

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

Tesis

Producción de almidón resistente de camote (*Ipomea batata*), para el desarrollo de una bebida baja en calorías adicionada con Jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) y pimiento morrón (*Capsicum annum Group*)

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

Presenta:

IQAL. Robin Reyes Ortega

Dirigido por:

Dr. Eduardo Castaño Tostado

Dr. Eduardo Castaño Tostado
Presidente

Dra. Silvia Lorena Amaya Llano
Secretario

Dr. Fernando Martínez Bustos
Vocal

Dra. Minerva Ramos Gómez
Suplente
Dr. Carlos Regalado González
Suplente

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
(Diciembre 2019)

RESUMEN

El desarrollo de ingredientes bajos en calorías es una oportunidad para coadyuvar a los problemas de obesidad en nuestro país. Un ingrediente bajo en calorías es el almidón resistente (AR). El objetivo de este trabajo fue el de desarrollar una bebida baja en calorías con propiedades funcionales, usando harina integral de camote (HIC) con AR, extracto de cáliz de jamaica y jugo de pimienta morrón. La producción de AR se realizó mediante extrusión seguida de refrigeración, usando un diseño experimental 2⁴. Los factores fueron: humedad de la harina (%H), 30 y 40%, temperatura de extrusión (TE), 100 y 120 °C, temperatura de alimentación (TA), 40 y 60 °C y velocidad del tornillo (Vt), 8 y 12 rpm. Se mostró que el proceso de extrusión seguido de refrigeración incrementa el contenido de AR (56-18%), compuestos fenólicos (CFT) (3-11%) y la capacidad antioxidante (CA) (22-45%), con ello se modificó el color, las propiedades térmicas y reológicas de la harina. Los factores que influyeron significativamente en el AR fue la TE y la Vt, mientras que para CFT y la CA fueron la TE y TA. El tratamiento con los factores 100 °C, 40 °C, 30 %H y 12 rpm fue el que presentó el mayor porcentaje de AR (14.2% bs), CFT (548.2 mg EAG/g) y la CA (ABTS 276.6 μ mol eq de Trolox/g y DPPH 102.7 μ mol eq de Trolox/g); este tratamiento fue usado para la formulación de la bebida baja en calorías (10.2 Cal/100 ml), que se elaboró con diseño de mezclas axial, usando HIC, extracto acuoso de cáliz de jamaica, jugo pimienta morrón, uva y durazno. La bebida presentó una vida de anaquel sensorial de 9-19 días, con una probabilidad de rechazo del 25%. Los compuestos que se degradan correlacionados con la probabilidad de rechazo del 25%, son los compuestos fenólicos y las antocianinas teniendo como límites inferiores de 429.24 mg EAG/ml y 19.77 mg antocianina 3 glucósido/ ml, respectivamente; estos límites se alcanzan a los 14 días. Con esto se ha desarrollado, caracterizado y aplicado un nuevo ingrediente con AR, para su aplicación en alimentos bajos en calorías.

Palabras clave: Camote, harina integral, almidón resistente, bebida, vida sensorial de anaquel.

SUMARY

The development of low-calorie ingredients is an opportunity to help obesity problems in our country. A low-calorie ingredient is resistant starch (RS), which can be used to make beverages. The objective of this work was to develop a low-calorie beverage with functional properties, using whole-flour sweet potato (FIS) with RS, Jamaican calyx extract and bell pepper juice. The production of RS was carried out by extrusion followed by cooling, using an experimental design 2⁴. The factors were: flour moisture (% H), 30 and 40%, extrusion temperature (TE), 100 and 120 ° C, temperature supply (TA), 40 and 60 ° C and screw speed (Vt), 8 and 12 rpm. It was shown that the extrusion process followed by cooling increases the content of RS (18-56%), phenolic compounds (CFT) (3-11%) and antioxidant capacity (CA) (22-45%), modified the colour, the thermal and rheological properties of the flour. The factors that significantly influenced the RS were TE and Vt, while for CFT and CA were the TE and TA. The treatment with the factors 100 ° C TE, 40 ° C TA, 30% H and 12 rpm was the one that presented the highest percentage of RA (14.2% dw), CFT (548.2 mg EAG/g) and AC (ABTS 276.6 µmol eq of Trolox g and DPPH 102.7 µmol eq of Trolox/g); and was used for the formulation of the low-calorie beverage (10.2 Cal / 100 ml), which was prepared with axial mixing design, using FIS, calyx extract Jamaica, sweet pepper juice, grape and peach. A sensory shelf life of 9- 19 days, witch a probability of rejection of 25% was observed for the beverage. At. 14 days there is a probability of rejection when the concentration of phenolic compounds and anthocyanins is 429.24 mg EAG / ml and 19.77 mg eq A3G / ml. A new ingredient with AR was developed, characterized and applied, for application in low-calorie foods.

Keywords: Sweet potato, Integral flour, resistant starch, beverage, shelf sensory life.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

Por su apoyo incondicional a mis padres y mi mejor amiga.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a las personas que hicieron posible este trabajo y la obtención de este título, mi familia, amigos, compañeros y profesores.

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada (854938), al Fondo para el fortalecimiento de la educación (FOFI-UAQ, FCQ-2018-72), al Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN campus Querétaro (CINVESTAV) por las facilidades otorgadas en el uso de infraestructura; a la M.C. Verónica Flores Casamayor y al Ing. José Eleazar Urbina Álvarez por la ayuda prestada.

Se agradece a la Dra. Monserrat Iturriaga Hernández por facilitar los análisis microbiológicos en este trabajo y al Ing. Guillermo Hernández por la ayuda prestada en el sistema de monitoreo automático de humedad, temperatura y cantidad de luz.

TABLA DE CONTENIDOS

1.	INTRODUCCIÓN	15
1.1	Obesidad y alimentación	17
1.2	Generalidades del almidón resistente (AR)	19
1.2.1	Efectos del AR	22
1.2.2	Tratamientos para producir el aumento de almidón resistente	25
1.3	Camote como fuente de AR	32
1.3.1	Propiedades funcionales de la ingesta de camote	40
1.4	Generalidades del cáliz de jamaica (<i>Hibiscus sabdariffa</i>)	41
1.5	Generalidades de pimiento morrón (<i>Capsicum annum Group</i>)	43
2.	JUSTIFICACIÓN	45
3.	OBJETIVOS	46
3.1	Objetivo general	46
3.2	Objetivos específicos	46
4.	METODOLOGÍA	47
4.1	Obtención de almidón resistente de camote	47
4.1.1	Harina de camote	47
4.1.2	Producción de almidón resistente por extrusión	48
4.2	Caracterización de la harina con almidón resistente de camote	49
4.2.1	Determinación de almidón total	49
4.2.2	Determinación de almidón resistente	49
4.2.3	Índice de expansión	50
4.2.4	Índice de absorción de agua (IAA)	51
4.2.5	Índice de material soluble	51
4.2.6	Propiedades de formación de pasta	51
4.2.7	Propiedades térmicas	52
4.2.8	Cristalinidad relativa de almidón	52
4.2.9	Determinación de grasa cruda	53
4.2.10	Determinación de nitrógeno total por el método de Kjeldahl	54
4.2.11	Determinación de fibra cruda	55
4.2.12	Determinación de cenizas	56
4.2.13	Compuestos fenólicos totales	56

4.2.14	Capacidad antioxidante ABTS	57
4.2.15	Capacidad antioxidante DPPH	58
4.2.16	Color	58
4.3	Formulación de la bebida	59
4.4	Elaboración de la bebida	60
4.4.1	Análisis microbiológicos.....	61
4.4.2	Análisis sensorial de la bebida.....	61
4.5	Caracterización de la bebida	63
4.5.1	Determinación de pH	64
4.5.2	Determinación de sólidos solubles totales	64
4.5.3	Acidez titulable	64
4.5.4	Color.....	65
4.5.5	Compuestos fenólicos totales, capacidad antioxidante ABTS, capacidad antioxidante DPPH.....	65
4.5.6	Antocianinas totales.....	65
4.6	Determinación de la vida de anaquel de la bebida	66
4.7	Análisis estadístico.....	67
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	68
5.1	Obtención de almidón resistente de camote	68
5.1.1	Obtención de extrudidos de la harina de camote	68
5.2	Caracterización de los extrudidos de la harina	69
5.2.1	Almidón total.....	69
5.2.2	Almidón resistente	69
5.2.3	Índice de expansión y volumen aparente.....	73
5.2.4	Índice de absorción de agua e índice de material soluble	77
5.2.5	Análisis de viscosidad.....	83
5.2.6	Propiedades térmicas	85
5.2.7	Cristalinidad relativa del almidón	87
5.2.8	Análisis bromatológico.....	90
5.2.9	Micrografías.....	91
5.2.10	Compuestos fenólicos totales.....	92
5.2.11	Capacidad antioxidante ABTS y DPPH	96
5.2.12	Color	101

5.3	Formulación de la bebida y análisis sensorial	107
5.3.1	Formulación de la bebida	107
5.3.2	Evaluación sensorial de la bebida formulada	108
5.4	Vida de anaquel sensorial	113
5.4.1	Vida sensorial de anaquel según el género de los consumidores ...	118
5.4.2	Correlación entre degradación y vida sensorial de anaquel	122
5.4.3	Análisis bromatológico	128
6.	CONCLUSIONES	129
	Perspectivas	131
7.	REFERENCIAS	132
8.	APÉNDICE	144
	APÉNDICE A CRITERIOS DE SELECCIÓN PARA LOS ESTUDIOS.....	144
	APÉNDICE B SOBRE EL CONSENTIMIENTO INFORMADO	144

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Composición química del almidón de camote.....	35
Tabla 2 Propiedades térmicas del almidón de camote.	35
Tabla 3 Parámetros de viscosidad del almidón de camote.....	36
Tabla 4 Formulaciones de la bebida mediante un diseño axial de mezclas.....	59
Tabla 5 Análisis de varianza para el efecto de los factores y su interacción en el porcentaje de AR.	71
Tabla 6 Análisis de varianza para el efecto de los factores y su interacción en índice de expansión.	75
Tabla 7 Análisis de varianza para el efecto de los factores y su interacción en volumen aparente.	76
Tabla 8 Análisis de varianza para el efecto de los factores y su interacción en el índice de absorción de agua.	79
Tabla 9 Análisis de varianza para el efecto de los factores y su interacción en el índice de material soluble.	81
Tabla 10 Propiedades de pasta para la harina sin extruir y la harina extrudida con refrigeración y la harina extrudida sin refrigeración.	84
Tabla 11 Análisis bromatológico proximal para la harina sin extruir y la harina extrudida con refrigeración.....	91
Tabla 12 Análisis de varianza para el efecto de los factores y su interacción en el contenido de compuestos fenólicos.	94
Tabla 13 Análisis de varianza para el efecto de los factores y su interacción en la capacidad antioxidante (ABTS).....	97
Tabla 14 Análisis de varianza para el efecto de los factores y su interacción en la capacidad antioxidante (DPPH).	99
Tabla 15 Análisis de varianza para el efecto de los factores y su interacción en el cambio total de color (ΔE).	102
Tabla 16 Valores de L^* , a^* , b^* , C y HUE para la harina sin extruir, la harina extrudida sin refrigerar y las harinas extrudidas y refrigeradas.	106
Tabla 17 Diseño axial de mezclas para la bebida formulada.....	108
Tabla 18 Reformulación de bebida baja en calorías.....	111

Tabla 19 Datos obtenidos para la vida de anaquel sensorial de la bebida.	115
Tabla 20 Consumidores tomados en cuenta para el análisis de vida sensorial de anaquel.....	116
Tabla 21 Valores de verosimilitud para los distintos modelos de vida de anaquel sensorial.	116
Tabla 22 Tiempo estimado de vida de anaquel y porcentaje de rechazo de la bebida.	117
Tabla 23 Tiempo estimado de vida de anaquel y porcentaje de rechazo de la bebida para mujeres y hombres.	120
Tabla 24 Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la bebida durante el tiempo de almacenamiento.....	122
Tabla 25 Correlación entre los cambios fisicoquímicos de la bebida y la probabilidad de rechazo.	123
Tabla 26 Análisis bromatológico proximal para la bebida.....	128

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diseño axial para la formulación de la bebida.	60
Figura 2 Formato de evaluación sensorial.....	62
Figura 3 Formato de evaluación sensorial para estudio de vida de anaquel.	66
Figura 4 Efecto del tratamiento de extrusión sobre el porcentaje de almidón resistente en la harina de camote. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa entre tratamientos. * indican diferencia estadística significativa con respecto al control.....	72
Figura 5 Efecto de la interacción entre velocidad de tornillo, humedad de la harina y temperatura de extrusión sobre el porcentaje de almidón resistente en la harina de camote extrudida.....	73
Figura 6 Efecto de la interacción de los factores, temperatura de extrusión, temperatura de alimentación, velocidad del tornillo y humedad relativa sobre el índice de expansión en la harina de camote. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa entre tratamientos.....	75
Figura 7 Efecto de los factores, temperatura de extrusión, temperatura de alimentación, velocidad del tornillo y humedad relativa sobre el volumen aparente en la harina de camote. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa entre tratamientos.....	77
Figura 8 Efecto del tratamiento de extrusión sobre el índice de absorción de agua en la harina de camote. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa entre tratamientos. * indican diferencia estadística significativa con respecto al control.....	79
Figura 9 Efecto del tratamiento de extrusión sobre el índice de material soluble en la harina de camote. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa entre tratamientos. * indican diferencia estadística significativa con respecto al control.....	82
Figura 10 Efecto de los factores temperatura de extrusión, temperatura de alimentación y velocidad del tornillo sobre el índice de material soluble en la harina de camote.	82

Figura 11 Viscoamilograma de la harina de camote sin extruir, de la harina extrudida sin refrigerar y de la harina extrudida con refrigeración (4 °C, 24 h).....	85
Figura 12 Calorimetría diferencial de barrido para la harina sin extruir, la harina extrudida sin refrigeración y la harina extrudida con refrigeración.	87
Figura 13 Difractogramas de rayos x A) almidón obtenido de la harina extrudida sin refrigeración, B) almidón obtenido de la harina sin extruir C) almidón obtenido de la harina extrudida con refrigeración D) almidones obtenidos de las tres harinas.	89
Figura 14 Micrografía de las harinas de camote por microscopía electrónica (SEM) con recubrimiento de platino. A) harina control B) harina extrudida.....	92
Figura 15 Efecto del tratamiento de extrusión sobre el contenido de compuestos fenólicos totales en la harina de camote. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa entre tratamientos. * indican diferencia estadística significativa con respecto al control.	94
Figura 16 Efecto de los factores temperatura de alimentación y temperatura de extrusión sobre el contenido de fenoles en la harina de camote.	95
Figura 17 efecto de los factores, temperatura de alimentación, humedad de la harina y velocidad del tornillo sobre la concentración de compuestos fenólicos.	95
Figura 18 Efecto del tratamiento de extrusión sobre la capacidad antioxidante en la harina de camote. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa entre tratamientos. * indican diferencia estadística significativa con respecto al control.	97
Figura 19 Efecto del tratamiento de extrusión sobre la capacidad antioxidante en la harina de camote. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa entre tratamientos. * indican diferencia estadística significativa con respecto al control.	100
Figura 20 Efecto de la interacción entre la temperatura de alimentación y la temperatura de extrusión; la temperatura de extrusión y la velocidad del tornillo y la temperatura de extrusión y la humedad de la harina sobre la capacidad antioxidante (DPPH) sobre la harina de camote.....	100

Figura 21 Efecto del tratamiento de extrusión el cambio de color total (ΔE) en la harina de camote. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa entre tratamientos. * indican diferencia estadística significativa con respecto al control.	103
Figura 22 Efecto de los factores de extrusión sobre el cambio de color total en las harinas de camote.	103
Figura 23 Respuesta de los consumidores (mujeres y hombres) a las formulaciones propuestas.	109
Figura 24 Efecto de los componentes de la mezcla en la respuesta de los consumidores.	110
Figura 25 Respuesta de los consumidores a las formulaciones de la bebida. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa entre las formulaciones.	112
Figura 26 Respuesta de los consumidores (mujeres y hombres) a las formulaciones de la bebida. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa entre las formulaciones.	113
Figura 27 Porcentaje de rechazo de los consumidores frente al tiempo de almacenamiento a 4 °C en botella de vidrio ámbar de 330 ml, bajo una distribución logarítmica.	117
Figura 28 Porcentaje de rechazo y aceptación de los 50 consumidores durante el tiempo de almacenamiento.	118
Figura 29 Porcentaje de rechazo de los consumidores frente al tiempo de almacenamiento a 4 °C en botella de vidrio ámbar de 330 ml, bajo una distribución logarítmica para mujeres y hombres.	120
Figura 30 Correlación entre la concentración de compuestos fenólicos y la probabilidad de rechazo bajo un modelo lineal.	124
Figura 31 Correlación entre la capacidad antioxidante y la probabilidad de rechazo bajo un modelo lineal.	124
Figura 32 Correlación entre la capacidad antioxidante y la probabilidad de rechazo bajo un modelo lineal.	125

Figura 33 Correlación entre la concentración de antocianinas y la probabilidad de rechazo bajo un modelo lineal.....	125
Figura 34 Temperatura promedio dentro del refrigerador durante el tiempo de almacenamiento de la bebida	126
Figura 35 Cantidad de luz promedio dentro del refrigerador durante el tiempo de almacenamiento de la bebida.	127
Figura 36 Humedad relativa promedio dentro del refrigerador durante el tiempo de almacenamiento de la bebida	127

Dirección General de Bibliotecas UAQ

1. INTRODUCCIÓN

La obesidad es la acumulación anormal o excesiva de grasa que puede ser perjudicial para la salud. La causa fundamental del sobrepeso y la obesidad es un desequilibrio energético entre calorías consumidas y gastadas. A nivel mundial ha ocurrido un aumento en la ingesta de alimentos de alto contenido calórico y un descenso en la actividad física, debido a la naturaleza cada vez más sedentaria de muchas formas de trabajo, los nuevos modos de transporte y la creciente urbanización. Las enfermedades asociadas al sobrepeso y la obesidad son las cardiovasculares (principalmente las cardiopatías y los accidentes cerebro vasculares), que en Estados Unidos de América fueron la principal causa de muertes en 2015; la diabetes, sexta causa de muerte en 2015; los trastornos del aparato locomotor (en especial la osteoartritis, una enfermedad degenerativa de las articulaciones muy incapacitante), y algunos cánceres (endometrio, mama, ovarios, próstata, hígado, vesícula biliar, riñones y colon) quinta causa de muerte en 2015. En niños se asocia con una mayor probabilidad de obesidad, muerte prematura y discapacidad en la edad adulta (OMS, 2019).

México ocupa uno de los primeros lugares en prevalencia de sobrepeso y obesidad; en 2013 el Gobierno Federal puso en marcha una política nacional de prevención de obesidad y sus comorbilidades que reconoce el origen multicausal del problema denominada: Estrategia Nacional para el Control y la Prevención del Sobrepeso, la Obesidad y la Diabetes, que tiene como antecedente al Acuerdo Nacional de Salud Alimentaria, que se centró en tres pilares: salud pública, atención médica, la regulación sanitaria y política fiscal que tenían como fin revertir la epidemia de las enfermedades no transmisibles. En 2016 la encuesta nacional de salud y nutrición de medio camino (ENSANUT), reveló que en niñas de entre 5 a 11 años de edad los cambios de la prevalencia de obesidad y sobrepeso entre 2012 y 2016 no fueron significativas; sin embargo, en niños de la misma edad si se observaron diferencias significativas; en adolescentes de entre 12 a 19 años no se observó una reducción significativa aunque en mujeres adolescentes se observó un

aumento significativo en sobrepeso y en hombres adolescentes se presentó una reducción significativa en la prevalencia combinada de sobrepeso y obesidad. En adultos mayores de 20 años, los cambios de la prevalencia de obesidad y sobrepeso entre 2012 y 2016 no fueron significativos observándose un aumento en la prevalencia combinada tanto para hombres como para mujeres.

La encuesta también reveló que entre niños, adolescentes y adultos se observaron bajas proporciones de consumidores regulares de grupos de alimentos recomendables, siendo los de menor consumo los vegetales, seguidos de las frutas y las leguminosas. Sin embargo, se tiene una elevada proporción de consumo de alimentos no recomendables para el consumo diario, en donde los de mayor consumo son las bebidas azucaradas no lácteas seguidas de las botanas, dulces, postres y cereales dulces (Morales, 2016).

