enríquez-

- Collazos, M. y Pismag-Portilla, Y. (2016) Efecto de la extrusión sobre las características físico-químicas de harina de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd). *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14, 92-99. DOI: 10.18684/BSAA
- CODEX Alimentarius Commission. (2007) Cereales, legumbres, leguminosas, productos derivados y proteínas vegetales. Primera edición. [PDF] Roma, Italia. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-a1392s.pdf> (Accesado el 26 de abril del 2017)
- Costantini, L., Lukšič, L., Molinari, R., Kreft, I., Bonafaccia, G., Manzi, L., y Merendino, N. (2014) Development of gluten-free bread using tartary buckwheat and chia flour rich in flavonoids and omega-3 fatty acids as ingredients. *J Food Chem.*, 165, 232-240. DOI:10.1016/j.foodchem.2014.05.095
- Cuggino, M. I. (2008) Desarrollo de alimentos precocidos por extrusión a base de maíz-leguminosa. [Tesis de grado] Universidad Nacional Del Litoral, Sante Fe, Argentina León. 10-21. Disponible en: <http://bibliotecavirtual.unl.edu.ar/tesis/handle/11185/60> (Accesado el 17 de mayo de 2017)
- Demirkesen, I., Sumnu, G., y Sahin, S. (2013) Quality of gluten-free bread formulations baked in different ovens. *J Food Bioprocess Tech.*, 6, 746-753. DOI: 10.1007/s11947-011-0712-6
- Diario Oficial de la Federacion (2007) NOM-247-SSA1-2008: Productos y servicios. Cereales y sus productos. Cereales, harinas de cereales, semolas o semolinas. Alimentos a base de: cereales, semillas comestibles, de harinas. Productos de panificación. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales. Secretaría de Salud. [En línea] Disponible en: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5100356&fecha=27/07/2009

- Eloy-Dias, R. C. E., Campanha, F. G., Vieira, L. G. E., Ferreira, L. P., Pot, D., Marraccini, P., y Benassi, M. D. T. (2010) Evaluation of kahweol and cafestol in coffee tissues and roasted coffee by a new high-performance liquid chromatography methodology. *J Agric Food Chem.*, 58, 88-93. DOI:10.1021/jf9027427
- Falfán-Cortés, R. N., Gaytán-Martínez, M, Verdalet-Guzmán, I., Amaya-Llano, S. L., Grosso, C. R. F. y Martínez-Bustos, F. (2014) Evaluation of modified amaranth starch as shell material for encapsulation of probiotics. *Cereal Chem.*, 91, 300-308. DOI: 10.1094/CCHEM-06-13-0112-R
- Ferreira-Cardoso, F., Ramírez-Ascherill, D. y Piler de Carvalho, W. (2014) Propiedades reológicas y de adsorción de agua de harina extrudida de arroz y bagazo de cebada. *Rev. Ceres.*, 61, 3. DOI:10.1590/S0034-737X2014000300003
- Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (2015) Panorama Agroalimentario del Café 2015. [En línea]. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/61949/Panorama_Agroalimentario_Caf__2015.pdf (Accesado el 25 de enero de 2017)
- González, R. y Torres, R. (2002) Extrusión: cocción de cereales. *Boletín da sociedade brasileira de ciencia e tecnologia de alimentos*, 36, 104-115.
- Gómez, G. (2010) Cultivo y beneficio del café. *Revista de Geografía Agrícola*, Julio-Diciembre, 103-193. ISSN: 0186-4394
- Haller, A. (2008) Evaluación de las condiciones de extrusión necesarias para elaborar harina de maíz con características similares a las de una harina nixtamalizada. [Tesis de maestría] Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe, Argentina. Disponible en: <http://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8080/tesis/handle/11185/89> (Accesado el 5 de febrero de 2017)