En México es imperativo desarrollar estrategias que permitan ayudar a combatir la obesidad desde perspectivas diversas. Estas estrategias deben promover una normatividad en etiquetado en favor del consumidor, la adquisición y consumo de verduras, frutas y alimentos locales y de la temporada; además, la salud alimentaria debe basarse en un programa nacional de producción agropecuaria y un sistema alimentario que garantice el acceso y disponibilidad de alimentos nutritivos para la población basado en la revalorización y recuperación de la dieta tradicional. Estas conclusiones resaltan en la necesidad de plantear otras estrategias como el empleo de ingredientes con menor aporte calórico en la elaboración de productos de alto consumo, como por ejemplo sustituir en las bebidas azucaradas no lácteas, la composición de macronutrientes para poder darles un enfoque funcional (Calvillo et al., 2016). Un ingrediente de bajo aporte calórico como es el almidón resistente (AR) proveniente de una fuente local y económica, como lo es el almidón de camote (*Ipomea batata*), y una potencial fuente de antioxidantes como lo cálices de jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) y el pimiento morrón (*Capsicum annum Group*), en donde cada uno de estos ingredientes poseen propiedades comprobadas y reportadas con respecto a sus efectos sobre la obesidad. Así, la producción de AR de camote y su incorporación a una bebida

con posible efecto funcional puede ser parte de una estrategia efectiva para el control de la obesidad en México.

1.1 Obesidad y alimentación

La obesidad es definida por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como la acumulación anormal o excesiva de grasa que puede ser perjudicial para la salud. Una de las formas de estimar el sobrepeso y la obesidad por medio del índice de masa corporal (IMC), un indicador simple de la relación entre el peso y la talla que se utiliza para identificar el sobrepeso y la obesidad. Se calcula dividiendo el peso de una persona en kilos por el cuadrado de su talla en metros (kg/m^2); así, en adultos con obesidad o sobrepeso tienen un IMC de más de 30 y de 25, respectivamente; niños menores de cinco años, el sobrepeso es el peso para la estatura con más de dos desviaciones típicas por encima de la mediana establecida en los patrones de crecimiento infantil de la OMS; y la obesidad es el peso para la estatura con más de tres desviaciones típicas por encima de la mediana establecida en los patrones de crecimiento infantil de la OMS. Para niños de entre 5 a 19 años el sobrepeso es el IMC para la edad con más de una desviación típica por encima de la mediana establecida en los patrones de crecimiento infantil de la OMS, y la obesidad es mayor que dos desviaciones típicas por encima de la mediana establecida en los patrones de crecimiento infantil de la OMS.

La causa fundamental del sobrepeso y la obesidad es un desequilibrio energético entre calorías consumidas y gastadas. A nivel mundial ha ocurrido un aumento en la ingesta de alimentos de alto contenido calórico y un descenso en la actividad física, debido a la naturaleza cada vez más sedentaria de muchas formas de trabajo, los nuevos modos de transporte y la creciente urbanización. Las enfermedades asociadas al sobrepeso y la obesidad son las cardiovasculares (principalmente las cardiopatías y los accidentes cerebro vasculares), que en Estados Unidos de América fueron la principal causa de muertes en 2015; la diabetes, sexta causa de muerte en 2015; los trastornos del aparato locomotor (en

especial la osteoartritis, una enfermedad degenerativa de las articulaciones muy incapacitante), y algunos cánceres (endometrio, mama, ovarios, próstata, hígado, vesícula biliar, riñones y colon) quinta causa de muerte en 2015. En niños se asocia con una mayor probabilidad de obesidad, muerte prematura y discapacidad en la edad adulta. Sin embargo, además de estos riesgos futuros, los niños obesos sufren dificultades respiratorias, mayor riesgo de fracturas e hipertensión, y presentan marcadores tempranos de enfermedades cardiovasculares, resistencia a la insulina y efectos psicológicos (OMS, 2018).

México ocupa uno de los primeros lugares en prevalencia de sobrepeso y obesidad; en 2013 el gobierno Federal puso en marcha una política nacional de prevención de obesidad y sus comorbilidades que reconoce el origen multicausal del problema denominada: Estrategia Nacional para el Control y la Prevención del Sobrepeso, la Obesidad y la Diabetes, que tiene como antecedente al Acuerdo Nacional de Salud Alimentaria, que se centró en tres pilares: salud pública, atención médica, la regulación sanitaria y política fiscal que tenían como fin revertir la epidemia de las enfermedades no transmisibles.

En 2016, la encuesta nacional de salud y nutrición de medio camino (ENSANUT) reveló que en niñas de entre 5 a 11 años de edad los cambios de la prevalencia de obesidad y sobrepeso entre 2012 y 2016 no fueron significativas; sin embargo, en niños de la misma edad si se observaron diferencias significativas; en adolescentes de entre 12 a 19 años no se observó una reducción significativa aunque en mujeres adolescentes se observó un aumento significativo en sobrepeso y en hombres adolescentes se presenta una reducción significativa en la prevalencia combinada de sobrepeso y obesidad. En adultos mayores de 20 años, los cambios de la prevalencia de obesidad y sobrepeso entre 2012 y 2016 no fueron significativos observándose un aumento en la prevalencia combinada tanto para hombres como para mujeres.

La encuesta también reveló que entre niños, adolescentes y adultos se observaron bajas proporciones de consumidores regulares de grupos de alimentos recomendables, siendo los de menor consumo los vegetales, seguidos de las frutas

y las leguminosas. Sin embargo, se tiene una elevada proporción de consumo de alimentos no recomendables para el consumo diario, en donde los de mayor consumo son las bebidas azucaradas no lácteas seguidas de las botanas, dulces, postres y cereales dulces (Morales, 2016).

Calvillo et al. (2016) realizaron un análisis y crítica a esta estrategia nacional y entre las conclusiones que reportan resalta la falta de regulaciones que promuevan y fomenten la adquisición y consumo de verduras, frutas y alimentos locales y de la temporada además de que proponen que la salud alimentaria debe basarse en un programa nacional de producción agropecuaria y un sistema alimentario que garantice el acceso y disponibilidad de alimentos nutritivos para la población basado en la revalorización y recuperación de la dieta tradicional (Calvillo, 2016). Estas conclusiones resaltan la necesidad de plantear otras estrategias como el empleo de ingredientes con menor aporte calórico en la elaboración de productos de alto consumo, como es el ejemplo de las bebidas azucaradas no lácteas, a las que se les puede modificar la composición de macronutrientes para poder darles un enfoque funcional.

1.2 Generalidades del almidón resistente (AR)

Existen varias estrategias para manipular la composición de macronutrientes de un alimento, desde la reducción del contenido en energía, reemplazando las grasas o hidratos de carbono por sustancias que contengan menos calorías, hasta el enriquecimiento relativo con ciertos macronutrientes o compuestos específicos que incrementen su valor saciante. Un objetivo puede ser ofrecer al consumidor alimentos con un contenido reducido de azúcar para reducir la ingesta energética y, por tanto, reducir o estabilizar el peso corporal a largo plazo, por ejemplo, substituyendo el azúcar por sustancias menos calóricas, aunque con

gran poder edulcorante (edulcorantes), o las grasas por ciertos tipos de fibra o sustitutos de grasas con propiedades organolépticas similares pero que no sean hidrolizados por las lipasas del tubo digestivo. Sin embargo, la efectividad a largo plazo de estas estrategias sigue sin estar muy clara, debido a que pueden desarrollarse procesos de compensación (Picó et al., 2006).

Otra alternativa es modificar el poder saciante de un alimento, el índice de saciedad mide que tan llena o satisfecha se siente una persona después de consumir una determinada carga calórica. Para determinarlo se pregunta a la gente que evalúe la saciedad que siente después de ingerir dicha comida al cabo de 2 h. Se ha observado que raciones isoenergéticas de diferentes alimentos pueden diferir ampliamente en su capacidad saciante, lo cual puede ser de interés para el tratamiento y la prevención del sobrepeso y la obesidad. La composición en nutrientes y la densidad energética de los alimentos tienen un papel importante determinando tanto la saciedad como la frecuencia y tamaño de los episodios de comida. Los hidratos de carbono, las grasas y las proteínas difieren en su capacidad saciante y en los mecanismos de inducción de saciedad (Picó et al., 2006). De entre las proteínas, las grasas y los hidratos de carbono estos últimos poseen el mayor índice de saciedad y dentro del grupo se encuentran los carbohidratos no digeribles o no glucémicos, constituidos por la fibra alimentaria y el AR. La fibra alimentaria, es la suma de la lignina y polisacáridos no amiláceos (celulosa, hemicelulosa, pectinas, gomas y mucilagos) de las plantas; de forma general la ingesta de fibra se asocia inversamente con el peso y la grasa corporal (Trung et al., 2017).

Por otra parte, el término de almidón resistente (AR) acuñado por Englyst (1982) hace referencia a la fracción de almidón que resiste la hidrólisis *in vitro* de la α -amilasa y pululanasa, el AR consiste en moléculas lineales de α -1,4-d-glucano y se deriva principalmente de retrodispersión de la amilosa (Englyst et al., 1982).

De acuerdo con la estructura que posea el almidón resistente (AR) éste se puede clasificar en AR1, AR2, AR3, AR4 y AR5. Otra clasificación incluye AR1, AR2 y AR3, y otras más a AR4 y AR5 (Raigond, 2015).

AR1: es físicamente inaccesible a la digestión, debido a su atrapamiento en granos o semillas, enteros o parcialmente molidos, o bien, a la presencia de paredes celulares intactas en granos, semillas o tubérculos. En tales casos, el almidón se vuelve inaccesible a las enzimas amilolíticas y digestivas, y la degradación de los componentes de la pared celular no es posible en el tracto gastrointestinal debido a la falta de enzimas degradantes de la pared celular. Este tipo de almidón pasa el intestino delgado como tal y se puede digerir por completo en este si está bien molido. Al ser estable al calor, no se descompone durante la cocción normal.

AR2: son gránulos de almidón nativos que están protegidos de la digestión por su conformación o estructura; la resistencia del almidón depende del tamaño de los gránulos, la forma de la superficie del gránulo, el contenido de amilosa, la cristalinidad del almidón y el tamaño de los poros en los gránulos de almidón. La digestión de AR1 y AR2 es lenta e incompleta en el intestino delgado.

AR3: son aquellos almidones modificados físicamente, es el almidón retrogradado, principalmente amilosa retrogradada y/o recristalizada, formado durante el enfriamiento de almidón gelatinizado y en alimentos cocinados que se mantienen a temperatura baja o a temperatura ambiente, es térmicamente muy estable y al serlo se utiliza como ingrediente en una amplia variedad de alimentos convencionales. AR3 tiene una mayor capacidad de retención de agua que el almidón granular. La preparación de AR3 a partir de la retrogradación de la amilopectina es un proceso prolongado y puede llevar de unos pocos días a algunas semanas de almacenamiento a una temperatura adecuada. Este proceso se vuelve eficiente con calentamientos y enfriamientos repetidos de las pastas de almidón.

AR4: son almidones químicamente modificados similares a los oligosacáridos resistentes y la polidextrosa. Son aquellos almidones que se han esterificado o unido a través de ligaciones cruzadas con sustancias químicas para disminuir su digestibilidad, su baja digestibilidad es debida al bloqueo del acceso a la enzima y la formación de enlaces típicos como α -1,4 y α -1,6.

AR5: surge de la formación de complejos de amilosa-lípidos. Estos complejos se pueden formar durante el procesamiento de alimentos y también se pueden preparar bajo condiciones controladas, estos complejos de amilosa-lípidos se forman generalmente a partir de almidones con un alto contenido de amilosa. AR5 comprende polisacáridos de poli- α -1,4-glucano lineal insoluble en agua y es resistente a la degradación por α -amilasa. Estos polisacáridos promueven la formación de ácidos grasos de cadena corta (AGCC), particularmente butirato, que es el AGCC más importante (Raigond et al., 2015).

1.2.1 Efectos del AR

Se ha reportado que el almidón resistente produce diversos beneficios a la salud, siempre y cuando el AR constituya el 14% del total de almidones consumidos en la dieta diaria (Topping, 2003), los beneficios que presenta el consumo de AR se presentan a continuación:

Actúa como fibra dietética: el consumo de fibra dietética soluble como β -glucano y arabinosilano conduce a la formación de soluciones viscosas y aumenta la viscosidad en el intestino, retrasando el tránsito intestinal, lo que a su vez retrasa el vaciado gástrico y ralentiza la absorción de glucosa y esteroides por el intestino. También puede reducir el colesterol sérico, la glucemia posprandial y los niveles de insulina (Rideout, 2008). El papel de la fibra dietética en el cuerpo está influenciado por el grado de fermentación, y la fibra dietética que no se fermenta en el organismo se excreta en las heces. La fibra dietética confiere beneficios para la salud y efectos fisiológicos, que incluyen laxación y/o atenuación del colesterol en la sangre y la atenuación de la glucosa en la sangre.

El AR promueve el crecimiento de bacterias probióticas: Los prebióticos se definen como "ingredientes alimentarios no digeribles que afectan beneficiosamente al huésped estimulando selectivamente el crecimiento y / o la actividad de una o un número limitado de especies bacterianas que ya residen en el colon y, por lo tanto,

intentan mejorar la salud del huésped" (Topping et al., 2003). La ingestión de AR ayuda a extender la viabilidad de algunos organismos probióticos en el colon, además de proteger algunos de los organismos ingeridos en su camino hacia el colon y efectivamente aumenta los niveles iniciales de las especies deseables una vez que alcanzan el colon. En el colon, AR puede iniciar su función como sustrato de una porción de los organismos probióticos (Raigond et al., 2015). El AR tiene una estrecha relación con la salud del colon ya que afecta el volumen fecal y el metabolismo de ácidos grasos de cadena corta (Sajilata et al., 2006).

El AR posee efectos hipoglucémicos: el índice glucémico (GI) se refiere a la capacidad que tienen los alimentos de elevar la glucosa en sangre. Algunos alimentos pueden elevar muy rápido la glucosa en sangre, mientras que otros lo hacen más lento. Este se utiliza para clasificar los productos con respecto a su influencia en la glucemia posprandial (Bello et al., 2009). El metabolismo de AR ocurre de 5 a 7 h después consumo, a diferencia del almidón normalmente cocinado que se digiere casi inmediatamente. La digestión durante un período de 5 a 7 h reduce glicemia posprandial e insulinemia y tiene el potencial para aumentar el período de saciedad. En 1998, la FAO recomendó una mayor ingesta de alimentos de IG bajo, con énfasis en diabéticos y sujetos con intolerancia a la glucosa. En el caso de la diabetes tipo II, AR ha adquirido gran importancia debido a su baja velocidad de liberación de glucosa, así como el tiempo que toma en ser metabolizada (Sui, 2011). Debido a la creciente conciencia del consumidor sobre la relación entre la dieta y la enfermedad, la industria alimentaria ahora se centra en la producción de alimentos funcionales basados en diversas harinas integrales de cereales y otros productos de IG bajo (Raigond et al., 2015).

Efectos hipocolesterolémicos del AR: el AR afecta particularmente el metabolismo de los lípidos. Los lípidos totales, el colesterol total, las lipoproteínas de baja densidad (LDL), las lipoproteínas de alta densidad (HDL), las lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL), las lipoproteínas de densidad intermedia (IDL), los triglicéridos y las lipoproteínas ricas en triglicéridos se han visto afectadas en dietas que contienen AR (Birt et al., 2013), La ingestión de AR puede disminuir el nivel de

colesterol sérico en ratas alimentadas con una suplementación del 9.7% de AR en su dieta diaria libre de colesterol. Todavía hay contradicciones con respecto al papel de AR en la alteración de los niveles de triglicéridos y colesterol. Por lo tanto, se necesita más investigación para ayudarnos a comprender mejor los efectos de AR sobre el metabolismo lipídico en humanos (Raigond et al., 2015).

El AR sirve para el control de peso y el control calórico: El valor energético de AR es muy bajo y se ha calculado en aproximadamente 2 kcal/g, mientras que el valor de energía para almidón completamente digerible es 4.2 kcal/g (Nugent, 2005). Otros estudios determinan el papel de AR en la modificación de la oxidación de grasas, como agente de saciedad y en el control del peso. Los alimentos ricos en AR proporcionan una menor cantidad de calorías junto con una menor respuesta de glucosa en comparación con los carbohidratos digeribles basados en glucosa, además el consumo de AR, reduce la acumulación total y regional de grasa corporal, con un menor volumen de adipocitos. El AR se asocia con un aumento de la oxidación de lípidos a expensas de la oxidación de carbohidratos y, por lo tanto, una produce una disminución en la producción de lípidos. Las propiedades fisiológicas mencionadas anteriormente son importantes para controlar el peso y reducir la obesidad (Raigond et al., 2015)

Reducción de la formación de cálculos biliares: El almidón digerible contribuye a la formación de cálculos biliares a través de una mayor secreción de insulina esta a su vez conduce a la estimulación de la síntesis de colesterol. AR se encuentra para reducir la incidencia de cálculos biliares (Malhotra, 1968), la ingesta dietética de AR es de 2 a 4 veces menor en los Estados Unidos, Europa y Australia, en comparación con las poblaciones que consumen dietas con alto contenido de almidón, como India y China, que puede reflejarse en la diferencia en el número de casos de cálculos biliares en estos países (Birkett et al., 2000).

El AR y la absorción de minerales: el AR aumenta la absorción ileal de varios minerales en ratas y humanos. Se ha observado una absorción mejorada de calcio en humanos, y mayor absorción de calcio, magnesio, zinc, hierro y cobre en ratas alimentadas con dietas ricas en AR. Algunos tipos de AR (AR2 aunque no

AR3) podrían mejorar la absorción de calcio y magnesio al mejorar la solubilidad mineral en el ciego y / o el intestino grueso. Sin embargo, no se ha demostrado ningún efecto de AR sobre la absorción de glucosa producida por la digestión de la fracción de almidón digerible y tampoco se ha informado de ninguna evidencia de la influencia de AR sobre aminoácidos y vitaminas (Raigond et al., 2015).

1.2.2 Tratamientos para producir el aumento de almidón resistente

La formación de AR se ha reportado en leguminosas, cereales, tubérculos y frutas. La producción de este AR se basa en el uso de tratamiento térmico, tratamiento enzimático, tratamiento térmico combinado con el tratamiento enzimático, tratamiento químico y se ha incluido el uso de extrusores, altas presiones hidrostáticas, irradiación gamma y la producción de complejos con lípidos en la obtención de AR. Cada uno de los procesos se describe brevemente a continuación:

Tratamiento térmico: El tratamiento térmico del almidón conduce a la formación de AR, éste se puede obtener al cocinar el almidón por encima de la temperatura de gelatinización y al mismo tiempo secar éste en secadores de tambor o incluso extrusores. La gelatinización de los gránulos de almidón mediante el procesamiento térmico influye fuertemente en su susceptibilidad del AR a la hidrólisis enzimática. La formación de AR sigue las siguientes etapas: una etapa de gelatinización, una etapa de nucleación - propagación, y preferiblemente una etapa de tratamiento térmico para producir composiciones a base de almidón reducidas en calorías que contienen el almidón resistente a la enzima. Se pueden obtener buenos rendimientos de AR gelatinizando el almidón a 120 °C durante 20 min, seguido de enfriamiento a temperatura ambiente y un proceso de congelación durante 8 a 12 h a -20 °C y un secado a 60 °C antes de la molienda (Garcia, et al., 1999). Por otro lado, para la producción de AR3 se han usado diversas combinaciones de tiempo y temperatura para diferentes fuentes de almidón nativo teniendo como factor común el someter al almidón nativo a temperaturas mayores

a 100 °C, ya que a estas temperaturas se aumenta el rendimiento del AR3. Los tratamientos térmicos han incluido 110, 121 (Sievert et al., 1993), 127, 134 y 148 °C durante períodos que van desde 30 min hasta 1 hora. Otra forma de producir AR, y que se encuentra dentro de los procesos térmicos es la hidrólisis ácida parcial (HAP) de un almidón; ésta aumenta los efectos de los tratamientos hidrotérmicos utilizados para producir AR granulares, que es estable a un tratamiento adicional de calor a presión atmosférica (Brumovsky et al., 2001). La HAP del almidón implica calentar suspensiones de almidón al 35% (p/v) con HCl al 1% (p/p) a 25 °C hasta 78 h. La HAP seguida del tratamiento con calor húmedo tendió a aumentar el rendimiento de AR granular estable a la ebullición. Un tratamiento térmico selectivo del almidón con alto contenido de amilosa en presencia de agentes que inhiben el hinchamiento de las sales alcalinas y alcalinotérricas de haluros, sulfatos y fosfatos de almidón produce AR granular con alta fibra dietética. Se ha reconocido que la pirodextrinización es una forma de producir un AR soluble en agua y que no tiene enlaces de almidón. Por otro lado, se tiene la piroconversión, que se refiere estrictamente a la modificación del almidón seco con tratamientos térmicos, con o sin adición de ácidos. Los ácidos incluyen ácido clorhídrico al 0.15% (basado en el peso seco del almidón) y ácidos ortofosfórico o sulfúrico al 0.17% (Stephen, 2006). Las pirodextrinas comerciales se producen calentando almidón acidificado seco en un reactor con agitación. Se puede pulverizar ácido sobre el almidón para facilitar la hidrólisis y la transglicosidación. Dependiendo de las condiciones de reacción, la piroconversión produce una gama de productos que varían en digestibilidad, almidón disponible, viscosidad, solubilidad en agua fría, poder de hinchamiento, color y estabilidad (Sajilata et al., 2006).

Tratamiento enzimático: Se obtuvo AR fácilmente fermentable y estable al calor a base poli-1,4-D-glucano útil, mediante síntesis *in vitro* agregando un extracto de enzima que contiene la sacarasa de *Neisseria polysaccharea* a soluciones de sacarosa, seguido por incubación a 37 °C durante varias horas. También se ha estudiado la posibilidad de preparar un concentrado de AR a partir de almidón de chícharo usando una α -amilasa térmicamente estable y se obtuvo una preparación de hasta 70 % de AR con una mezcla de compuestos minerales y orgánicos. El AR

de chícharo tiene una afinidad por el ácido biliar, el ácido desoxicólico y el colesterol; sin embargo, su afinidad por el colesterol es tan eficiente como la del almidón nativo de chícharo. Se concluyó entonces que el AR de chícharo puede usarse potencialmente como un componente alimenticio en dietas especiales, o con fines preventivos, profilácticos y terapéuticos (Sajilata et al., 2006).

Calor y tratamiento enzimático: este tratamiento es usado para obtener AR que será utilizado como un agente de carga de grado alimentario; para ello se produce la retrogradación de almidón seguido de hidrólisis enzimática o química para reducir o eliminar las regiones amorfas de almidón retrogradado. El AR se puede preparar a partir de almidón con alto contenido de amilosa por gelatinización seguido de tratamiento de la suspensión con enzimas de desramificación como pululanasa y aislamiento del producto de almidón por secado y extrusión. Haralampu y Gross en (1998) reportan en una patente que con un tratamiento térmico controlado del almidón se logra la hinchazón del gránulo y, al mismo tiempo, se conserva su estructura; posteriormente se procede a su desramificación enzimática para continuar con un recocido a temperatura adecuada y un proceso de secado que produce AR, éste posee aplicaciones en una variedad de alimentos y productos de bebidas. Para obtener almidones con al menos 50% de AR se produce una suspensión de almidón de agua en la que la relación de almidón a agua de 1: 2 a 1:20, se calienta la suspensión de almidón de agua en autoclave a temperaturas superiores a 100 °C, para asegurar la gelatinización completa del almidón, y luego enfriar para permitir que tenga lugar la retrogradación de la amilosa. Sievert (1990) informó que los mejores resultados se obtuvieron a una temperatura de 134 °C, con 4 ciclos de calentamiento y enfriamiento y una relación almidón: agua de 1: 3.5. El AR se purificó triturando el gel de almidón y mezclándolo con una amilasa para digerir fracciones de almidón no resistente y dejando AR. La amilasa se inactiva mediante un tratamiento térmico superior a 100 °C (Sievert & Wursch, 1993). Se puede realizar la preparación de un precipitado de almidón fragmentado para su uso en alimentos reducidos en grasa, para ello, se precipita un almidón de amilopectina desramificado y luego se fragmenta. El almidón de amilopectina desramificado puede derivarse de un almidón que contenga

amilopectina, por ejemplo, almidón de maíz común y almidón de maíz ceroso, entonces gelatinizando el almidón, seguido de tratamiento con una enzima desramificante, tal como isoamilasa o pululanasa, seguido de la precipitación del almidón desramificado. Para formar el precipitado, la solución se enfría a temperatura ambiente, el precipitado puede luego calentarse a aproximadamente 70 °C, mientras está en contacto con un medio líquido, para disolver al menos una porción del precipitado. La reprecipitación por enfriamiento de la suspensión/solución puede entonces emplearse. La repetición de la disolución y la reprecipitación tienden a mejorar la estabilidad de la temperatura de la dispersión acuosa resultante como se observó al repetir el ciclo de calentamiento y enfriamiento, un total de 8 veces (Sajilata et al., 2006).

Tratamiento químico: En el AR4, la resistencia a la enzima se produce al modificar el almidón mediante ligaciones cruzadas con agentes químicos. Los almidones con ligaciones cruzadas se obtienen por reacción del almidón con reactivos bi o polifuncionales como trimetafosfato de sodio, oxicluro de fósforo o anhídridos mixtos de ácido acético y ácidos dicarboxílicos como el ácido adípico. La reticulación llevada a cabo por grupos sulfonato y fosfato se produce entre varias moléculas de almidón y su grupo hidroxilo, lo que proporciona resistencia al ataque enzimático. Se han preparado almidones digeridos con fosfato con 0.4% a 0.5% de fósforo y conteniendo tanto almidón digerido lentamente como AR4. Los almidones modificados se obtuvieron en rendimiento cuantitativo y proporcionaron de 13 a 69% de SDS y de 18 a 87% de AR4. Los almidones AR4 con bajo poder de hinchamiento también se han preparado de forma similar a partir de almidones de trigo, maíz, maíz céreo, maíz con alto contenido de amilosa, avena, tapioca de arroz, frijol, plátano y papa. El almidón fosfatado es un AR modificado elaborado a partir de almidón de maíz con alto contenido de amilosa que se utiliza actualmente como aditivo alimentario (E1413) en la Unión Europea (Sajilata et al., 2006).

Tratamiento por extrusión: el mecanismo por el cual la extrusión aumenta AR es a través de las condiciones relativamente altas de corte que causan la despolimerización de la molécula de almidón, liberando así las cadenas rectas que

tienen más probabilidades de ser retrógradas en AR3. Se ha observado que los polímeros de amilopectina altamente ramificados que tenían cadenas ramificadas cortas eran más susceptibles a la alta cizalladura debido a la rigidez de las cadenas cortas, por lo tanto, aumentaban la escisión de las cadenas inducida por cizallamiento. Además, se ha examinado el efecto de la extrusión de doble tornillo sobre el contenido de AR del almidón de maíz normal modificado con ácido. El almidón de maíz normal tenía un contenido de AR del 11%, y después de la hidrólisis ácida seguida de condiciones de extrusión de cizalla baja o alta, el contenido de AR aumentó a 19% y 20%, respectivamente. La cizalla se manipuló alterando la cantidad de paletas de amasado usadas en el tornillo. Un estudio diferente usó almidón de mango y un extrusor de un solo tornillo para ver los efectos de la temperatura modificada del barril, la humedad y la velocidad del tornillo en AR. Los niveles nativos fueron de 1.1% y la extrusión aumentó hasta 9.7% bajo las condiciones de 27.5% de humedad, 70 revoluciones por minuto (rpm) y 150 °C, cuando se midió usando el método Goñi. En general, el contenido de AR se vio influido positivamente por la temperatura baja o alta (102 °C <T> 138 °C), así como la velocidad de velocidad baja o alta (58 <rpm> 82); sin embargo, el contenido de humedad presentó un efecto insignificante en los niveles finales de AR. Las bajas velocidades del tornillo propiciaron la formación de AR debido al hecho de que esto aumentaba la cantidad de tiempo que el almidón pasaba en el extrusor y, por lo tanto, la cantidad de degradación que podía ocurrir (Hasjim et al., 2009). En un experimento idéntico con almidón de plátano para extrusión, también se encontró que el contenido de humedad era menos influyente en AR que la velocidad del tornillo (50 a 60 rpm) o la temperatura (T> 130 °C), también medido con el método de Goñi (Agustiniano-Osornio et al., 2005). Se han preparado extrudidos de plátano a 2 velocidades de tornillo diferentes (200 y 400 rpm) y contenido de humedad (20 y 50%) a temperaturas de barril constantes. Se encontró que el contenido de AR es altamente dependiente de la humedad utilizada para la extrusión. Las muestras procesadas al 50% de humedad presentaban contenidos de AR de 3.8 y 3.6%, mientras que las muestras de baja humedad tenían 1.2 y 0.9%, para muestras procesadas a altas y bajas rpm, respectivamente. La introducción de un período de

retrogradación de 24 h a 4 °C produjo aumentos no significativos en AR para todas las muestras (Sarawong et al., 2014). Sin embargo, debido a la naturaleza compleja de la extrusión, es difícil comparar estudios que usan incluso la misma fuente de almidón debido a las diferencias en el extrusor usada (sólo en comparación con tornillos gemelos), configuración de tornillo y velocidad. así como otros parámetros tales como los contenidos de amilosa, AR nativo, lípidos y proteínas del almidón en cuestión (Dupuis et al., 2014).

Altas presiones hidrostáticas: normalmente, este proceso se lleva a cabo empacando al vacío una pulpa de almidón en agua y colocando el almidón en un recipiente a presión, típicamente en el rango de 10 a 1200 MPa. Esto da como resultado un producto parcialmente gelatinizado y es más resistente al ataque enzimático que su homólogo no tratado con presión. El procesamiento a alta presión confiere una mayor resistencia a la digestión al gelatinizar parcialmente los almidones durante la presurización (debido al uso de temperaturas más bajas), seguido de la liberación de la descompresión, lo que provoca una retrogradación espontánea que conduce a la formación de AR. Se ha observado que cuando el almidón de maíz con alto contenido de amilosa (aproximadamente 80%) se gelatinizó bajo presión a 15 MPa durante 2 h entre 80 y 120 °C, el contenido de AR resultante fue mayor que el almidón gelatinizado nativo (Pei-Ling, Qing, Qun, Xiao-Song, & Ji-Hong, 2012). Cuando la temperatura se incrementó a 130 °C ó 140 °C, el contenido AR disminuyó abruptamente a 2.6% o menos, lo que se atribuyó a la degeneración de las cadenas largas de almidón como resultado de una combinación de calor y las fuerzas pleurales (Dupuis et al., 2014).

Irradiación gama: La irradiación se lleva a cabo típicamente exponiendo muestras de almidón a cobalto 60 a una velocidad de 0.4 a 10 kGy/h. La cantidad de radiación dada a las muestras varía hasta 100 kGy (Hyun et al., 2010). Los métodos por los cuales la radiación y mejora el contenido de AR son complejos. La irradiación y provoca aumentos en las cantidades de grupos carboxilo en el almidón (Chung et al., 2009), por lo que en esencia los radicales libres generados por la radiación ionizante están oxidando el almidón, y se ha mostrado anteriormente que

la oxidación aumenta el contenido de AR. Además, también se ha mostrado que en el maíz y frijoles pintos la irradiación y crea espontáneamente enlaces β (1-3) y β (1-4) en el almidón mediante transglucosilación. Dado que los carbohidratos que están unidos por enlaces β no son digeribles por las enzimas humanas, esto probablemente contribuya al contenido de AR. Los almidones sometidos a irradiación y generalmente tienen amilopectina en regiones amorfas del gránulo escindido, contenido de amilosa y glucopolímeros con un grado de polimerización (GP) > 25 (Bao et al., 2005). El aumento de polímeros con un GP > 25 se puede atribuir a la capacidad de la radiación ionizante para reticular los almidones debido a la producción de radicales libres (Bhat & Karim, 2009). Finalmente, en la harina de arroz, la radiación y ha aumentado la cantidad de cristalinidad de tipo V, lo que es indicativo de la formación de complejos amilo-lípidos (Shu et al., 2006), que también pueden reducir la digestibilidad en los almidones. La ventaja de usar la irradiación y es que el proceso puede acelerarse, lo que reduce el tiempo de procesamiento. Además, el uso de radiación y tiene el beneficio adicional de no dejar residuos dañinos dentro del almidón después del procesamiento, en comparación con muchos métodos químicos. En almidones de papa y alubia blanca expuestos a 50 kGy durante 25 h, el contenido aparente de amilosa disminuyó 6.3% a 9.4%, una tendencia que es observada por otros grupos de investigación en almidones de maíz irradiados con γ y almidón de arroz (Chung, et al., 2009; Shu et al., 2006).

Formación de complejos con lípidos: La creación de complejos amilo-lípidos ayuda a dificultar el hinchamiento granular, así como a desarrollar un mayor enredo entre los polímeros de almidón. En conjunto, estos factores ayudan en la formación de AR restringiendo la capacidad de las enzimas digestivas para romper el almidón (Hasjim et al., 2009) Estos complejos existen en dos formas principales (1 y 2), siendo la forma 1 es un tipo de estructura amorfa ordenada aleatoriamente y la forma 2 es una forma más cristalina. Se cree que la forma 1 es un precursor de la forma 2 y, después de un segundo tratamiento térmico, la estructura de los complejos amilo-lípidos se funde parcialmente y cambia de la forma 1 a la forma 2. Se examinaron el efecto de diversos ácidos grasos sobre su capacidad para formar

complejos con el almidón de papa y sus efectos sobre la hidrólisis enzimática. En general, los ácidos grasos de cadena corta (láurico y mirístico) tuvieron una mayor incidencia de formación de complejos que las cadenas largas (palmítico y esteárico). Sin embargo, la presencia de 1 o 2 enlaces dobles (en oleico y linoleico, respectivamente) mejoró su capacidad de complejo en comparación con su homólogo de ácidos grasos saturados (ácido esteárico), lo que se explica por el hecho de las cadenas largas tienen una solubilidad disminuida en el entorno hidrofílico que es el almidón gelatinizado. El hecho de tener un doble enlace disminuye el número aparente de átomos de carbono involucrados en la formación del complejo (Kawai et al., 2012).

Desde el punto de vista tecnológico, la incorporación de almidones resistentes en productos horneados, productos de pasta y bebidas imparte mejores propiedades de textura y beneficios para la salud. Los almidones resistentes se están examinando tanto por sus posibles beneficios para la salud como por sus propiedades funcionales para producir alimentos de alta calidad. Sin embargo, los resultados y hallazgos de diferentes estudios se ven obstaculizados por las diferencias en el diseño del experimento y las diferencias en las fuentes, tipos y dosis de almidón resistente. Se hace uso de AR en bebidas espesas opacas para la salud en las que se requieren fibras insolubles. En comparación con las fibras insolubles, el AR imparte una sensación menos arenosa en la boca y enmascara los sabores (Calvillo et al., 2016). En la actualidad no se han publicado investigaciones sobre bebidas elaboradas con AR proveniente de camote; se tiene reportado el uso de AR de plátano, legumbres y maíz en la elaboración de bebidas saludables en forma de “smoothies” caseros de sabores variados como chocolate y fresa, sin embargo, no se tienen estudios tecnológicos sobre el uso de almidón resistente de camote en bebidas.

1.3 Camote como fuente de AR

En este trabajo se pretende usar al camote como fuente de almidón nativo para la producción de almidón resistente. El camote pertenece al género *Ipomoea* de la familia *Convolvulaceae* y tiene alrededor de 600 especies distribuidas en los trópicos y subtrópicos de todo el mundo. El camote es una de las ocho especies de la sección batatas nativa que abarca desde México hasta el centro de Sudamérica. El valor nutritivo del camote es mayor en comparación con el de la papa, además de ser una fuente valiosa de fibra, antioxidantes y rica en vitaminas y minerales. El tipo “amarillo” especialmente el de pulpa con un color similar al de la calabaza, tiene un contenido de caroteno mayor que el de la zanahoria. Su valor nutricional por cada 100 g de tubérculo comprende en mayor proporción agua 74 %, fibra 1.2 %, almidón 11.8 g, sodio 41 mg, potasio 385 mg, fósforo 55 mg, calcio 22 mg, hierro 1 mg; también magnesio, cobre, zinc y cloro. Asimismo, el camote contiene vitamina C 25 mg; vitamina B1 0.1 mg; vitamina B2 0.06 mg; vitamina B3 52 mg (Nabubuya, et al., 2012). El almidón de camote juega un papel importante en las industrias alimentaria, química y farmacéutica. Las materias primas pueden producir almidón natural y almidón modificado por procesamiento primario, después de estos procesos se pueden producir productos de almidón variados, como glucosa, amilosa maltogénica, sustitutos del azúcar, ácido cítrico, sorbitol y vitamina C. En la industria alimentaria, el almidón de camote no sólo se puede utilizar como material de procesamiento, además de usarse en la fabricación de fideos, gelatinas y otros productos consumibles, sino también como aditivo alimentario, que puede usarse en alimentos como espesante, estabilizador o agente de refuerzo tisular para mejorar los alimentos para retener agua, controlar el flujo de agua y mantener la calidad de almacenamiento de los alimentos. La estructura del almidón de camote se compone principalmente de dos tipos de polímeros, amilosa y amilopectina, que se encuentran en el almidón de otras especies de plantas. Estas diferencias pueden deberse a las diferentes variedades y también pueden ser causadas por diferentes métodos de determinación. La amilopectina del camote se compone principalmente de tres tipos de cadenas ramificadas, A, B y C, que es similar a la estructura en otros almidones. La cadena C, como la cadena principal, está localizada en el extremo reductor de la molécula de amilopectina, el grupo terminal reductor está

conectado a través del enlace α -1,6, y la cadena B está conectada con una o una pluralidad de cadenas A. La amilopectina de camote generalmente está dominada por su cadena B (>11 residuos de glucosa), y la cadena A (restos de glucosa \leq 11 por) es más corta que la cadena B. La longitud promedio de la cadena de amilopectina de camote fue de entre 6 y 45 residuos de glucosa / cadena, donde la proporción de longitud de cadena promedio de 6 a 10, de 11 a 15, de 16 a 20, de 21 a 30, y de 30 a 45 residuos de glucosa por cadena. La distribución de la longitud de la cadena promedio total de amilopectina es 12.4, 15.2, 33.2, 33.8, 22.9, 24.6, 21.1, 23, 6.3 y 7.1%, respectivamente (Nabubuya et al., 2012). La forma del gránulo del almidón de camote es poligonal o circular, parcialmente ovalada y con forma de campana. La distribución del tamaño de partícula varía de 3.4 a 27.5 μ m, y el tamaño medio de partícula está entre 8.4 y 15.6 μ m. Diferentes almidones de camote tienen diferentes tamaños de partículas, y los tamaños de partículas para los mismos tipos de almidones de camote también pueden aumentar gradualmente con el crecimiento y la maduración del camote (Kitahara et al., 2005). Sin embargo, la fertilidad de los suelos y las fechas de siembra y cosecha de camote tienen poco efecto sobre el tamaño de partícula (Noda, 1998). Además, las características de poder de hinchamiento, solubilidad y digestibilidad se vieron afectadas por el tamaño de gránulo del almidón de camote. Estos gránulos de almidón son más grandes; por lo tanto, el poder de hinchamiento y la solubilidad son mayores, pero la digestibilidad disminuye significativamente (Zhang, et al., 1999). La composición química del almidón de camote se presenta a continuación en la Tabla 1.

Tabla 1 Composición química del almidón de camote.

Componente	Contenido (%)
Amilosa	15.3-28.8
Humedad	8.0-11.8
Proteína (bs)	0.1-0.23
Ceniza (bs)	0.1-0.5
Lípidos (bs)	0.14-0.21
Fosforo (bs)	0.014-0.022

(bs: base seca) (Mu, et al., 2017)

Las propiedades de gelificación obtenidas por calorimetría de barrido diferencial (CDB), la capacidad de hinchamiento y solubilidad del almidón de camote se presentan en la Tabla 2:

Tabla 2 Propiedades térmicas del almidón de camote.

Parámetros	Valores
T_0 (°C)	66.2-71.3
T_p (°C)	69.5-79.78
T_{final} (°C)	75.29-88.5
ΔH (J/g)	7.8-15.5
Capacidad de hinchamiento (85 °C, ml/g)	32.3-50
Solubilidad (85 °C, %)	1.5-13.65

Nota: temperatura de gelatinización inicial= $T_0 - T_{inicio}$, temperatura máxima de gelatinización= $T_p - T_{lim}$; T_{final} = temperatura final de gelatinización, ΔH entalpía de gelatinización (Mu et al., 2017).

Los parámetros del gel de almidón de camote se presentan en la Tabla 3:

Tabla 3 Parámetros de viscosidad del almidón de camote.