- Harper, J. (1981) Extrusion of foods. Primera edición. Boca Ratón, Florida. CRC Press. 127-163.
- Hellwig, M. y Henle, T. (2014) Baking, Ageing, Diabetes: A Short History of the Maillard Reaction. *Angew. Chem. Int.*, 53, 10316-10329. DOI:10.1002/anie.201308808
- Heredia-Olea, E., Pérez-Carrillo, E., Montoya-Chiw, M., y Serna-Saldívar, S. O. (2015) Effects of extrusion pretreatment parameters on sweet sorghum bagasse enzymatic hydrolysis and its subsequent conversion into bioethanol. *BioMed Research International.*, 2015, 1-10. DOI:10.1155/2015/325905
- Hough, G. (2010). Sensory Shelf Life Estimation of Food Products. CRC Press. EUA. 33-34.
- International Coffee Organization. (2017) Procesamiento de campo. [En línea] Disponible en: http://www.ico.org/ES/field_processing.asp (Accesado el 17 de abril de 2017)
- Khatkar, B. S., Barak, S. y Mudgil, D. (2013) Effects of gliadin addition on the rheological, microscopic and thermal characteristics of wheat gluten. *Int J Biol Macromol*, 53, 38-41. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.
- Kokini, J.L.; Chang, C.N. y Lai, L. S. (1992) The role of rheological properties on extrudate expansion. In *Food Extrusion Science and Technology*. Primera edición. Ho, C., Kokini, J. y Karwe, M. 631-652. Nueva York, Estado Unidos. Marcel Dekker.
- Lassoued, N., Delarue, J., Launay, B., y Michon, C. (2008) Baked product texture: Correlations between instrumental and sensory characterization using Flash Profile. *J Cereal Sci.*, 48, 133-143. DOI: 10.1016/j.jcs.2007.08.014
- Latta, M. y Eskin, M. (1980) A simple and rapid colorimetric method for phytate determination. *J. Agric. Food Chem.*, 28, 1313-1315. DOI:

10.1021/jf60232a049

Lima, C., Ascheri, D., y Bastos S. (2012) Características de absorción de agua de harinas crudas y pregelantizadas de dos variedades de arroz de tierras altas. Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos, 30:91-102.

Lingxiao, Y., Zhang, H., Cheng, L., Zhonghua, G., Hua, D., Xinguang, Q., Quian, H. y Li, W. (2014) Effect of extrusion on the hydrophilic antioxidant capacity of four whole grains. J Food Nutr Res., 2, 80-87. DOI: 10.12691/jfnr-2-2-4

Llopart, E. (2011) Efectos de las condiciones de extrusión en las propiedades fisicoquímicas y funcionales de productos extrudidos de sorgo integral de bajo contenido de taninos. [Tesis de maestría] Universidad Nacional del Litoral. Santa fe, Argentina. 25-32.

Lopez, T., Reyes, M., Rodriguez, R., y Aguilar, N. (2011) La pulpa de café, un residuo fuente de antioxidantes polifenólicos. [En línea]. Revista CienciaCierta, Volumen 25. Disponible en: <http://www.posgradoeinvestigacion.uadec.mx/CienciaCierta/CC25/1pulpa.html> (Accesado el 16 de enero de 2017)

Lopez-Garcia, F., Escamilla-Prado, E., Zamarripa-Colmenero. A. y Cruz-Castillo, J. (2016) Producción y calidad en variedades de café (*Coffea arabica* L.) en Vereacruz, México. Rev. Fitotec. Mex., 39, 297-304. ISSN: 0187-7380

Manrique-Quevedo, N., González-Soto, R. A., Othman-Abu-Hardan, M., García-Suárez, F. J., y Bello-Pérez, L. A. (2007) Caracterización de mezclas de almidones de mango y plátano pregelatinizados mediante diferentes condiciones de extrusión. Agrociencia, 41, 637-645. ISSN: 1405-3195

Maskan, M. y Altan, A (2011) Advances in food extrusion technology. Primera edición. Da-Wen Sun.(Ed). Boca Ratón, California. CRC Press. 1-20.

Matić ,P. Sabljic, M. Jakobek, L. (2017) Validation of spectrophotometric methods

for the determination of total polyphenol and total flavonoid content. *J AOAC Int.*, 100, 1795-1803. DOI: 10.5740/jaoacint.17-0066 DOI: 10.5740/jaoacint.17-0066

Mesas, J. (2002) El pan y su proceso de elaboración. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*. 3, 307-313. ISSN: 1135-8122

Miller, G. (1959) Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *J Anal Chem.*, 31, 426-428. DOI:10.1021/ac60147a030

Nolasco, M. (1985) *Café y sociedad en México*. Primera edición. Distrito Federal, México. Editorial Centro de Ecodesarrollo.

Ortolan, F., Brites, L. T. G., Montenegro, F. M., Schmiele, M., Steel, C. J., Clerici, M. T. P. S. y Chang, Y. K. (2015). Effect of extruded wheat flour and pre-gelatinized cassava starch on process and quality parameters of French-type bread elaborated from frozen dough. *J Food Res Int.*, 76, 402–409. DOI:10.1016/j.foodres.2015.07.010

Peña-Aguilar, J. M., Murúa-Pagolaa, B., Santos-Basurto, M., Reynoso-Camacho, R., Romero-Gómez. S. J., Vázquez-Barrios, M. E. & Amaya-Llano, S. L. (2017) Extracción y purificación de cafeína y ácido clorogénico de pulpa de beneficio húmedo de café. *IDCyTA.*, 2, 563-569.