Viscosidad y parámetros relativos	Valores
Viscosidad máxima (cP)	143-469
Viscosidad mínima (cP)	91-214
Viscosidad de descomposición (cP)	29.4-255
Viscosidad final (cP)	82.9-284
Viscosidad de retrogradación (cP)	15-78
Temperatura de gelatinización (°C)	65.9-87.7
Tiempo máximo	3.4-7.44
Centipoise (cP)	

(Mu et al., 2017)

El almidón de camote muestra una tasa de retrogradación baja a moderada. La velocidad de retrogradación y el grado de retrogradación del almidón de camote aumentan con el aumento en el contenido de amilosa. Un aumento de cadenas cortas ramificadas (CL 12- 14 residuos de glucosa/cadena) en amilopectina acelera la velocidad de retrogradación; mientras que, un aumento de cadena ramificada corta (CL 9-11 residuos de glucosa / cadena) en amilopectina causa que disminuya la velocidad de retrogradación (Zhang, et al., 1999). Además, la retrogradación del almidón de camote también depende de la concentración, la temperatura de

almacenamiento, el valor de pH y composiciones químicas del almidón. A altas concentraciones de almidón, bajas temperaturas de almacenamiento y un rango adecuado de condiciones de pH, la velocidad de retrogradación se acelera, mientras que la velocidad de retrogradación disminuye significativamente a concentraciones iónicas más altas (Mu et al., 2017)

Para la producción de AR a partir de almidón nativo de camote se ha recurrido al tratamiento térmico, en donde somete el almidón aislado a una suspensión con agua destilada en una relación 1: 3.5 en un vaso de precipitados de 500 ml. Las suspensiones se calentaron en una autoclave a una temperatura controlada de 128 °C por 1 h. Después del tratamiento en la autoclave, las muestras se dejaron enfriar a temperatura ambiente y se almacenaron durante la noche en un refrigerador a 48 °C. Los ciclos se repitieron cinco veces y las muestras tratadas se molieron en húmedo en una mano de mortero, posteriormente, se secaron en un horno de vacío a 55 °C. El material seco se molió en una licuadora y se dejó pasar a través de un tamiz con aberturas de 250 μ m. El porcentaje de aumento en el contenido de AR de los tubérculos calentados / enfriados repetidamente fue menos en comparación con la de las legumbres y los cereales. Las dos posibles razones para esto pueden ser el bajo contenido de amilosa en cultivos de tubérculos ya que la amilosa juega un papel importante en la formación y desarrollo de AR durante los tratamientos de calentamiento/enfriamiento y, en segundo lugar, los cultivos de tubérculos utilizados en este estudio no estaban en forma de harinas como en el caso de cereales y legumbres. En el caso de las harinas, el almidón se gelatiniza de manera más uniforme e intensa y, por lo tanto, se retrograda más en comparación con los granos o tubérculos intactos. El porcentaje de AR obtenido del camote, después del tercer proceso de calentamiento y enfriamiento fue, de 2.14 % en comparación con el control de 1.32 % (porcentaje en base seca).

Se ha realizado la producción de AR de camote usando dos métodos para diferentes variedades de camotes. Primero para aislar almidón, los tubérculos de camote se lavaron, pelaron, cortaron y molieron con un pequeño volumen de agua destilada. A continuación, la pulpa se pasó a través de un tamiz de 0.232 mm de

tamaño de abertura. Los experimentos se repitieron tres veces para separar todo el almidón de la pulpa. La suspensión espesa de almidón resultante se filtró a continuación a través de los tamices (0.232 y 0.105 mm). Luego se recuperó el almidón por centrifugación a 1500 RCF durante 20 min, se lavó minuciosamente en agua destilada durante tres veces y se secó en un horno a 40 °C durante 24 h con una humedad del 10-11 %. Para el tratamiento de calor y humedad (HMT), el almidón aislado se pesó en un recipiente de vidrio y luego el contenido de humedad del almidón se ajustó al 35 % añadiendo un volumen medido de agua destilada. El recipiente se selló y se equilibró a temperatura ambiente durante 24 h antes de calentar en un horno de aire forzado a 100 °C durante 6 h. Después de enfriar, la muestra de almidón fue tratada con calor y humedad a 40 °C durante 24 h con humedad del 9-10%. Para los tratamientos térmicos continuos (ANN) el almidón se mezcló con agua destilada en una proporción de 1: 2 (p/p), y luego se incubó en un baño de agua a 45 °C durante 24 h. Después de la incubación, la muestra de almidón se secó a 40 °C durante 24 h hasta un contenido de humedad del 9 al 10 %. Los contenidos de AR de los almidones de camote tratados con calor y humedad estuvieron en un rango de 30.6 - 39.3 %, significativamente más altos que los de los almidones con tratamientos térmicos continuos (28.8 a 32%). El mayor impacto del tratamiento de calor y humedad (HMT) sobre las propiedades fisicoquímicas y la formación de AR de los almidones de camote en comparación con el de los tratamientos térmicos continuos (ANN), podría deberse a la alta estabilidad de las interacciones producidas entre las moléculas de almidón y las cadenas de amilopectina durante el tratamiento.

No se tienen reportados muchos procedimientos para la producción de almidón resistente usando extrusión sin embargo, se han reportado investigaciones acerca de extrudidos de camote, como lo reportado para una harina de camote. El procedimiento consistió en retirar la cáscara manualmente y sumergir en solución de bisulfito de sodio (0.5 %), mientras se aguardaba el corte en el triturador. El material cortado también se sumergió en solución de bisulfito de sodio (0.5 %) durante 10 min para blanqueamiento. La deshidratación (40 °C) fue efectuada en deshidratador con circulación y renovación de aire por 12 h. El material deshidratado

fue triturado en molino de cuchillas y acondicionado en envases plásticos (polietileno) para posterior extrusión. Los parámetros del extrusor que se mantuvieron fijos fueron: temperatura de extrusión en la 1ª (20 °C) y en la 2ª zona (60 °C); ancho de la rosca (14 mm); profundidad de la rosca (4.5 mm); apertura de la matriz (5 mm); tasa de compresión de la rosca (1: 3); tasa de alimentación (200 g/min) y velocidad de corte (125 rpm).

Los parámetros humedad de la materia prima (15 a 21%), temperatura en la tercera zona (100, 120 y 140 °C) y rotación de rosca (180, 210 y 240 rpm) variaron según lo establecido en el diseño experimental. La harina pregelatinizada fue obtenida por la trituración de los extrudidos en molino de cuchillas, pasada en criba de malla (0.25 mm) y almacenada en recipientes de vidrio para análisis posteriores. Entre los parámetros de proceso evaluados (humedad, temperatura y rotación de la rosca), la humedad de la mezcla fue lo que ejerció un efecto más pronunciado sobre las características de los productos obtenidos, seguido de la temperatura de extrusión. El índice de expansión de los extrudidos mostró variación significativa con la humedad de la mezcla y temperatura de proceso. Los mayores valores de expansión ocurrieron bajo condiciones de baja humedad y elevada temperatura. Sin embargo, bajo condiciones de bajas humedad, la diferencia de color entre producto extrudido y no extrudido es incrementada, o sea, los extrudidos se vuelven más oscuros el componente L* mostró valores crecientes y el parámetro a* exhibió valores decrecientes con el aumento del contenido de humedad hasta 20-21%. El parámetro b* y la diferencia de color entre harinas extrudidas y no extrudidas mostraron valores crecientes a medida que disminuía la humedad (Borba, Sarmiento, & Leonel, 2005a).

Se evaluó el efecto del extrudido y del secado en tambor rotatorio de camote; para ello las raíces de camote, se pelaron y cortaron manualmente mediante un procesador de alimentos. Las piezas cortadas (1 mm de grosor) se remojaron en meta bisulfito de potasio al 0.3 % p/v y se secaron en un secador de bandeja a 50 °C durante 5 h. Los copos secados fueron triturados y molidos para después ser pasados a través de un tamiz para obtener harina secada al aire

caliente (HAF), que sirvió como muestra de control. El contenido de humedad inicial promedio del HAF fue de 6.36 ± 0.16 %. La harina secada al aire caliente se procesó con una extrusora de doble husillo. Los parámetros de extrusión fueron el contenido de humedad de alimentación de harina al 10 %, 13 % y 16% y velocidad del tornillo a 250, 325 y 400 rpm. Las temperaturas del barril en siete zonas desde el puerto de alimentación hasta el final se ajustaron a 30, 45, 55, 90, 110, 120 y 110 °C durante todo el experimento. Los extrudidos se secaron en un secador de bandeja a 50 °C durante aproximadamente 1 h para mantener el contenido de humedad de los extrudidos por debajo del 7 %. Después de secar, los productos extrudidos se molieron, se pasaron a través de un tamiz, se sellaron en bolsas de plástico y se almacenaron a 18 °C para su posterior análisis. Como resultado obtuvieron que las propiedades físico-funcionales y antioxidantes de las harinas de camote se vieron significativamente afectadas por los procesos de extrusión y secado en tambor. El Índice de absorción de agua (IAA) y índice de solubilidad en agua (ISA) fueron significativamente más altas en las harinas extrudidas en comparación con el control; esto lo atribuyeron a la degradación del almidón y la gelatinización durante la extrusión. El contenido total de antocianinas de la harina disminuyó significativamente durante la extrusión. IAA, ISA, el contenido total de fenoles y antocianinas, así como la actividad antioxidante (DPPH y ABTS) de las harinas secadas en tambor aumentaron significativamente en comparación con el control independientemente de las temperaturas de la superficie del tambor (Soison et al., 2014).

1.3.1 Propiedades funcionales de la ingesta de camote

Además de la utilidad que presenta el camote, éste posee otras propiedades funcionales en su composición. Se han analizado las capacidades de la proteína de camote para eliminar radicales libres y prevenir la peroxidación de lípidos utilizando el sistema de radicales libres anión superóxido, el sistema de radicales hidroxilos, el sistema de radicales DPPH y el ácido linoleico a través del

sistema de oxidación. Estas dos capacidades reflejan la actividad antioxidante del camote. Otro componente importante es el ácido clorogénico, el cual se encuentra en mayor concentración en los tejidos de la raíz (Mu et al., 2017), éste posee la capacidad de capturar radicales libres, , antiinflamatorio, , antihipertensivos, y se han convertido en un foco de investigación relacionada con los productos naturales. En la industria alimenticia, El ácido clorogénico son un nuevo tipo de antioxidante fenólico de alta eficiencia que puede reemplazar total o parcialmente los antioxidantes sintéticos comúnmente usados en algunos alimentos. Los ácidos clorogénicos pueden mejorar la estabilidad de los jugos de frutas, como el jugo de fresa. Agregar una pequeña cantidad de ácidos clorogénicos puede aumentar la resistencia a la oxidación de la manteca de cerdo y prolongar el tiempo de almacenamiento. Los ácidos clorogénicos pueden mantener de manera eficiente las cualidades sensoriales y nutricionales de las uvas durante el período de almacenamiento. Por lo tanto, los ácidos clorogénicos se pueden usar en el campo del procesamiento y almacenamiento de alimentos como antioxidantes y conservantes (Mu et al., 2017).

1.4 Generalidades del cáliz de jamaica (*Hibiscus sabdariffa*)

Ahora bien, otro de los ingredientes de interés para este trabajo es la jamaica (*Hibiscus sabdariffa*), ésta es una planta silvestre tropical perteneciente a la familia de las *Malvaceas*. Es una planta anual o perenne con tallos rojos, hojas dentadas y cálices rojos. Dependiendo de la distribución geográfica, recibe el nombre de arándano de Florida o acedera de Jamaica. Tiene una larga historia como planta comestible y medicinal que abarcan desde Egipto, Sudán, Trinidad y Tobago, México, China, Tailandia, Malasia, Indonesia, India y Sudamérica. Los cálices o vainas de flores se preparan en té, vino, cóctel, salsa, mermelada, conserva, dulces, encurtidos y condimentos de curry. Tiene un aroma distintivo, color rojo escarlata con sabor dulce. Las bebidas se consumen en ceremonias tradicionales en todas las culturas. En Nigeria, se prepara una bebida no alcohólica

"saborado" a partir del extracto acuoso de cálices secos. Se usa como medicina popular para el estreñimiento, dolencia cardíaca, presión arterial alta, infecciones del tracto urinario, cáncer, diabetes y trastornos nerviosos. En tiempos recientes, se han realizado muchas investigaciones para establecer su validez científica. Hasta el momento, las propiedades antioxidantes, hipocolesterolémicas, antiobesidad, hipotensoras, antidiabéticas, inmunomoduladoras, anticancerígenas, hepatoprotectoras, antimicrobianas, renoprotectoras, diuréticas y anti-urolitáticas de los cálices de jamaica tienen suficiente evidencia experimental (Patel, 2014).

Los cálices de jamaica (*H. sabdariffa*) se consume ampliamente en México. Se ha cuantificado la fibra dietética, polifenoles asociados y la capacidad antioxidante de este cáliz y la bebida que tradicionalmente se prepara a partir de ella, así como su contribución a la dieta mexicana. Concluyendo que el consumo de la bebida elaborada con Jamaica podría ser de beneficio considerable para toda la población (Sáyago et al., 2007).

La forma tradicional de consumir el cáliz de jamaica es por medio de la infusión de éste; sin embargo, la infusión contiene una serie de compuestos que son susceptibles a la degradación durante el procesamiento y el almacenamiento. Por lo anterior, se ha estudiado la forma más eficiente de realizar la infusión y se ha buscado la forma de evitar la degradación de los compuestos fitoquímicos que esta contiene. Se han determinado las condiciones de extracción óptimas de los compuestos polifenólicos de la Jamaica mediante un diseño experimental de segundo orden, estas fueron de 95 °C por 60 min. Además, (Pérez et al., 2015) la incorporación de stevia a la formulación, aumentó la estabilidad del color y de algunos polifenoles, como la quercetina, el ácido gálico y el ácido rosmarínico, durante el almacenamiento, también contribuyó a disminuir la pérdida de la capacidad antioxidante y la capacidad inhibidora de α -amilasa, mientras que la incorporación de ácido cítrico no mostró ningún efecto. Estos resultados como menciona el autor pueden contribuir a la mejora de los procesos tecnológicos para la elaboración de bebidas hipocalóricas y funcionales teniendo como ingrediente a *Hibiscus sabdariffa* (Pérez-Ramírez et al., 2015).

1.5 Generalidades de pimiento morrón (*Capsicum annuum Group*)

Por último, otro de los ingredientes propuestos que serán parte de la formulación es el pimiento morrón (*Capsicum annuum Group*), el cual pertenece a la familia de las Solanaceae, y es un fruto originario de América, América del Norte, América Central y norte de América del Sur. Este tipo de chile, también conocido como chile dulce o "Bell", es un producto natural disponible en muchos países, se considera un aditivo alimentario, con aplicaciones saludables o médicas. Se realizaron estudios en los que se prepararon el jugo de pimiento a partir de 210 g de pimiento verde, se trituró y se extrajo el jugo. Después de exprimir, se obtuvieron 100 ml de sobrenadante y se filtraron a través de un filtro de jeringa de 0.45 μm . Se disolvió en agua destilada en una proporción de 1: 1 y se administró por vía oral a ratones a 10 ml/Kg una vez al día. Después de un período de aclimatación de 1 semana, los animales se alojaron aleatoriamente cuatro por jaula y se dividieron en tres grupos, como sigue: el grupo 1 recibió una dieta de control suplementada con solución salina (10 ml $\text{kg}^{-1} \text{d}^{-1}$); el grupo 2 recibió una dieta alta en grasas al 45 % suplementada con solución salina (10 ml $\text{kg}^{-1} \text{d}^{-1}$) y el grupo 3 recibió una dieta alta en grasas al 45% suplementada con jugo de pimiento verde (10 ml $\text{kg}^{-1} \text{d}^{-1}$). El estudio demostró que la administración de jugo de pimiento verde puede tener un uso en el tratamiento de la obesidad o enfermedad relacionada con la obesidad, incluyendo diabetes, aterosclerosis y dislipidemia, a través de la reducción del aumento de peso y la regulación de los niveles de lípidos séricos. Finalmente, la presente investigación reveló que el jugo de pimiento verde parece ser una bebida vegetal saludable para disminuir el aumento de peso mediante la regulación de los niveles de lípidos séricos. Sin embargo, se necesita más trabajo para determinar los componentes detallados del zumo de pimiento verde implicado en la regulación del peso corporal (Kim, et al., 2015).

Investigaciones químicas previas han indicado que las semillas de pimiento contienen esteroides, triterpenos, ácidos orgánicos, ácidos grasos, compuestos

volátiles y derivados de saponina de furostanol (Silva, et al., 2013). Los derivados de saponina de furostanol y compuestos polifenólicos se consideran los componentes activos responsables de las actividades antimicrobianas y antioxidantes de las semillas de pimienta, respectivamente. Además, se ha informado que el extracto de metanol de semillas de pimienta inhibe la acumulación de lípidos a través de la expresión de factores de transcripción adipogénicos en adipocitos 3T3-L1 (Jeon et al., 2010). A pesar del hecho de que las semillas de pimienta tienen el potencial de inhibir la diferenciación de los adipocitos, no se ha informado previamente de investigaciones sobre los componentes antiadipogénicos de las semillas de pimienta (Sung, et al., 2015).

Ahora bien, estudios de intervención a corto y a largo plazo han mostrado que el consumo de bebidas y alimentos que contienen edulcorantes ayudan a controlar el peso corporal en comparación con la ingesta de bebidas y alimentos similares que contengan altas cantidades de sacarosa o de jarabe de maíz rico en fructosa. En general, considerando el tratamiento y la prevención de la obesidad, hay que admitir que los nutrientes o componentes alimentarios para los cuales existe actualmente una base científica tienen realmente efectos mínimos en la reducción del peso corporal, por lo que deben considerarse como adyuvantes y en el contexto de una estrategia dietética global. El uso de combinaciones apropiadas de ingredientes podría ser una estrategia más indicada para hacer frente a una alteración multifactorial y heterogénea, como es la obesidad (Picó et al., 2006a).

2. JUSTIFICACIÓN

En México es imperativo desarrollar estrategias alternativas y complementarias que permitan ayudar a combatir la obesidad, éstas estrategias deben promover una normativa a favor del consumidor, la adquisición y consumo de verduras, frutas y alimentos locales y de la temporada, además, la salud alimentaria debe basarse en un programa nacional de producción agropecuaria y un sistema alimentario que garantice el acceso y disponibilidad de alimentos nutritivos para la población basado en la revalorización y recuperación de la dieta tradicional. Estas conclusiones resaltan en la necesidad de plantear otras estrategias como el empleo de ingredientes con menor aporte calórico en la elaboración de productos de alto consumo, como por ejemplo sustituir en las bebidas azucaradas no lácteas, la composición de macronutrientes para poder darles un enfoque funcional. Un ingrediente de bajo aporte calórico como es el almidón resistente (AR) proveniente de una fuente local y económica, como lo es el almidón de camote, y una potencial fuente de antioxidantes y fitoquímicos como el extracto de los cálices de jamaica y el pimiento morrón, en donde cada uno de estos ingredientes poseen propiedades comprobadas y reportadas con respecto a sus efectos sobre la obesidad. Así, la producción de harina de camote con AR y su incorporación a una bebida con compuestos fitoquímicos y con posible efecto funcional puede ser parte de una estrategia efectiva que puede contribuir en el control de la obesidad en México.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Diseñar una bebida baja en calorías con posible carácter funcional usando como ingredientes: harina de camote (*Ipomea batata*) con almidón resistente, extracto del cáliz de la jamaica (*H. sabdariffa*) y el jugo de pimiento morrón (*Capsicum annum Group*).

3.2 Objetivos específicos

Obtener y caracterizar la harina de camote (*Ipomea batata*) con almidón resistente, obtenida por extrusión y refrigeración.

Diseñar y producir una bebida baja en calorías usando como ingredientes harina de camote (*Ipomea batata*) con almidón resistente, extracto del cáliz de la Jamaica (*H. sabdariffa*) y el jugo de pimiento morrón (*Capsicum annum Group*).

Estudiar la vida de anaquel sensorial y caracterizar la capacidad antioxidante, compuestos fenólicos y propiedades fisicoquímicas de la bebida desarrollada.

4. METODOLOGÍA

4.1 Obtención de almidón resistente de camote

Para la obtención del almidón resistente se usó camote adquirido en la central de abastos del estado de Querétaro. La obtención del almidón resistente de la harina de camote constó de dos etapas principales, la obtención de una harina integral de camote y posteriormente un proceso de extrusión seguida de refrigeración para lograr la modificación del almidón y el producto final.

4.1.1 Harina de camote

La materia prima se adquirió en la central de abastos del estado de Querétaro y se almacenó a 15 °C con una humedad relativa del 65 %. Los parámetros de calidad de la materia prima (camote) fueron los siguientes: con un tamaño entre 15 a 20 cm de largo y 5 a 10 cm de diámetro, con un peso entre 200 a 400 g, fueron firmes, lisos, y con una epidermis del color cobrizo característico del tipo; la pulpa fue naranja, densa y turgente (Mu et al., 2017b).

Para la obtención de la harina de camote se siguió el procedimiento descrito por (Borba et al., 2005) con algunas modificaciones. Las raíces se lavaron manualmente y sumergieron en una solución de hipoclorito de sodio con una concentración de 150 ppm, los tubérculos se cortaron en trozos pequeños y se colocaron en solución de bisulfito de sodio al 0.1 % (p/v) (1 kg de tubérculo en 1 l de solución) durante 10 min, y luego se trituraron en un extractor de jugo doméstico. La pulpa se recogió entonces del recipiente en bandejas de horno revestidas con

papel de aluminio y se colocaron en un horno a 40 °C, con recirculación de aire, por 24 h para deshidratarlas hasta una humedad del 10 %. El material deshidratado se trituró en un molino de café Krups y se tamizó con una malla de 0.25 mm, posteriormente se almacenó en bolsas herméticas, a 4 °C para su posterior extrusión. Este procedimiento se repitió en tres días distintos. Para obtener la humedad de la harina se tomaron tres muestras de cada lote producido y se midió en una termobalanza Ohaus MB45, se colocó 1 g de muestra sobre un platillo limpio y seco en la termobalanza, la muestra se distribuyó uniformemente sobre el platillo, se cerró la termobalanza y se midió la humedad; los resultados son expresados en porcentaje total de humedad.