Pérez-Navarrete, C.; Betancur-Ancona, D.; Casotto, M.; Carmona A.; y Tovar, J. (2007) Effect of extrusion on protein and starch bioavailability in corn and lima bean flour blends. *Arch Latinoam Nutr.*, 53, 278-286.

Rakkar, P. S. (2007) Development of a gluten-free commercial bread. [Tesis de Maestría]. Universidad Tecnológica de Auckland. Auckland, Nueva Zelanda. 12-41.

Rahman, R., Hiregoudar, S., Veeranagouda, M., Ramachandra, C. T., Nidoni, U., Roopa, R. S. y Ganjyal, G. M. (2015) Effects of wheat grass powder

- Incorporation on physiochemical properties of muffins. *Int J Food Prop.*, 18, 785-795. DOI: 10.1080/10942912.2014.908389
- Reinhart, P. (2001) *The bread baker's apprentice*. Primera edición. Manville, R. Berkeley, California. Ten Speed Press
- Rodrigues, S. y Teixeira, A. (2012) Use of generalized Procrustes analysis (GPA) to test the effects of sex and carcass weight on sensory quality evaluations of Terrincho lamb meat. *J Meat Sci*, 93, 485–488. DOI: 10.1016/j.meatsci.2012.10.011
- Rodríguez-Valencia, N., y Zambrano-Franco, D. (2010) Los subproductos del café: fuente de energía renovable. *Avances Técnicos Cenicafé*, 3, 8. ISSN:0120-0178
- Rustan, A. C., Halvorsen, B., Huggett, A. C., Ranheim, T., y Drevon, C. A. (1997) Effect of coffee lipids (cafestol and kahweol) on regulation of cholesterol metabolism in HepG2 cells. *Arterioscler Thromb Vasc Bio.*, 17, 2140-2149. DOI: 10.1161/01.ATV.17.10.2140
- Sánchez, H., González, R., Osella, C., Torres, R., y de la Torre, M. (2008) Elaboration of bread without gluten from extruded rice flours. *Ciencia Y Tecnología Alimentaria*. 6. 109–116. DOI:10.1080/11358120809487635
- Sandri L.T., Santos F., Fratelli C. y Capriles, V. (2017) Development of gluten-free bread formulations containing whole chia flour with acceptable sensory properties. *Food Sci Nutr*, 5, 1021-1028. DOI: 10.1002/fsn3.495
- Sarawong, C., Schoenlechner, R., y Sekiguchi, K. (2014) Effect of extrusion cooking on the physicochemical properties, resistant starch, phenolic content and antioxidant capacities of green banana flour. *J Food Chem.*, 143, 33-39. DOI: 10.1016/j.foodchem.2013.07.081
- Schlemer, U., Frølich, W. Prieto, R. M. y Grases, F. (2009) Phytate in foods and

significance for humans: food sources, intake, processing, bioavailability, protective role and analysis. *Mol Nutr Food Res.*, 53, 330-375. DOI: 10.1002/mnfr.200900099.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2017) Atlas agroalimentario 2016. [PDF] Disponible en: http://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2017/Atlas-Agroalimentario-2016 (Accesado el 15 de abril de 2018)

Sharma, P., Gujral, H. y Singh, B. (2012) Antioxidant activity of barley as affected by extrusion cooking. *J Food Chem.*, 131, 1406-1413. DOI:10.1016/j.foodchem.2011.10.009.

Statista. (2013) Global gluten-free food market size 2013-2020. [En línea] Disponible en: <https://www.statista.com/statistics/248467/global-gluten-free-food-market-size/> (Accesado el 26 de abril de 2017)

Sczesniak , A. S. (1963). Classification of Textural Characteristics. *J Food Sci*, 28, 385-389. DOI:10.1111/j.1365-2621.1963.tb00215.x

Tejero, F. (1995) Panadería Española Volumen 2. Segunda edición. Barcelona, España: Montagud. 1-31.