4.1.2 Producción de almidón resistente por extrusión

Las muestras se prepararon siguiendo el método de (Borba et al., 2005) bajo un diseño experimental 2⁴, donde los factores fueron la humedad de la muestra, la temperatura de extrusión, la temperatura para la sección de alimentación del extrusor, la temperatura para la sección de mezclado del extrusor y la velocidad del tornillo; por lo tanto, la humedad de las muestras se fijó al 30 y 40 %. Para lograr esto se añadió una cantidad calculada de agua destilada para obtener los diferentes niveles de humedad deseados; la harina se almacenó en bolsas herméticas de polietileno y se dejaron equilibrar durante 24 h antes del proceso de extrusión. La extrusión se realizó en un extrusor husillo sencillo (diseñado y fabricado por CICATA) con una relación de compresión 1: 1 y un dado de 6 mm de diámetro. Variando la temperatura de extrusión de 40 y 60 °C para la sección de alimentación, 100 y 120 °C para la mezcla, la velocidad del tornillo también se varió a 8 y 12 rpm. Los productos obtenidos en la forma de extrudidos se almacenaron a -2 °C durante 24 h y posteriormente se deshidrataron en bandejas a 40 °C durante 24 h o hasta 10 % de humedad en un horno de bandejas Binder, la harina pregelatinizada se obtuvo por la trituración de los extrudidos en un molino de piedras manual y se pasó por una malla de 0.25 mm para posteriormente almacenarse en bolsas herméticas

a -2 °C. La medición de la humedad de las harinas se determinó de la misma forma que el paso anterior. La aplicación de los tratamientos se llevó a cabo de forma aleatorizada.

4.2 Caracterización de la harina con almidón resistente de camote

Se realizó la caracterización del AR con el objetivo de conocer sus propiedades fisicoquímicas y con ello sus posibles aplicaciones en la industria de alimentos. Todas las mediciones y caracterizaciones se realizaron en tres muestras distintas.

4.2.1 Determinación de almidón total

Se utilizó el kit almidón total de Megazyme, el cual se basa en un método colorimétrico para la determinación de almidón total en productos de cereales, piensos, productos alimenticios y otros materiales, las reacciones se presentan a continuación:

Gránulos de almidón+ H₂O + α-amilasa, 100 °C ± 0.01 DMSO → maltodextrinas

Maltodextrinas+ H₂O + amiloglucosidasa → D-glucosa

D-glucosa+ H₂O+ O₂ + glucosa oxidasa → D-gluconato + H₂O₂

H₂O₂ + ácido p-hidrobencóico+4-aminopiridina + peroxidasa → quinoneimina + 4 H₂O

La lectura de la reacción colorimétrica se realiza a 510 nm

4.2.2 Determinación de almidón resistente

Se utilizará el kit almidón resistente de Megazyme, el cual se basa en un método colorimétrico para la determinación de almidón resistente en cereales, alimentos y piensos, las reacciones se presentan a continuación:

Almidón no resistente + H₂O + α-amilasa + amiloclucosidasa → D-glucosa + maltosa (trazas)

Solución de etanol + centrifugación para remover D-glucosa + maltosa

Dilución de la pastilla de almidón resistente en KOH y neutralización

Solución de almidón resistente + H₂O α-amilasa + aminoglucosidasa → D-glucosa

D-glucosa + H₂O + O₂ + glucosa oxidasa → D-gluconato + H₂O₂

H₂O₂ + ácido p-hidrobencóico + 4-aminopiridina + peroxidasa → quinoneimina + 4 H₂O La lectura de la reacción colorimétrica se realiza a 510 nm.

4.2.3 Índice de expansión

Se usó el método de Anderson (1969); para ello, se determinó la longitud (LE, longitud por unidad de peso, m/kg), el área transversal (TE, área de la sección transversal del extrudido en relación con el área de la sección transversal de la matriz), el ancho y grosor (ancho y grosor de extrudido con respecto al ancho y espesor de la matriz, respectivamente, m/m), los índices de expansión de los extrudidos, así como su volumen específico aparente (m³/kg). De aproximadamente 300 g de extrudido de cada condición de extrusión, se cortó una cadena y se tomaron medidas en cada extrudido. Para cada extrudido, el volumen específico aparente (SpV), se calculó según la ecuación 1 para obtener tres conjuntos de datos:

Ecuación 1

$$\text{SpV} = (\text{longitud} * \text{anchura_AVG} * \text{grosor_AVG}) / \text{peso}$$

Dónde: longitud es la longitud de cada filamento, anchura AVG es la anchura promedio de cada filamento, grosor AVG es el grosor promedio de cada filamento, y peso es el peso de cada filamento.

4.2.4 Índice de absorción de agua (IAA)

Se usó el método de Anderson (1969); una muestra de 2.5 g de producto molido y tamizado en malla 60 se suspendió en 30 ml de agua a 30 °C en un tubo de centrífuga de 50 ml, se agitó intermitentemente durante 30 min y se centrifugó a 3000 RCF durante 10 min. El sobrenadante se vertió en un plato de aluminio previamente tarado y se evaporó en una estufa de convección a 105 °C. el peso del gel se registró como el del precipitado y el IAA se determinará según la ecuación 2.

Ecuación 2

$$\text{IAA} = \frac{(\text{peso del gel} - \text{peso de muestra en base seca} - \text{peso de material solubilizado})}{(\text{peso de muestra en base seca})} = \frac{(\text{g de agua})}{(\text{g de muestra})}$$

4.2.5 Índice de material soluble

Se usó el método de Anderson (1969) y se calculó en base al peso del material soluble presente en el sobrenadante y a la cantidad de muestra inicial según la ecuación 3.

Ecuación 3

$$\text{IMS} = \frac{(\text{peso de material soluble en el sobrenadante})}{(\text{peso de la muestra inicial})} * 100$$

4.2.6 Propiedades de formación de pasta

Las propiedades de formación de pasta se evaluaron con un Rapid Visco Analyzer (RVA). Los perfiles de viscosidad se registraron usando suspensiones de almidón (12% p / v). En donde las muestras se mantuvieron a 50 °C durante 1 minuto, calentadas de 50 a 95 ° C a 12.16 °C / min, mantenidas a 95 °C durante 2.30 min, enfriadas de 95 a 50 °C a 11.84 °C / min, y mantenido a 50 °C durante 2 min. Se registraron la viscosidad máxima (PV), descomposición (BD) a través de la viscosidad (TV), Set Back (SB), Viscosidad final (FV), Tiempo de pasta (PT), Temperatura de pasta (PT) (Babu et al, 2015).

4.2.7 Propiedades térmicas

Las propiedades térmicas de los almidones se determinaron usando un calorímetro de barrido diferencial (DSC) para evaluar la gelatinización y la retrogradación del almidón. El almidón (5 mg) se pesó directamente en bandejas de aluminio, se hidrató con 15 µl de agua destilada, se selló herméticamente y se almacenó por 2 h a temperatura ambiente hasta alcanzar el equilibrio. El rango de temperatura de barrido y la velocidad de calentamiento fueron 20-130 °C con una velocidad de 10 °C/min . Una bandeja vacía del mismo tamaño fue utilizada como referencia. La entalpía de gelatinización (H), inicio (A), temperatura máxima (Tp) y temperatura de conclusión (Tc) se midieron a partir de la endoterma en los termogramas de DSC. Cada muestra realizó por triplicado (González et al., 2018).

4.2.8 Cristalinidad relativa de almidón

Solo para esta etapa se realizó la extracción del almidón para la harina de camote sin extruir, para la harina extrudida sin refrigerar y para la harina de camote que presentó las mejores características para ser usada en la formulación de la bebida.

Para la extracción del almidón se siguió la metodología de dos Santos (2018). Para la difracción de rayos x las muestras de almidón se equilibraron en una cámara de 100% de humedad relativa durante 24 h a 25 °C. El patrón de difracción de rayos X del almidón y el porcentaje de cristalinidad se determinaron usando un difractómetro D-500 (Siemens, Madison, Wisconsin, EE. UU.) (Yoo y Jane, 2002). El difractómetro se hizo funcionar a 27 mA y 50 kV. La región de exploración del ángulo 2-theta (2θ) fue de 4 ° a 40 ° a un tamaño de paso de 0.03° con un tiempo de conteo de 2 s.

Para calcular el porcentaje de cristalinidad se usará la siguiente ecuación 4:

Ecuación 4

$$RC (\%) = (Ac / (Aa + Ac)) \times 100$$

Donde Ac representa el área bajo la curva para el almidón con estructuras cristalinas y Aa representa el área bajo la curva para el almidón amorfo.

4.2.9 Determinación de grasa cruda

La determinación del porcentaje de grasa cruda se realizó de acuerdo al procedimiento de la NMX-F-089-S-1978 la determinación se realizó por triplicado. Se lavó un matraz bola de 125 ml y se colocó a peso constante en una estufa a 105± 5 °C, los cartuchos y el algodón también se colocaron a peso constante, los materiales se dejaron enfriar en un desecador y se registraron los pesos.

En el cartucho se pesó aproximadamente 3 g de muestra y se colocó el algodón a manera de tapón sobre el cartucho; se colocó en el porta cartuchos del equipo. En el matraz bola se colocaron 80 ml de éter de petróleo y se acoplaron al sistema. El agua de refrigeración del equipo se mantuvo a 4 °C y la extracción terminó cuando el solvente en contacto con el cartucho ya no presentó una

coloración amarilla, se recuperó el solvente desde el matraz bola después de una descarga.

El cartucho, una vez eliminado el solvente, se colocó en una campana de extracción por 30 min. Posteriormente se colocó en una estufa a 80 °C por una hora y por diferencia de peso se calculó el contenido de grasa. Se eliminó el solvente que queda en el matraz calentándolo a 100 °C por 20 min, para luego por una hora en una estufa a 100 °C, se dejó enfriar a temperatura ambiente y se determinó el contenido de grasa por diferencia de peso haciendo uso de la ecuación 5.

Ecuación 5

$$\% \text{ de grasa cruda} = \frac{(\text{Peso del matraz con grasa extraída} - \text{peso del matraz vacío})}{(\text{Peso de la muestra seca})} \times 100$$

El resultado es expresado como el porcentaje de grasa total.

4.2.10 Determinación de nitrógeno total por el método de Kjeldahl

Se pesaron 0.5 g de muestra en un tubo Kjeldahl, se agregó el catalizador y 15 ml de ácido sulfúrico concentrado, el tubo se colocó en el digestor siguiendo los siguientes cambios de temperatura, 200 °C por 15 min, 300 °C por 15 min y finalmente 380 °C por una hora o hasta que se observó una coloración verde claro. Terminada la digestión de la muestra, los tubos se enfriaron a temperatura ambiente en una gradilla, una vez fríos, se agregó cuidadosamente 100 ml de agua destilada (agregando primero 20 y después 80 ml). Se colocó el tubo en el destilador y se recogió el destilado en un matraz de 250 ml con 25 ml de la mezcla de indicadores. Una vez terminada la destilación, el destilado se tituló con HCl 0.1 N hasta que la solución viró a rosa. Los resultados se expresan como el porcentaje de nitrógeno total según la ecuación 6, para posteriormente ser expresados como porcentaje de proteína.

Moles de HCl = Moles de NH₃ = Moles de N en la muestra

Ecuación 6

$$\% N = (\text{NHCl} \times \text{Volumen de ácido corregido} \times 14 \text{g N}) / (\text{gramos de muestra}) \times 100$$

dónde: NHCl es la normalidad del HCl en moles/1000 ml, volumen del ácido corregido = (ml. del ácido estandarizado para la muestra) - (ml. de ácido estandarizado para el blanco), 14 es el peso atómico del nitrógeno.

Se utilizó un factor para convertir el porcentaje de N a por ciento de proteína cruda.

$$\%N^2 \times 6.25 = \% \text{ proteína}$$

El resultado se expresa como el porcentaje de proteína.

4.2.11 Determinación de fibra cruda

Se pesaron 0.5 g de muestra libre de grasa y seca y se colocaron en un vaso de Berzelius, al que se le agregaron 20 ml de ácido sulfúrico al 1.25 % v/v; el vaso se colocó en el extractor de fibra cruda y se dejó hervir 30 min, se enfrió y se le adicionaron 50 ml de hidróxido de sodio al 3.52 % p / v. Se volvió a calentar por 30 min, el producto digerido se filtró al vacío con papel libre de cenizas (a peso constante), el filtrado se lavó con agua caliente hasta alcanzar un pH neutro y se secó a 110 °C hasta peso constante, una vez seca la muestra, se pesó y se colocó en un crisol (peso constante) y el papel filtro se quemó dentro del crisol y se pasó a una mufla a 550 °C para terminar de incinerar la muestra.

La muestra incinerada se dejó enfriar y se pesaron los crisoles, la fibra cruda se calculó mediante la ecuación 7.

Ecuación 7

$$\% \text{ Fibra cruda} = ((\text{PPM} - \text{PPF}) - (\text{PCC} - \text{PCV})) / \text{PM} \times 100$$

En donde, PPM es el peso del papel más la muestra filtrada, PPF es el peso del papel filtro, PCC es el peso del crisol con las cenizas, PCV es el peso del crisol vacío a peso constante y PM es el peso de la muestra en gramos.

4.2.12 Determinación de cenizas

En un crisol a peso constante y de peso conocido se colocaron 2 g de muestra, la cual se carbonizó haciendo uso de un mechero, una vez carbonizada se incineró la muestra en una mufla a 500 °C hasta lograr cenizas blancas, se sacó el crisol y se dejó enfriar hasta temperatura ambiente en un desecador y se obtuvo el peso del crisol, el porcentaje de cenizas se calculó haciendo uso de la ecuación 8.

Ecuación 8

$$\% \text{ Cenizas} = (\text{Peso de cenizas } (W_2 - W_0)) / (\text{Peso de la muestra } (W_1)) * 100$$

dónde: W0 es el peso del crisol vacío, W1 es el peso de la muestra y W2 es el peso del crisol y de las cenizas.

4.2.13 Compuestos fenólicos totales

Se tomaron 0.5 g de harina y se colocaron en un tubo de centrifuga, al que se añadieron 15 ml de metanol grado HPLC 80 % (v/v). La mezcla se sonico por 10 min (Biogen 55W), previo a su agitación por 90 min en un agitador horizontal a temperatura ambiente y en oscuridad. Cada muestra se centrifugó a 1880 G por 15 min en una centrífuga. El sobrenadante se guardó y se filtró con papel Whatman Núm. 4, para que luego ser concentrados en un rotavapor, a 42 °C hasta sequedad. A las muestras se les resuspendió en 5 ml de metanol al 80 % (v/v), para luego ser almacenadas en viales color ámbar bajo condiciones de congelación hasta su posterior análisis.

El contenido de fenoles se cuantificó de acuerdo con el método seguido por Fonseca (2014). La medición de los compuestos fenólicos se realizó usando el reactivo Folín-Ciocalteu (FC), el cual está formado por mezcla de ácido

fosfotúngstico ($H_3HW_{12}O_{40}$) y ácido fosfomolibdico ($H_3PMo_{12}O_{40}$) que se reduce, por acción de los fenoles, en una mezcla de óxidos azules de tungsteno (W_8O_{23}) y de molibdeno (Mo_8O_{23}). El reactivo FC es inespecífico a los compuestos fenólicos, ya que se puede reducir muchos compuestos no fenólicos (vitamina C, Cu (I)). Los compuestos fenólicos reaccionan con el reactivo FC sólo bajo condiciones básicas (ajustados por una solución de carbonato de sodio a pH ~ 10). La disociación de un protón fenólico conduce a un anión fenolato, que es capaz de reducir el reactivo FC. Esto apoya la noción de que la reacción se produce a través del mecanismo de transferencia de electrones. Los compuestos azules formados entre fenolato y reactivos FC son independientes de la estructura de los compuestos fenólicos, por lo tanto, se descarta formación de complejos de coordinación entre el centro metálico y los compuestos fenólicos (Huang, et al., 2005).

Para la cuantificación, se colocaron 20 μ L del extracto en un pozo de la microplaca. Posteriormente, se agregaron 20 μ L del reactivo de FC se dejó reaccionar por 5 min, para después adicionar 20 μ L de carbonato de sodio (0.01 M) y dejarlo reaccionar 5 min; finalmente, la solución fue diluida con 125 μ L de agua destilada y su absorbancia es leyó a 790 nm en un lector de microplacas. La concentración de la muestra se obtiene en equivalentes de ácido gálico por gramo de material por correlación lineal de acuerdo con una curva estándar de ácido gálico de 0 - 250 ppm. Los resultados se expresaron como mg de equivalente de ácido gálico por gramo (mg EGA/g).

4.2.14 Capacidad antioxidante ABTS

Se midió la capacidad antioxidante por medio del radical ABTS (ácido 3 - etilbenzotiazolina-6-sulfónico). Los radicales $ABTS^{\bullet+}$ fueron generados en una solución de ABTS 7 mM con una solución de persulfato de potasio 4.9 mM, las cuales se mezclaron y se dejaron reposar por 12 h en oscuridad a temperatura ambiente. Pasado ese tiempo la solución se diluyo con etanol hasta que la absorbancia de la solución a 734 nm fue de 0.7 ± 0.02 . A 10 μ l de extracto se le

añadió 1 ml de solución ABTS y se dejó reaccionar por 1 minuto, después del cual se midió la absorbancia. La curva de calibración se realizará con una solución de Trolox (un análogo hidrosoluble de vitamina E) que irá de los 0 a los 250 mg/l y la capacidad antioxidante se expresó como micromoles equivalentes de Trolox por gramo ($\mu\text{mol eq de Trolox/g}$) (Re et al., 1999).

4.2.15 Capacidad antioxidante DPPH

La capacidad antioxidante se determinó utilizando el ensayo de decoloración 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH•). La solución metanólica de DPPH• 6.1×10^{-5} M, se preparó inmediatamente antes de su uso. La solución de DPPH• se ajustó con metanol a una absorbancia de 0.700 (± 0.02) a 515 nm, en una celda de 3 ml de capacidad (1 cm de longitud) a 25 °C. Los extractos de las diferentes muestras se diluyeron 1:100 en agua desmineralizada antes de su análisis. Se añadieron 50 μl muestra a 1.95 ml de la solución de DPPH•. Posteriormente se homogenizaron y se midió su absorbancia a 515 nm y después de exactamente 1 min y luego cada 10 min durante 90 min.

La curva de calibración se realizó con una solución de Trolox que fue de 0 a 100 mg/l. La capacidad antioxidante se expresó como micromoles equivalentes de Trolox por gramo ($\mu\text{mol eq de Trolox/g}$) (Brandet al., 1995).

4.2.16 Color

La determinación de color se realizó con un colorímetro, determinando los valores de las coordenadas a, b y L y con ellos los valores de croma (C) y de ángulo de matiz (hue). Las muestras de la harina de camote se colocaron sobre una celda de vidrio para poder llevar a cabo la medición (Anderson, Conway, & Peplinski, 1970).

4.3 Formulación de la bebida

La formulación de la bebida se realizó usando un diseño de mezclas axial, teniendo como ingredientes, la harina de camote con almidón resistente, el extracto de cáliz de jamaica y el jugo de pimiento morrón. El diseño, así como la proporción de las formulaciones se presentan en la Figura 1 y en la Tabla 4.

Tabla 4 Formulaciones de la bebida mediante un diseño axial de mezclas.

Almidón resistente	Extracto de Jamaica	Jugo de pimiento morrón
0.02	0.959	0.02
0.06	0.920	0.02
0.02	0.880	0.1
0.06	0.840	0.1
0.04	0.900	0.06

(Tabla original)

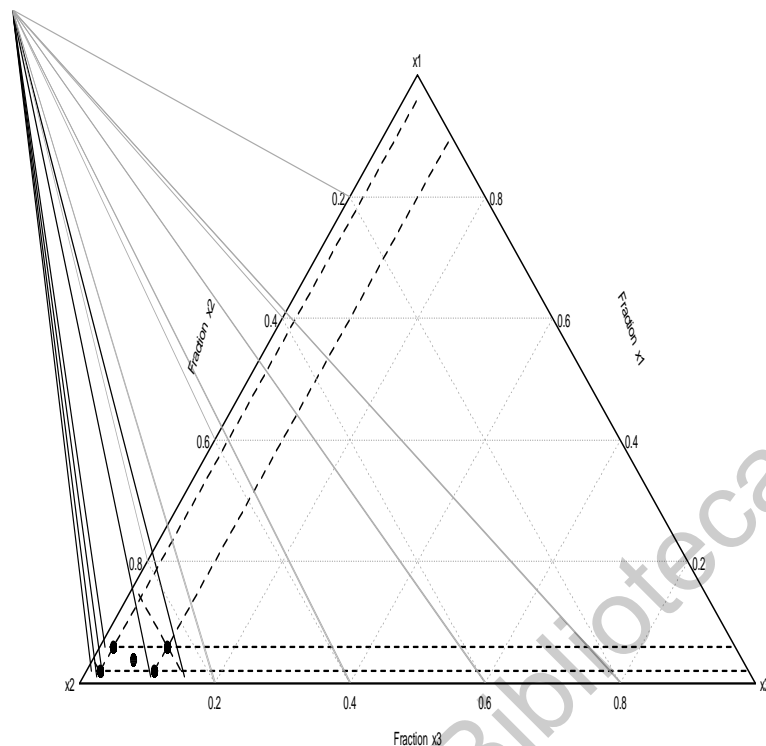


Figura 1 Diseño axial para la formulación de la bebida.

Se usaron como respuestas la viscosidad, el color y los resultados de la evaluación sensorial de la bebida, para determinar el efecto de los componentes de la mezcla sobre la bebida y con esto se obtuvo una formulación aceptable para los consumidores.

4.4 Elaboración de la bebida

Para elaboración de la bebida se usó el almidón resistente seleccionado con anterioridad y se obtuvo el extracto de Jamaica y el jugo de pimiento morrón. El extracto de Jamaica, se obtuvo según la metodología seguida por (Pérez, et al., 2015), se mantuvo una relación 1:50 de cáliz seco y agua potable, los cálices se mantuvieron en agua a 95 °C por 60 min; posteriormente la mezcla se filtró para

eliminar los cálices y los precipitados formados durante la extracción. El extracto se enfrió a temperatura ambiente para ser usado en la formulación.

Para la obtención de jugo de pimiento, los pimientos se lavaron y desinfectaron en una solución de cloro con una concentración de 150 ppm por 15 min; pasado este tiempo, se les retiró el pedúnculo y se molieron en un procesador de jugos (Turmix), el jugo obtenido se almacenó en un recipiente de polietileno a 4 °C para su posterior uso en la formulación.

Los ingredientes fueron incorporados de acuerdo con las proporciones descritas anteriormente. La bebida se envasó en botellas de vidrio de 330 ml y se sometieron a pasteurización 60 °C por 30 min. Las botellas y las tapas fueron lavadas y desinfectadas con una solución de hipoclorito de sodio de 100 ppm y escurridas para su posterior uso. La bebida se almacenó a 4 °C en oscuridad hasta su uso para la evaluación sensorial y posteriormente se almacenó según las condiciones de la prueba de vida de anaquel sensorial.

4.4.1 Análisis microbiológicos

Se realizaron los análisis microbiológicos correspondientes para todas las bebidas formuladas y a las que se les realizó algún tipo de evaluación sensorial, con el fin de procurar la inocuidad del producto y ayudar a determinar la vida segura del mismo. Para ello se realizaron las pruebas microbiológicas enunciadas en la NOM-218-SSA1-2011, siguiendo los métodos de prueba referidos en la misma norma.

4.4.2 Análisis sensorial de la bebida

Se realizó un análisis sensorial de aceptabilidad para elegir la formulación preferida por los consumidores, para ello se darán 5 formulaciones distintas a 50 consumidores de ambos sexos con una edad entre los 18 a los 55 años, a los cuales

se le pidió que prueben de forma monódica cada una de las formulaciones, tomando entre cada prueba de cada formulación el limpiador de paladar (agua galletas). Se dio a cada consumidor 24 ml de cada formulación en vasos de polipropileno opacos de forma codificada y se les pedirá que ordenen en una escala de 15 cm cada una de las cinco formulaciones; en donde los extremos van de me disgusta a me gusta, usando el formato de evaluación sensorial (Figura 2). La evaluación sensorial se llevó a cabo en cabinas individuales, bajo luz blanca, la bebida será homogenizada y se presentó al consumidor a 4 °C.

Formato de evaluación sensorial

Fecha: _____ Edad: _____ Sexo: _____

Frente a usted tiene formulaciones distintas de una bebida, se le pide que pruebe cada una de ellas y que entre cada prueba tome un poco de agua o bien coma un poco de pan. Después de haber probado las formulaciones, en la escala de abajo, coloque una línea seguida del código cada formulación, según su preferencia.

Me disgusta



Me gusta



Comentarios: _____

Gracias por su participación, tenga un buen día.

Figura 2 Formato de evaluación sensorial.

La evaluación sensorial se realizó con la aprobación del Comité de Bioética de la Facultad de Química de la Universidad Autónoma de Querétaro. Antes de la evaluación sensorial se pidió a los participantes leyeran y llenaran un

consentimiento informado y una encuesta, Estos, nos permitieron informar sobre los riesgos de participar en la evaluación sensorial y descartar consumidores que no fueron aptos para realizar la evaluación sensorial. El formato para el consentimiento informado se presenta en el anexo A y B. La encuesta para descartar consumidores se presenta a continuación:

Encuesta

Respuesta sí o no a las siguientes preguntas, de forma honesta:

1. ¿Presenta alergias a alguno o a todos los ingredientes: camote, Jamaica y pimiento naranja o stevia?
2. ¿Usted es fumador?
3. ¿Usted presenta alguna enfermedad en vías respiratorias o posee alguna afección que le imposibilite detectar sabores u olores?
4. ¿Usted ha consumido alimentos o bebidas 20 min antes de contestar este cuestionario?
5. ¿Usted se ha lavado los dientes 20 min antes de contestar esta encuesta?

Se descartó así a todos aquellos participantes que contestaron afirmativamente a cualquiera de las preguntas realizadas o bien que deseen retirarse de la evaluación sensorial.

4.5 Caracterización de la bebida

Se realizó la caracterización de la bebida con el objetivo de conocer sus características fisicoquímicas y con ello su posible comportamiento durante el almacenamiento. Todas las mediciones y caracterizaciones se realizaron en tres muestras distintas.

4.5.1 Determinación de pH

Se determinó el valor de pH con un potenciómetro, marca Hanna instruments modelo HI2221-01 por inmersión directa del electrodo en la muestra homogenizada.

4.5.2 Determinación de sólidos solubles totales

Se determinó el porcentaje de sólidos solubles totales expresados como °Bx de la bebida previamente homogenizada, con un refractómetro digital ATAGO y se realizarán las correcciones por efecto de la temperatura.

4.5.3 Acidez titulable

Se determinó en base al método de la AOAC (1998). En donde, 10 ml de la muestra se diluyeron 1:10, y se titularon con hidróxido de sodio 0.1 N hasta el vire de la fenolftaleína, el valor se expresó como porcentaje de ácido cítrico ya que es el mayoritario en este producto, usando la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Acidez} = ((N \text{ NaOH}) * (V \text{ NaOH}) * 0.006404) / v * 100$$

dónde: N es la normalidad de la solución de NaOH utilizado, V es el volumen de la solución de NaOH gastado en la titulación, v es el volumen de la muestra, 0.006404 es el miliequivalente del ácido cítrico.

Los resultados fueron expresados como mg de ácido cítrico/ ml de muestra.

4.5.4 Color

La determinación de color se realizó con un colorímetro, determinando los valores de las coordenadas a, b y L y con ellos los valores de croma (C) y de ángulo de matiz (hue). Las muestras de la bebida se colocaron sobre una celda de vidrio (AOAC 1990).

4.5.5 Compuestos fenólicos totales, capacidad antioxidante ABTS, capacidad antioxidante DPPH.

Se tomaron 1 ml de muestra homogenizada por 5 min y se colocaron en un matraz Erlenmeyer al que se añadieron 30 ml de metanol grado HPLC 80% (v/v). La mezcla se sonico por 10 min (Biogen 55W), previo a su agitación por 90 min en un agitador horizontal a temperatura ambiente y en oscuridad. Cada muestra se centrifugo a 1880 G por 15 min en una centrífuga. El sobrenadante se guardó y el residuo se sometió a una segunda extracción con la metodología descrita. Los sobrenadantes se juntaron y se filtraron con papel Whatman Núm. 4, y luego se almacenaron en viales color ámbar bajo condiciones de congelación hasta su posterior análisis. Las determinaciones se realizaron con soluciones acuosas y siguieron los pasos usados en la caracterización de la harina de camote.

4.5.6 Antocianinas totales

Usando el extracto de la técnica anterior, se usó la metodología descrita por Giusti (2001), a 30 μ l de muestra se le adicionaron 170 μ l de solución amortiguadora de pH 1.0, se dejó reposar por 15 min y se midió la absorbancia a 520 nm y a 700 nm, el procedimiento se repitió usando esta vez una solución amortiguadora de pH 4.5. las absorbancias obtenidas se usan en la siguiente ecuación:

$$\frac{A * MW * DF * 10^3}{\epsilon * 1}$$

Donde, A= (absorbancia a 520 nm – absorbancia a 700nm) a pH 1.0 - (absorbancia a 520 nm – absorbancia a 700nm) a pH 4.5, MW = 449.2 g/mol para la cianidina 3-glucósido, DF= factor de dilución, $\epsilon=26900$ M y 10^3 factor de conversión de g a mg.

Los resultados fueron expresados como mg eq C3G/ g de muestra.

4.6 Determinación de la vida de anaquel de la bebida

La vida de anaquel se modeló usando un diseño reversa (Hough, et al., 2003) en donde se produjo un lote de la bebida para cada tiempo de almacenamiento. Los tiempos de almacenamiento fueron 0, 1, 2, 3 y 4 semanas. Se realizó una evaluación sensorial a 50 consumidores a los cuales se les presentó 24 ml de la bebida para los cinco tiempos de almacenamiento, se les invitó a que la probaran cada bebida y se les pidió que contestaran “sí o no” a la pregunta “¿Consumiría esta bebida?” con el formato de evaluación presentado en la Figura

Formato de evaluación sensorial

Fecha: _____ Edad: _____ Sexo: _____

Frente a usted tiene 5 bebidas, se le pide que pruebe cada una de ellas. Después de haber probado cada bebida, conteste en la tabla de abajo, para cada bebida, **sí** o **no** a la siguiente pregunta:

¿consumiría esta bebida?

	509	208	109	012	870
3.					

Figura 3 Formato de evaluación sensorial para estudio de vida de anaquel.

La evaluación sensorial se llevó a cabo en cabinas individuales, bajo luz blanca, la bebida fue homogenizada y se presentará al consumidor a 4 °C. La evaluación sensorial se realizó con la aprobación del comité de bioética de la Facultad de Química de la Universidad Autónoma de Querétaro. La encuesta para descartar consumidores y el formato de consentimiento son los mismos que se presentan anteriormente para elegir la formulación preferida por los consumidores. Los datos se analizarán con el programa estadístico R estudio bajo la función “sslife”. El análisis permitió estimar la vida de anaquel de la bebida con un porcentaje de rechazo al 10, 25 y 50 %, se determinó la ecuación para el rechazo del producto bajo las condiciones de almacenamiento y se correlacionó la vida de anaquel sensorial con la vida segura (análisis microbiológicos) y la degradación de los compuestos fisicoquímicos.

4.7 Análisis estadístico

Para la obtención de almidón resistente se siguió un diseño experimental factorial completamente aleatorizado de cuatro factores y dos niveles, usando como respuesta cada una de las caracterizaciones fisicoquímicas, de compuestos fenólicos y actividad antioxidante. Además, y con el fin de seleccionar un tratamiento se realizó una prueba de Tukey (95%) entre los tratamientos. Por último, se realizó una prueba de Dunnett, usando como control la harina sin tratar, para demostrar que hubo cambios al aplicar o no el tratamiento.

Para el primer análisis sensorial, los datos fueron analizados estadísticamente y los datos son reportados como promedio, para analizar el efecto de los componentes de la mezcla en la respuesta de los consumidores, las respuestas fueron correlacionadas con el porcentaje de cada componente en la mezcla y se ajustaron a un modelo lineal.

Para la caracterización de la bebida las pruebas se realizaron por triplicado reportando el promedio y la desviación estándar.

Para la vida de anaquel sensorial los datos obtenidos fueron analizados según la prueba de Houg (2010).

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Obtención de almidón resistente de camote

5.1.1 Obtención de extrudidos de la harina de camote

La base de este trabajo fue la obtención de almidón resistente usando harina integral de camote, para lograr esto se siguió la siguiente metodología. Para incrementar el contenido de almidón resistente en harina integral de camote, ésta se sometió al proceso de extrusión, seguido de refrigeración. Como primera etapa el tubérculo de camote fue lavado, desinfectado, cortado, blanqueado, molido y secado, obteniendo un rendimiento de producción de la harina en peso seco de 25.46 %, con una humedad promedio de 9.57%.

Posteriormente esta harina fue usada para el proceso de extrusión para el cual, se emplearon los parámetros mínimos y máximos de operación del extrusor. Los extrudidos obtenidos presentaron variaciones visibles en tamaño, forma y color, con una humedad final promedio de 9.67% después de 24 h de secado. Para observar los cambios producidos en la harina integral de camote se contaron con dos controles, la harina integral de camote sin extruir y la harina integral de camote extrudida, aunque sin someterla a un proceso de refrigeración. Las características de los materiales obtenidos, se muestran a continuación.

5.2 Caracterización de los extrudidos de la harina

Se caracterizaron cada uno de los tratamientos, la harina integral de camote sin extruir y la harina integral de camote extrudida, sin refrigerar. La harina sin extruir aparecerá en tablas y figuras como el tratamiento 0.0.0.0. y la harina de camote extrudida, pero sin refrigerar aparecerá en tablas y figuras como 1.1.1.1. En el anexo C se presentan los datos promedio y desviaciones estándar para cada una de las determinaciones realizadas.

5.2.1 Almidón total

La harina de camote sin extruir presentó un porcentaje de almidón total del 12.98 % base seca (bs), el control extrudido sin refrigerar presentó un porcentaje de 10.73 % bs; los valores de las harinas de camote sometidas al proceso de extrusión y refrigeración fueron de 12.98 al 21.17 % bs, estos valores concuerdan con lo reportado en la literatura (Borba et al., 2005). La variación en los resultados se debió a que el porcentaje de almidón total fue medido de forma indirecta como producto de la suma del almidón resistente y el almidón soluble.

5.2.2 Almidón resistente

En este trabajo, uno de los objetivos fue incrementar el contenido de almidón resistente (AR) mediante el proceso de extrusión, seguido de 24 h de refrigeración, en la Figura 4 se puede observar el efecto de los tratamientos sobre la producción de almidón resistente.

Se observó que los tratamientos presentan un porcentaje de AR mayor que la harina sin extruir (7.07 %) y que la harina extrudida sin refrigeración (6.92 %). Los tratamientos 100-40-12-30, 100-40-12-40 y 100-40-8-30 mostraron el mayor

porcentaje de almidón resistente con valores de 14.2 %, 13.5 % y 14.3 % respectivamente. Se observa que al refrigerar la harina durante 24 horas después de la extrusión incrementa de forma significativa el porcentaje de AR, esto concuerda con lo reportado en la literatura para almidón de plátano sometido a extrusión y para harina de cebada, con esto se comprueba que someter a las harinas a 4 °C por 24 h es necesario para la obtención de AR, ya que si no se hubiera sometido la harina al proceso de refrigeración, la extrusión solo gelatinizaría el almidón presente y produciría la degradación de la amilosa y la amilopectina sin que se llevara a cabo la formación de puentes de hidrógeno y la formación de AR (Sarawong, et al., 2014).

Al incrementar la temperatura de extrusión a 120 °C el porcentaje de AR disminuye un 50 % con respecto a los tratamientos sometidos a 100 °C. Resultados similares han sido reportados en la literatura (Faraj, Vasanthan, & Hoover, 2004) en donde a temperaturas mayores a 100 °C el porcentaje de AR disminuye debido que a las estructuras de amilosa y amilopectina fragmentadas durante la extrusión tienden a fundirse evitando que se añadan a la estructura cristalina del AR, esto hace que disminuya el contenido de AR. Sin embargo, a una temperatura de 100 °C se incrementa la fragmentación del gránulo de almidón, produciendo la formación de cadenas de amilosa con unidades de glucosa de 26 a 73 ($26 < GP < 73$) las cuales se añaden fácilmente a la estructura cristalina del AR.

Adicionalmente es importante considerar que la harina integral de camote es un sistema complejo el cual además contiene proteínas, β -glucanos, pentosas, flavonoides, antocianinas y otros compuestos.

En la Tabla 5 se muestra el análisis de varianza para los factores en el proceso de extrusión y la interacción entre los factores; se observa que la interacción triple abarca el resto de interacciones; esta interacción se da entre la temperatura de extrusión: velocidad del tornillo: humedad inicial de la harina. En la Figura 4 se observa que a 100 °C y una humedad inicial de harina del 30 % y 40 % se produce un aumento en el porcentaje de AR, sobre todo cuando se incrementa

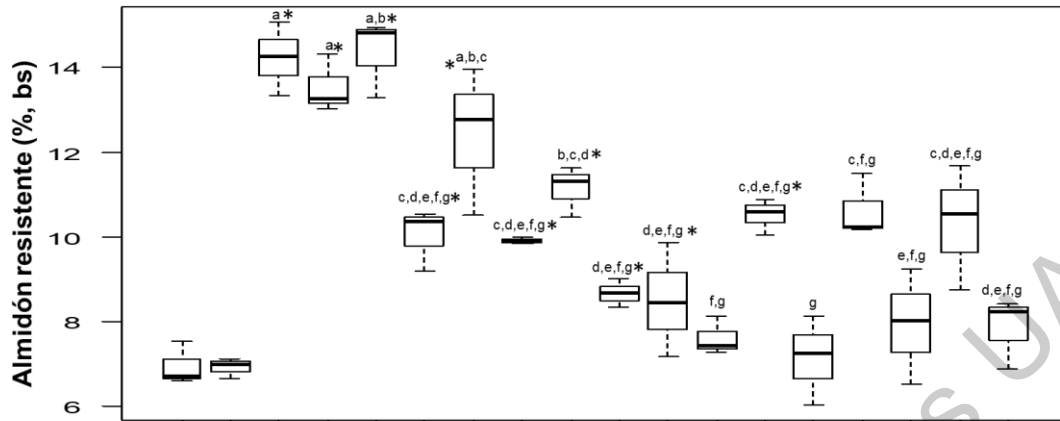
el número de revoluciones por minuto. Resultados similares se observan en los trabajos de (Faraj et al., 2004).

Con una temperatura de 120 °C para la temperatura de extrusión y una velocidad de tornillo de 8 rpm, junto con una humedad inicial del 30 % se obtiene el mayor porcentaje de AR, en comparación de la harina con una humedad inicial del 40 %, para velocidades de tornillo de 12 rpm no se observan cambios en el porcentaje de AR.

Tabla 5 Análisis de varianza para el efecto de los factores y su interacción en el porcentaje de AR.

Factor	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Temperatura de extrusión (TE)	1	106.24	106.24	115.10	0.00	***
Temperatura de alimentación (TA)	1	9.30	9.30	10.08	0.00	**
Velocidad del tornillo (V)	1	4.23	4.23	4.58	0.04	*
Humedad de la harina (H)	1	70.59	70.59	76.48	0.00	***
TE:TA	1	31.67	31.67	34.32	0.00	***
TE:V	1	9.28	9.28	10.06	0.00	**
TA:V	1	0.21	0.21	0.23	0.63	
TE:H	1	0.06	0.06	0.06	0.81	
TA:H	1	0.15	0.15	0.16	0.69	
V:H	1	6.34	6.34	6.87	0.01	*
TE:TA:V	1	1.47	1.47	1.60	0.22	
TE:TA:H	1	0.16	0.16	0.17	0.68	
TE:V:D	1	0.34	0.34	0.37	0.55	
TA:V:H	1	7.61	7.61	8.24	0.01	**
TE:TA:V:H	1	0.18	0.18	0.19	0.66	
Residuales	32	29.53	0.92			

*, **, *** nivel de significancia (tabla original)



T. de extrusión (°C)	0	1	100	100	100	100	100	100	100	100	120	120	120	120	120	120	120	
T. de alimentación (°C)	0	1	40	40	40	40	60	60	60	60	40	40	40	40	60	60	60	60
Velocidad del tornillo (rpm)	0	1	12	12	8	8	12	12	8	8	12	12	8	8	12	12	8	8
Humedad de la harina (%)	0	1	30	40	30	40	30	40	30	40	30	40	30	40	30	40	30	40

Figura 4 Efecto del tratamiento de extrusión sobre el porcentaje de almidón resistente en la harina de camote. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa entre tratamientos. * indican diferencia estadística significativa con respecto al control.