The Nielsen Company (2015) We are what we eat: Healthy eating trends around the world. [PDF], 1-27. DOI: www.nielsen.com/us/en/insights/reports/2015/we-are-what-we-eat.html. (Accesado el 21 de marzo de 2017)

The Nielsen Company (2016) What´s in our food and on our mind. [PDF] Disponible en: [www.nielsen.com/content/dam/nielsen-global/vn/docs/Reports/2016/Global Ingredient and Out-of-Home Dining Trends Report FINAL.pdf](http://www.nielsen.com/content/dam/nielsen-global/vn/docs/Reports/2016/Global%20Ingredient%20and%20Out-of-Home%20Dining%20Trends%20Report%20FINAL.pdf) (Accesado el 21 de marzo de 2017)

Turner, D. (2004) The use of specialty sorghums for snack food processing.[Tesis de maestría] Texas A&M University. College Station, Texas.

- United States Department of Agriculture (2015) Foreign Agricultural Service's Production, Supply and Distribution. [En línea] <https://www.fas.usda.gov/databases/production-supply-and-distribution-online-psd> (Accesado el 26 de abril de 2017)
- Ulloa, J. (2002) Use of coffee pulp as feed ingredient for tilapia culture [Tesis de doctorado] Instituto de Ciencias Animales, Universidad de Wageningen, Wageningen, Países Bajos. 19-31.
- Urgert, R. (1997) Health effects of unfiltered coffee: diterpenes in coffee and their effects on blood lipids and liver enzymes in man. [Tesis de doctorado] Departamento de nutrición humana, Universidad de Wageningen, Wageningen, Países bajos. 25-59.
- Vanier, N., Vamadevan, V., Bruni, G., Ferreira, C., Seetharaman, K., Zavareze, E., y Berrios, J. (2016) Extrusion of rice, bean and corn starches: Extrudate structure and molecular changes in amylose and amylopectin. *J Food Sci.*, 81, 2932-2938. DOI: 10.1111/1750-3841.13545
- Vásquez, F., Verdú, S., Islas, A., Barat, J. y Grau, R. (2016) Efecto de la sustitución de harina de trigo con harina de quinoa (*Chenopodium quinoa*) sobre las propiedades reológicas de la masa y texturales del pan. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 17, 307-317. ISSN:1665-0204
- Wang, S., Li, C. Copeland, L., Niu, Q. y Wang, S. (2015) Starch retrogradation: A comprehensive review. *Compr Rev Food Sci F.*, 14, 568-585. DOI: 10.1111/1541-4337.12143
- Zhang, R., Kahn, A., Chi, J., Wei, Z., Deng, Y. y Zhang, M. (2017) Different effects of extrusion on the phenolic profiles and antioxidant activity in milled fractions of brown rice. *LWT-Food Sci Technol.*, 88, 64-70. DOI: 10.1016/j.lwt.2017.09.042

ANEXOS

Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Química
Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Fecha: _____ Edad: _____ Sexo: _____



Frecuencia de consumo de productos de panificación: _____

Frente a usted se presentan 3 productos de panificación, 2 de ellos son formulaciones con inclusión de una harina obtenida a partir de la pulpa de café y una será un producto homólogo con presencia en el mercado. Analice las muestras en sus distintos aspectos y califique de acuerdo a las escalas para cada atributo que se le presenten.

Posicione a cada producto una calificación sobre la escala correspondiente.

Atributo	Calificación
Textura	Blando/suave 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Duro
Tamaño de burbujas	Pequeñas 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Grandes
Aroma	Desagradable 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Agradable
Intensidad de aroma	Poco olor 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Mucho olor
Aceptación de sabor	Desagradable 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Agradable
Sabor	Poco ácido 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Muy ácido
Aceptación general	Malo 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Excelente

Comentarios: _____

Gracias por su participación

**FORMATO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO
COMITÉ DE BIOÉTICA DE LA FACULTAD DE QUÍMICA
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO**

Este formato de consentimiento informado se dirige al personal de la facultad de química invitado a participar como panelista no entrenado en el análisis sensorial de 2 formulaciones nuevas de productos de panificación como parte de la investigación denominada “Modificación de un subproducto de la caficultura mediante extrusión y su aprovechamiento en productos de panificación.”

Nombre del investigador principal: Dr. Eduardo Castaño Tostado

Nombre del investigador asistente: L.G. Carlos Isac Rivas Vela

Nombre de la propuesta: Modificación de un subproducto de la caficultura mediante extrusión y su aprovechamiento en productos de panificación.