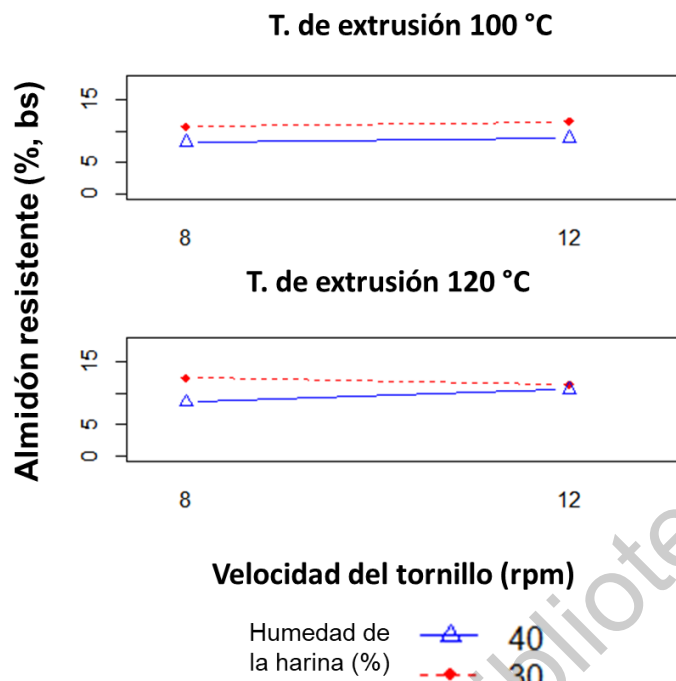


Figura 5 Efecto de la interacción entre velocidad de tornillo, humedad de la harina y temperatura de extrusión sobre el porcentaje de almidón resistente en la harina de camote extrudida.

5.2.3 Índice de expansión y volumen aparente

El efecto de los tratamientos sobre el índice de expansión de las harinas, se presenta en la Figura 6, en donde se observa que las harinas sometidas a una temperatura de extrusión de 100 °C presentaron un índice de expansión de entre un 42 a 58 kg/m³, comparado con los tratamientos que se sometieron a temperaturas de extrusión de 120 °C, donde el índice de expansión fue de 31 a 42 kg/m³. En este caso no se presentan datos para la harina sin extruir, y para la harina extrudida sin refrigeración el índice de expansión fue de 43.31 kg/m³.

En la Tabla 6 se muestra el análisis de varianza de los factores del proceso de extrusión en el índice de expansión, mostrando que los cuatro factores afectan de forma significativa al índice de expansión, por lo que se realizó un análisis de varianza con una prueba de Tukey, con un intervalo de confianza del 95%, en donde

las diferencias entre los tratamientos son parciales, es decir, ningún tratamiento destaca del resto, sin embargo, el tratamiento 100-40-8-40 es el que mostró el mayor índice de expansión (58.41 kg/m^3), esto se explica por la temperatura de alimentación y extrusión, la humedad inicial de la harina y una velocidad de tornillo de 8 rpm, lo que permite calentar el agua contenida en la harina hasta evaporación, y una vez que la harina extrudida llega a la boquilla la presión del vapor produjo una mayor expansión de la harina (Ye et al., 2018).

Otro parámetro medido después del proceso de extrusión es el volumen aparente de los extrudidos, en la Figura 7, se aprecia que, al igual que el índice de expansión los tratamientos afectan al volumen aparente de los extrudidos, siguiendo los mismos mecanismos fisicoquímicos.

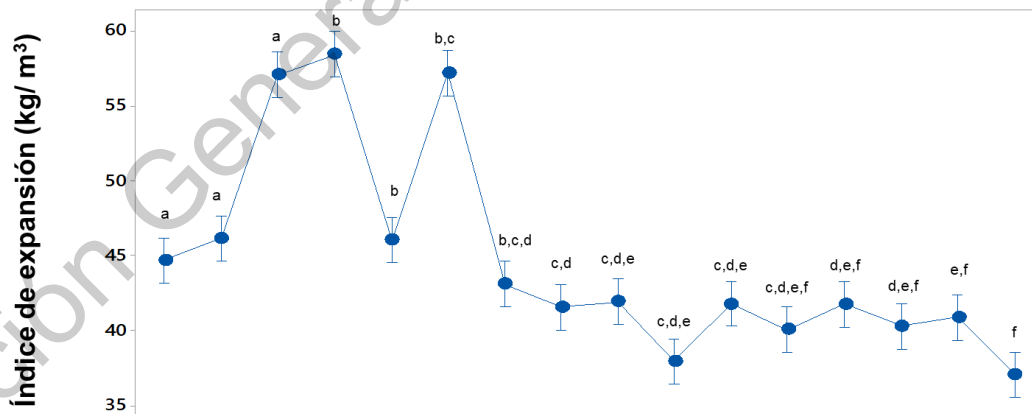
Realizando el análisis de varianza (Tabla 7) se observó que la interacción de los cuatro factores afectan de forma significativa al volumen aparente de los extrudidos, por lo que se realizó un análisis de varianza con una prueba de Tukey, con un intervalo de confianza del 95 %, en donde las diferencias entre los tratamientos son parciales, es decir, ningún tratamiento destaca del resto. Sin embargo, el tratamiento 100-40-8-40 es el que presentó un volumen aparente mayor ($0.00146 \text{ m}^3/\text{kg}$), En este caso no se presentan datos para la harina sin extruir, y para la harina extrudida sin refrigeración el volumen aparente fue de $0.00108 \text{ m}^3/\text{kg}$.

Se observa que al incrementar la temperatura de extrusión y al disminuir la velocidad del tornillo (8 rpm), es decir aumentar el tiempo que pasa la harina en el extrusor, se incrementa la hidrólisis del almidón, y otros compuestos presentes en la harina durante el proceso de nucleación, disminuyendo por tanto el colapso de las burbujas formadas y la cantidad de vapor de agua disponible para la fase de evaporación, dando como resultado un mayor volumen aparente (Ye et al., 2018).

Tabla 6 Análisis de varianza para el efecto de los factores y su interacción en índice de expansión.

Factor	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Temperatura de extrusión (TE)	1	987.1	987.1	597.4	< 2e-16	***
Temperatura de alimentación (TA)	1	76.6	76.6	46.4	1.06E-07	***
Velocidad del tornillo (V)	1	2.9	2.9	1.8	0.192736	
Humedad de la harina (H)	1	0.4	0.4	0.2	0.628572	
TE:TA	1	53.0	53.0	32.1	2.87E-06	***
TE:V	1	12.6	12.6	7.6	0.009408	**
TA:V	1	454.1	454.1	274.8	< 2e-16	***
TE:H	1	102.8	102.8	62.2	5.35E-09	***
TA:H	1	10.1	10.1	6.1	0.018672	*
V:H	1	31.5	31.5	19.0	0.000125	***
TE:TA:V	1	258.5	258.5	156.4	7.31E-14	***
TE:TA:H	1	7.5	7.5	4.6	0.040361	*
TE:V:D	1	30.7	30.7	18.6	0.000145	***
TA:V:H	1	55.3	55.3	33.5	2.03E-06	***
TE:TA:V:H	1	12.1	12.1	7.3	0.010796	*
Residuales	32	52.9	1.7			

*, **, *** nivel de significancia (tabla original)



T. de extrusión (°C)	100	100	100	100	100	100	100	100	120	120	120	120	120	120	120
T. de alimentación (°C)	40	40	40	40	60	60	60	60	40	40	40	40	60	60	60
Velocidad del tornillo (rpm)	12	12	8	8	12	12	8	8	12	12	8	8	12	12	8
Humedad de la harina (%)	30	40	30	40	30	40	30	40	30	40	30	40	30	40	30

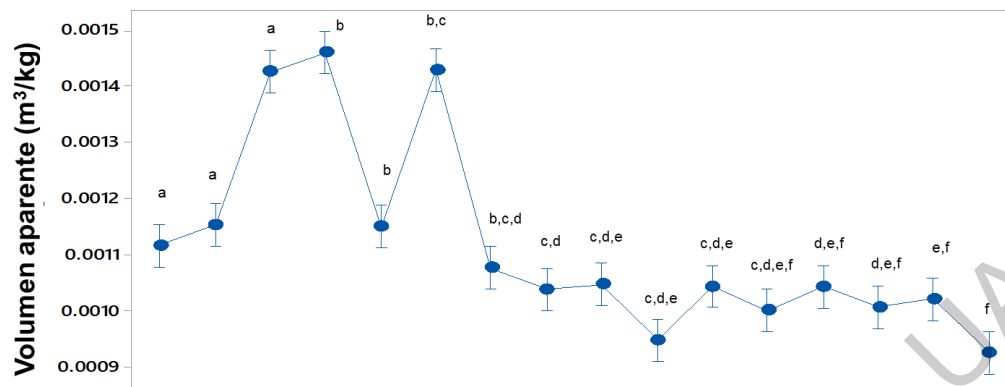
Figura 6 Efecto de la interacción de los factores, temperatura de extrusión, temperatura de alimentación, velocidad del tornillo y humedad relativa sobre

el índice de expansión en la harina de camote. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa entre tratamientos.

Tabla 7 Análisis de varianza para el efecto de los factores y su interacción en volumen aparente.

Factor	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Temperatura de extrusión (TE)	1	6.21E-07	6.21E-07	586.843	< 2e-16	***
Temperatura de alimentación (TA)	1	4.81E-08	4.81E-08	45.48	1.28E-07	***
Velocidad del tornillo (V)	1	1.90E-09	1.90E-09	1.772	0.192584	
Humedad de la harina (H)	1	4.00E-10	4.00E-10	0.386	0.538901	
TE:TA	1	3.41E-08	3.41E-08	32.252	2.75E-06	***
TE:V	1	8.00E-09	8.00E-09	7.567	0.009702	**
TA:V	1	2.82E-07	2.82E-07	266.583	< 2e-16	***
TE:H	1	6.31E-08	6.31E-08	59.598	8.41E-09	***
TA:H	1	6.50E-09	6.50E-09	6.173	0.018391	*
V:H	1	2.00E-08	2.00E-08	18.906	0.000131	***
TE:TA:V	1	1.63E-07	1.63E-07	154.331	8.75E-14	***
TE:TA:H	1	4.80E-09	4.80E-09	4.535	0.040989	*
TE:V:D	1	2.00E-08	2.00E-08	18.906	0.000131	***
TA:V:H	1	3.20E-08	3.20E-08	30.268	4.61E-06	***
TE:TA:V:H	1	7.50E-09	7.50E-09	7.087	0.012048	*
Residuales	32	3.39E-08	1.10E-09			

*, **, *** nivel de significancia (tabla original)



T. de extrusión (°C)	100	100	100	100	100	100	100	100	120	120	120	120	120	120	120	120
T. de alimentación (°C)	40	40	40	40	60	60	60	60	40	40	40	40	60	60	60	60
Velocidad del tornillo (rpm)	12	12	8	8	12	12	8	8	12	12	8	8	12	12	8	8
Humedad de la harina (%)	30	40	30	40	30	40	30	40	30	40	30	40	30	40	30	40

Figura 7 Efecto de los factores, temperatura de extrusión, temperatura de alimentación, velocidad del tornillo y humedad relativa sobre el volumen aparente en la harina de camote. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa entre tratamientos.

5.2.4 Índice de absorción de agua e índice de material soluble

En la Figura 8 se observa el efecto de los tratamientos sobre el índice de absorción de agua, y en la Figura 9 se observa su efecto sobre el índice de material soluble.

El índice de absorción de agua se refiere al volumen ocupado por la harina (que contiene almidón) después de hincharse con un exceso de agua, se observa que los tratamientos producen diferencias significativas con respecto a la harina sin extruir (1.92 g agua/g). Para la harina extrudida sin refrigerar se observa un comportamiento similar al de los tratamientos (3.07 g agua/g); los tratamientos oscilan entre 4.53 y 3.40 g agua/g. estos valores concuerdan con lo reportado en la literatura (Sarawong et al., 2014; Waramboi, et al., 2014).

El incremento en el índice de absorción de agua después de la extrusión se debe a que durante este proceso se dejan expuestos un mayor número de grupos hidroxilo que tienden a formar puentes de hidrógeno y absorber una mayor cantidad de agua. Además, al incrementar la temperatura de extrusión, al aumentar la velocidad del tornillo (12 rpm) y al incrementar la humedad inicial de la harina se favorece el incremento en el índice de absorción de agua. (Waramboi, et al., 2014).

Al realizar el análisis de varianza para observar el efecto de los factores en el índice de absorción de agua (Tabla 8) se aprecia que la combinación de los cuatro factores afecta de forma significativa al índice de absorción de agua y ya que esta interacción contiene todos los factores, el resto de interacciones no fueron analizadas; una interacción de cuatro factores es difícil de interpretar por lo que se realizó una prueba de Tukey, con un intervalo de confianza del 95%, se observa que al incrementar la temperatura y la humedad inicial de la harina, se obtienen índices de absorción de agua más altos, lo que concuerda con lo reportado en la literatura (Sarawong et al., 2014; Ye et al., 2018).

Tabla 8 Análisis de varianza para el efecto de los factores y su interacción en el índice de absorción de agua.

Factor	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Temperatura de extrusión (TE)	1	4.845	4.845	63.277	4.44E-09	***
Temperatura de alimentación (TA)	1	0.328	0.328	4.288	0.04652	*
Velocidad del tornillo (V)	1	0.242	0.242	3.164	0.08479	.
Humedad de la harina (H)	1	2.189	2.189	28.586	7.25E-06	***
TE:TA	1	0.057	0.057	0.741	0.39582	
TE:V	1	0	0	0.002	0.96285	
TA:V	1	0.29	0.29	3.786	0.06053	.
TE:H	1	0.293	0.293	3.826	0.05923	.
TA:H	1	0	0	0.006	0.93812	
V:H	1	0.335	0.335	4.375	0.04449	*
TE:TA:V	1	0.176	0.176	2.304	0.13886	
TE:TA:H	1	0.029	0.029	0.372	0.54598	
TE:V:D	1	0.064	0.064	0.833	0.36816	
TA:V:H	1	0.032	0.032	0.412	0.52571	
TE:TA:V:H	1	0.894	0.894	11.673	0.00174	**
Residuales	32	2.45	0.077			

*, **, *** nivel de significancia (tabla original)

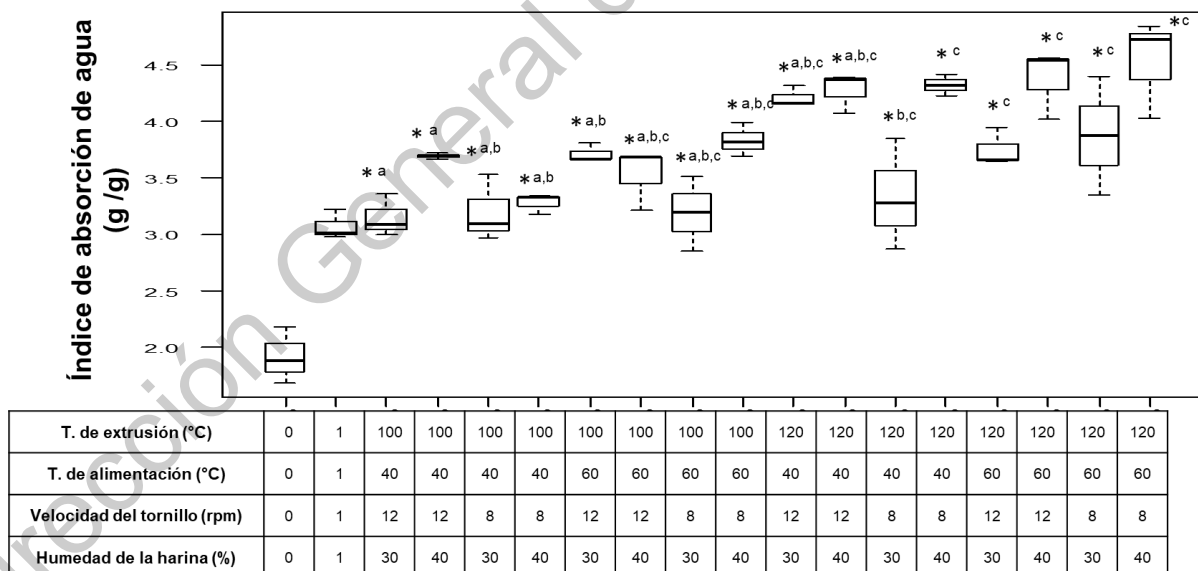


Figura 8 Efecto del tratamiento de extrusión sobre el índice de absorción de agua en la harina de camote. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa entre tratamientos. * indican diferencia estadística significativa con respecto al control.

El índice de material soluble mide la cantidad de componentes solubles presentes en la harina después del proceso de extrusión, se observa que con respecto a la harina sin extruir (8.96 %) los tratamientos presentan índices de material soluble menores que se encuentran en el rango de 19.81 al 10.03 % lo que indica que los tratamientos disminuyen de forma significativa el índice de material soluble de la harina; con respecto a la harina extrudida sin refrigerar, el índice de material soluble es similar al de los tratamientos (15.0 %). Los valores obtenidos concuerdan con los valores reportados en la literatura, que van de un 10 a un 22 % para almidón y harina de camote extrudidos (Borba et al., 2005; Ding et al., 2006; Hagenimana, et al., 2006; Menegassi et al., 2011; Sarawong et al., 2014; Waramboi et al., 2014). Después someter a las harinas al proceso de extrusión, siempre se incrementa el índice de material soluble, producto de la degradación de los gránulos de almidón (Ye et al., 2018).

Realizando un análisis de varianza para observar el efecto de los factores de extrusión y sus interacciones, sobre el índice de material soluble (Tabla 9) se observa que se presentan tres interacciones triples, las cuales se muestran en Figura 10, la primera interacción se da entre la temperatura de extrusión: temperatura de alimentación: humedad inicial de la harina; la segunda interacción se da entre la temperatura de extrusión: velocidad del tornillo: humedad inicial de la harina; la tercera interacción se da entre la temperatura de alimentación: la velocidad del tornillo: humedad inicial de la harina.

De forma concreta se observa que al incrementar la temperatura de extrusión y de alimentación, y la velocidad del tonillo; y al disminuir la humedad inicial de la harina, se obtienen índices de material soluble más altos, lo que concuerda con lo reportado en la literatura (Ye et al., 2018). En este proyecto se eligió el tratamiento que presentó un índice de material soluble alto, para usarse como ingrediente para la formulación de una bebida, con este fin el efecto del tratamiento sobre la harina se considera prácticamente significativo, ya que influirá en la estabilidad de la bebida. Los parámetros de extrusión para obtener esta harina fueron una humedad del 30 %, una temperatura de extrusión de 100 °C, una

temperatura de alimentación de 40 °C y una velocidad de tornillo de 12 rpm. Sin embargo, si se decidiera usar esta harina para la elaboración de otros productos alimentarios se podría elegir otro tratamiento y podría considerarse que los cambios debidos a los tratamientos pueden o no ser prácticamente significativos.

Tabla 9 Análisis de varianza para el efecto de los factores y su interacción en el índice de material soluble.

Factor	Df	Sum Sq	Mean Sq F	value	Pr(>F)	
Temperatura de extrusión (TE)	1	6.62	6.616	1.618	0.2126	
Temperatura de alimentación (TA)	1	7.78	7.776	1.902	0.1775	
Velocidad del tornillo (V)	1	0.01	0.01	0.002	0.9616	
Humedad de la harina (H)	1	1.01	1.009	0.247	0.6227	
TE:TA	1	16.15	16.147	3.949	0.0555	.
TE:V	1	0.26	0.264	0.065	0.801	
TA:V	1	0.29	0.285	0.07	0.7934	
TE:H	1	0.93	0.93	0.227	0.6368	
TA:H	1	13.08	13.083	3.199	0.0831	.
V:H	1	22.72	22.715	5.555	0.0247	*
TE:TA:V	1	0.17	0.17	0.042	0.8395	
TE:TA:H	1	23.94	23.942	5.855	0.0214	*
TE:V:D	1	19.08	19.076	4.665	0.0384	*
TA:V:H	1	12.44	12.444	3.043	0.0907	.
TE:TA:V:H	1	0.06	0.062	0.015	0.9031	
Residuales	32	130.86	4.089			

*,**,*** nivel de significancia (tabla original)

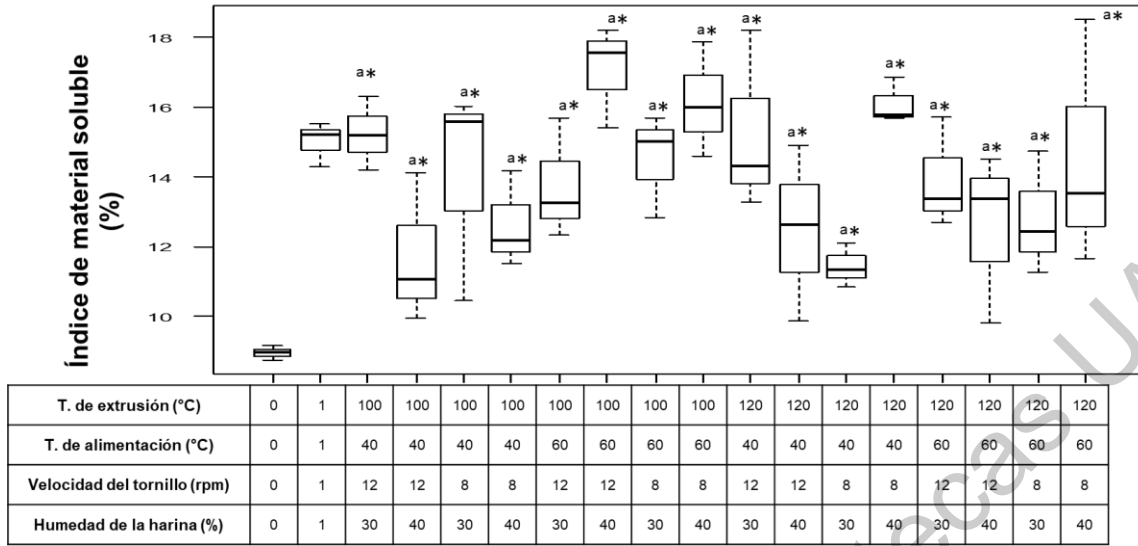


Figura 9 Efecto del tratamiento de extrusión sobre el índice de material soluble en la harina de camote. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa entre tratamientos. * indican diferencia estadística significativa con respecto al control.