Introducción

En esta investigación desarrollada por el estudiante de Maestría en Ciencia y Tecnología de alimentos del PROPAC Carlos Isac Rivas Vela y a cargo del Dr. Eduardo Castaño Tostado se busca evaluar la aceptabilidad de un producto de panificación libre de gluten con base en harina de pulpa de café y hacer una comparación con un producto homologo comercial. Se le hace la invitación a formar parte de esta investigación actuando como panelista del análisis sensorial, al finalizar la lectura de este documento y antes de firmar aceptando de manera voluntaria se le invita a leer todo el documento y a preguntar a cualquier miembro del equipo de investigación cualquier duda que pueda surgir.

Propósito

El cultivo del café en México se perfila como uno de los principales productos agronómicos del país. Esta actividad agronómica genera varios subproductos que no son utilizados en otros fines, dando como resultados su acumulación y mal manejo, contaminando ríos y tierras cercanas al cafetal. Uno de los subproductos es la pulpa de café, que representa hasta el 40% del peso de la cereza de café. Su aprovechamiento como una harina para la producción de productos de panificación es la propuesta que se plantea aquí, para disminuir el impacto ecológico y darle valor agregado a la caficultura.

Selección de participantes

Los invitados a participar en esta evaluación serán personas sanas de la facultad de química, sin exclusión de género, en un rango de edad entre 18 y 50 años y con aptitud para comunicar y describir las sensaciones percibidas. El pan que usted probará contiene ingredientes contenidos en la tabla 1, si usted es alérgico o duda de si algún ingrediente puede causarle alguna reacción, por favor notifíquemelo, su salud es importante ¿Usted es consumidor frecuente (3 o más veces a la semana, lo consume)?

Ingredientes de la formulación

Harina de arroz	Sal
Harina de pulpa de café (con contenido de cafeína)	Azúcar
Suero de leche (con contenido de lactosa)	Huevo
Goma guar	Agua

Levadura seca	Almidón de yuca
Mantequilla	Almidón de maíz

Participación voluntaria

Su participación en esta investigación es totalmente voluntaria, usted puede elegir participar o no, e incluso puede cambiar de parecer durante el transcurso del experimento aun cuando haya firmado con anterioridad este formato de consentimiento informado.

Protocolo

Se requiere comparar la aceptabilidad de formulaciones de pan libre de gluten a base de harina de pulpa de café teniendo un producto comercial homologado como control, por lo cual se le darán una cantidad de 3 muestras de pan, las cuales usted debe acomodar de acuerdo a los descriptores proporcionados evaluando características como olor, textura, sabor y aceptabilidad general.

Todas las muestras serán presentadas simultáneamente con números aleatorios de tres dígitos.

Riesgos

La presente investigación es considerada sin riesgo debido a que para prevenir los riesgos microbiológicos asociados al consumo de los productos, las muestras serán sometidas a análisis microbiológicos que garanticen la seguridad de los participantes además de ser elaborados de manera inocua.

Confidencialidad

La identidad de los panelistas de esta investigación no se compartirá con personas ajenas a la misma y la información obtenida será presentada sin revelar el nombre del panelista.

Contacto

Si tiene cualquier duda o comentario posterior al análisis puede contactarse con el investigador asistente Carlos Isac Rivas Vela al número telefónico: 961 593 1474 o al correo electrónico: carl.rivas.mx@gmail.com

La presente propuesta ha sido revisada y aprobada por el comité de bioética de la facultad de química de la Universidad Autónoma de Querétaro.

Formulario de consentimiento:

He sido invitado a participar en el análisis sensorial de formulaciones de productos de panificación libres de gluten a partir de harina de pulpa de café como parte de la investigación titulada “Modificación de un subproducto de la caficultura mediante extrusión y su aprovechamiento en productos de panificación”, he sido informado de que los posibles riesgos han sido prevenidos y que no habrá un beneficio para mi persona. Se me ha proporcionado el nombre y los datos del investigador responsable y he leído la información proporcionada, además he tenido la oportunidad de preguntar sobre ella, por lo anterior, consiento voluntariamente a participar en esta investigación como un panelista no entrenado para una evaluación sensorial y entiendo que tengo derecho de retirarme de la investigación en cualquier momento.

Nombre del participante:

Firma del participante:

Fecha:

He sido testigo de la lectura exacta del documento de consentimiento informado por parte del potencial participante y éste ha tenido la oportunidad de hacer preguntas, por lo cual confirmo que el individuo ha dado su consentimiento libremente.

Nombre del investigador principal: Dr. Eduardo Castaño Tostado

Nombre del investigador asistente: L.G. Carlos Isac Rivas Vela

Firma del investigador asistente:

Fecha:

*Ha sido proporcionada al participante una copia de este documento de consentimiento informado.