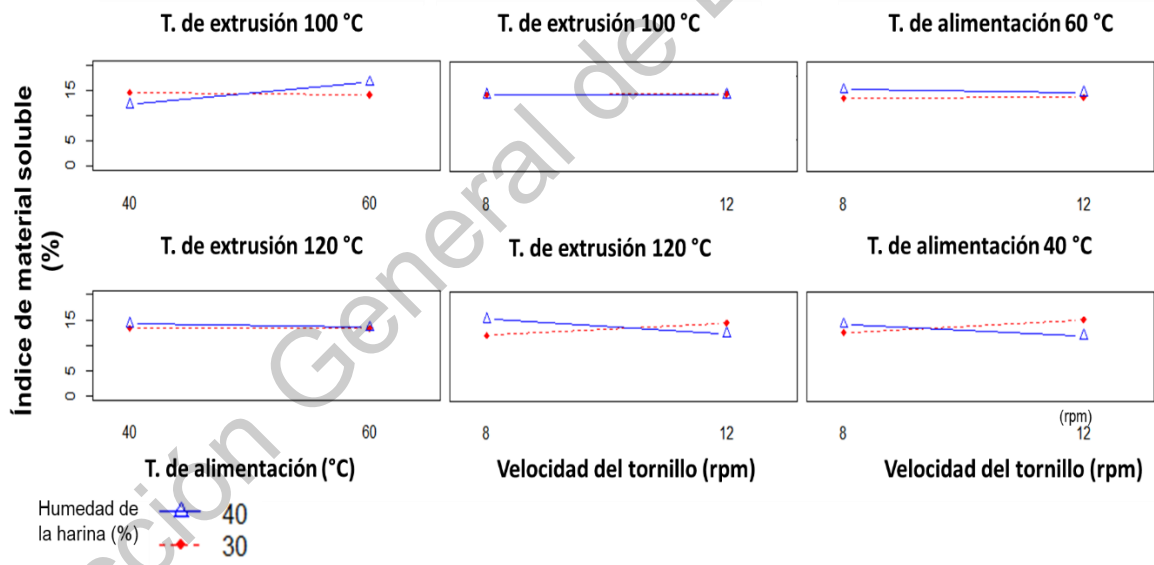


Figura 10 Efecto de los factores temperatura de extrusión, temperatura de alimentación y velocidad del tornillo sobre el índice de material soluble en la harina de camote.

5.2.5 Análisis de viscosidad

El viscoamilograma (RVA) nos muestra el comportamiento de la harina sin extruir, la harina extrudida sin refrigeración y la harina extrudida con refrigeración 100-40-12-30 (tratamiento seleccionado para la bebida), (Tabla 10 y Tabla 11), el valor de los parámetros para la harina control concuerdan con los rangos reportados en la literatura, tanto para almidones purificados, como para harinas integrales (Guo et al., 2019; Nabubuya et al., 2012).

Los parámetros de la harina extrudida con refrigeración concuerdan con lo reportado en la literatura (Waramboi et al., 2014b), con la excepción de la temperatura de inicio de la gelatinización y retrogradación (Setback), en donde el valor es significativamente menor para temperatura de inicio de la gelatinización, y es significativamente mayor a lo reportado para la retrogradación. La disminución en la temperatura de inicio de gelatinización se debe a la facilidad de la harina para absorber agua promoviendo la hidratación de las cadenas de amilosa y amilopectina, necesitando de temperaturas menores para comenzar el proceso de gelatinización. El incremento en los valores de retrogradación indica la capacidad de la harina extrudida para retrogradarse aún más después del proceso de extrusión y refrigeración.

La disminución en los valores de quiebra (Breakdown) para la harina extrudida con refrigeración indica que los geles producidos son más estables durante la agitación y el calentamiento, algo que ya se ha reportado en otras harinas de maíz y arroz (Ye et al., 2018). Se observa que la harina extrudida sin refrigerar posee un comportamiento intermedio entre la harina sin extruir y la harina extrudida con refrigeración, observando que el proceso de refrigeración modifica de forma significativa las propiedades de pasta de la harina.

Debido a que la harina extrudida y refrigerada fue usada en la producción de una bebida no se alcanzaron los valores de temperatura para iniciar con el proceso de gelatinización, por lo que se considera que la harina extrudida con

refrigeración no aportaría viscosidad (proveniente del proceso de gelatinización) a la bebida.

La harina producida en este trabajo puede tener otras aplicaciones para la elaboración de otros alimentos, como pastas, pan y sopas, donde los valores de temperatura de gelatinización, viscosidad, consistencia y retrogradación toman sentido ya que, comparado el comportamiento de la harina extrudida con refrigeración, con la harina extrudida sin refrigerar y la harina sin extruir, presentaría una mayor estabilidad en la elaboración de panes y daría una mejor consistencia a sopas.

Tabla 10 Propiedades de pasta para la harina sin extruir y la harina extrudida con refrigeración y la harina extrudida sin refrigeración.

Parámetro	Harina sin extruir	Extrudido con refrigeración	Extrudido sin refrigeración
Temperatura de inicio de gelatinización (°C)	74	64	67.8
tiempo de temperatura de gelatinización (min)	5	3	4
viscosidad media (mPa s)	1631	2729	1847
Viscosidad pico (mPa s)	2119	3008	2237
Quiebra (Breakdown) (mPa s)	506	279	755
Retrogradación (Setback) (mPa s)	1882	2032	1953
Viscosidad final (mPa s)	2307	5040	3302

(Tabla original)

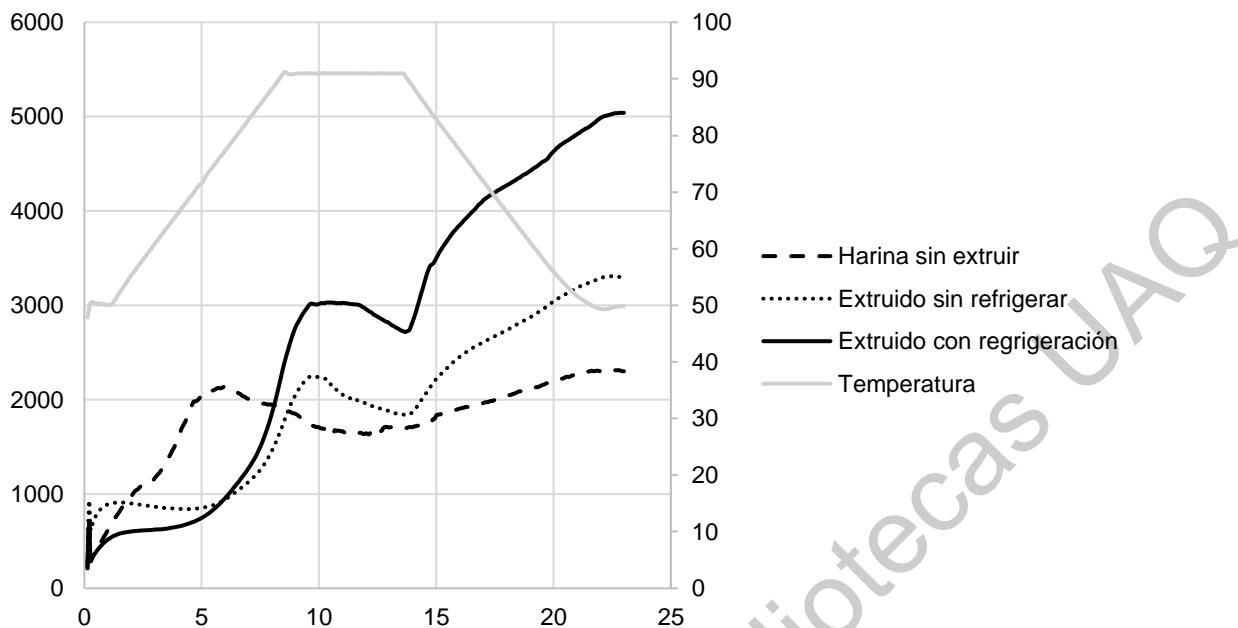


Figura 11 Viscoamilograma de la harina de camote sin extruir, de la harina extrudida sin refrigerar y de la harina extruida con refrigeración (4 °C, 24 h).

5.2.6 Propiedades térmicas

El análisis de calorimetría diferencial de barrido (DSC) proporcionó información sobre la entalpia de gelatinización, y la temperatura de gelatinización para la harina sin extruir, la harina extrudida con refrigeración (100-40-12-30, tratamiento seleccionado para la bebida) y la harina extrudida sin refrigeración. Para la harina sin extruir, la temperatura de gelatinización fue de 73.6 °C con una entalpia de gelatinización de -1.09 J/g, para la harina extrudida con refrigeración, la temperatura de gelatinización fue de 64 °C con una entalpia de gelatinización de -3.04 J/g.

Para la harina sin extruir la gelatinización inicia a 66.1 °C y termina a 80.9 °C, para la harina extrudida la temperatura de gelatinización comienza a 59.5 °C y termina a los 70.3 °C (Figura 12), con respecto a la harina extrudida sin refrigerar no se obtuvieron valores significativos, debido a que el proceso de extrusión produjo la gelatinización del almidón y la degradación de la amilosa y de la amilopectina, dejando estructuras dispersas de amilosa y amilopectina que no conforman

estructuras cristalinas significativas, lo que concuerda con lo descrito en la literatura (dos Santos, et al., 2019), y con lo cual se puede confirmar que el proceso de refrigeración promueve la reorganización de las estructuras de amilosa y amilopectina para la producción de AR, esto último también concuerda con lo reportado por Sarawong et al., 2014.

La temperatura de gelatinización para harina sin extruir concuerda con lo reportado en la literatura (dos Santos et al., 2019), sin embargo la entalpia no concuerda con lo reportado en trabajos previos, donde la entalpia para almidón purificado es de alrededor de 12.46 J/g esto puede ser explicado al considerar que la harina que se analiza en este trabajo es una harina integral que en proporción contiene un menor orden en las estructuras cristalinas, esto se evidencia con una entalpia de gelatinización de -1.09 J/g (Guo et al., 2019).

Con respecto a la harina extrudida con refrigeración, la temperatura de gelatinización se disminuye hasta 64 °C, en la literatura no hay reportes sobre la temperatura de gelatinización para harina integral de camote extrudida y sometida a refrigeración, sin embargo la temperatura de gelatinización concuerda con lo reportado en la literatura para almidón purificado de camote (Borba et al., 2005; dos Santos et al., 2019; Soison et al., 2014).

Con respecto a la entalpia de gelatinización para la harina extrudida con refrigeración, dos Santos et al. (2019) nos indica que el análisis DSC no mostró ninguna curva, por lo tanto, no se presentan valores para las temperaturas de gelatinización ni para el cambio de entalpía; este resultado lo explica como la pérdida completa de la estructura cristalina de los gránulos después de la extrusión, sin embargo, el autor no sometió a él almidón de camote a refrigeración posterior a la extrusión. En este trabajo la harina de camote se sometió a refrigeración por 24 horas después de la extrusión, por lo que en el DSC si muestra una curva en el análisis, lo que nos indica la presencia de estructuras cristalinas, además una entalpia de gelatinización mayor comparada con la harina sin extruir, nos indica un incremento en las estructuras cristalinas, lo que concuerda con el porcentaje de AR

obtenido para el tratamiento 100-40-12-30, que representa a la harina extrudida con refrigeración.

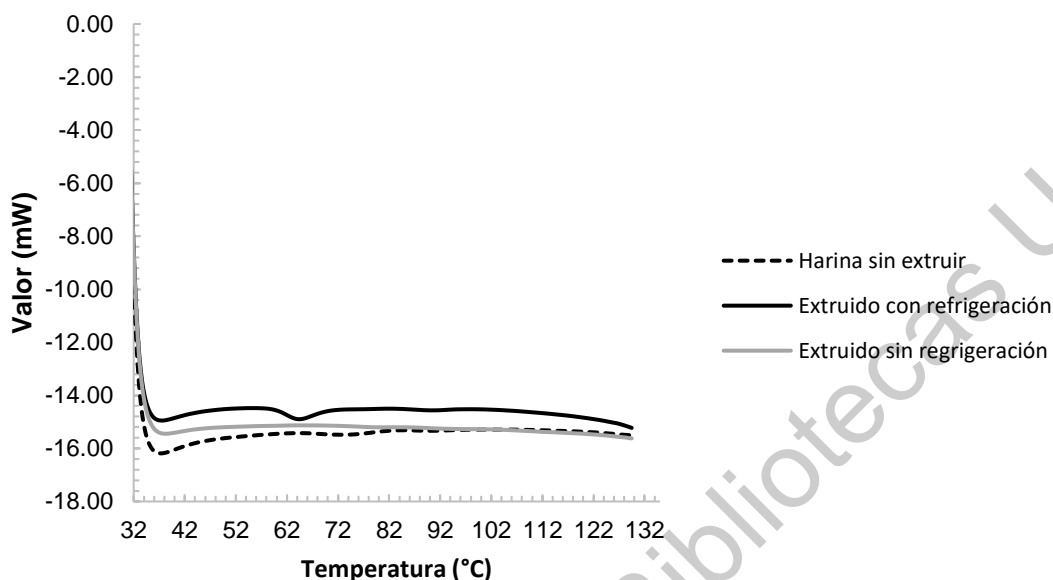


Figura 12 Calorimetría diferencial de barrido para la harina sin extruir, la harina extrudida sin refrigeración y la harina extrudida con refrigeración.

5.2.7 Cristalinidad relativa del almidón

El almidón de la harina sin extruir mostró un patrón de difracción tipo C con picos más intensos a los 15° , 17° y $23^\circ 2\theta$, también muestra un patrón de difracción del tipo A, presentando picos a los 15° , 17° , 18° y $23^\circ 2\theta$, para el almidón de la harina extrudida con refrigeración se observan un patrón similar al tipo C y al tipo A, pero presentó una mayor intensidad; para el almidón proveniente de la harina extrudida sin refrigeración no se logran distinguir picos claros para patrones de difracción A, B o C (Figura 13). Estudios anteriores ya han reportado que el almidón de camote con y sin extruir presentan patrones de difracción tipo C y en algunos casos se presentan patrones tipo C y A ((dos Santos et al., 2019; Guo et al., 2019; Waramboi et al., 2014).

La falta de una estructura clara para el almidón proveniente de la harina extrudida sin refrigerar se debe a la degradación de la amilosa y la amilopectina, por

lo que tenemos un granulo gelatinizado y amorfo, esto puede ser usado para calcular el porcentaje de cristalinidad relativa del almidón proveniente de la harina sin extruir y la harina extrudida con refrigeración. El porcentaje de cristalinidad para la harina sin extruir es del 12.7% y para la harina extrudida con refrigeración es del 14.7%; en la literatura se reporta que el porcentaje de cristalinidad para el almidón proveniente de la harina sin extruir es aún mayor (38%) (Hoover, 2001), sin embargo, la cristalinidad relativa es una aproximación a un porcentaje de cristalinidad obtenida por resonancia magnética nuclear, además el porcentaje de cristalinidad de los tubérculos no ha sido estudiada a fondo, variando según la susceptibilidad enzimática, gelatinización, retrogradación y propiedades reológicas del almidón y variedad (Lopezet al., 2008).

Para almidones provenientes de harinas extrudidas y refrigeradas de camote no se presentan datos, no obstante, el incremento en el porcentaje de cristalinidad refleja que el proceso de extrusión seguido de refrigeración incrementa el porcentaje de estructuras cristalinas presentes en la harina, lo que corresponde con un incremento en el AR.

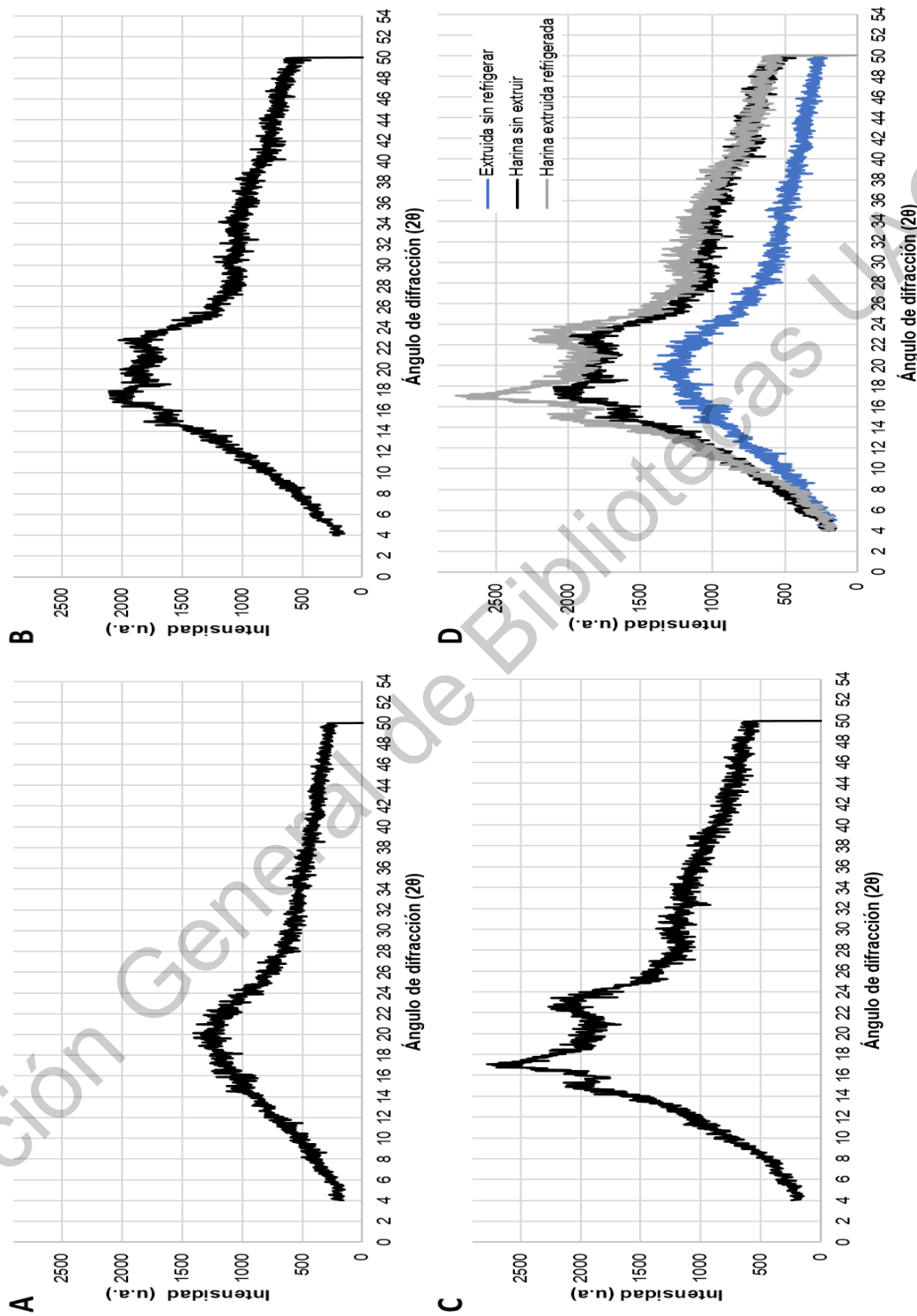


Figura 13 Difractogramas de rayos x A) almidón obtenido de la harina extrudida sin refrigeración, B) almidón obtenido de la harina sin extraer C) almidón obtenido de la harina extrudida con refrigeración D) almidones obtenidos de las tres harinas.

5.2.8 Análisis bromatológico

Los valores de los nutrimentos para la harina sin extruir y la harina extrudida con refrigeración se encuentran dentro del rango reportado en la literatura (Mu, et al., 2017). Se observa que entre la harina sin extruir y la harina extrudida con refrigeración la humedad, los carbohidratos, y la fibra fueron distintos de forma significativa hablando estadísticamente, sin embargo, en la práctica un incremento de dos unidades no es significativo (Tabla 11). Ahora bien, los cambios en la cantidad de fibra presente en las harinas, puede explicarse por método de cuantificación de la fibra, que se basa en la degradación enzimática de la α -amilasa sobre los carbohidratos presentes, por tanto al incrementar el porcentaje de AR se incrementó el contenido de fibra dietaría, el incremento en la fibra dietaría al extruir y refrigerar concuerda con lo descrito en la literatura para otras fuentes como cebada y plátano (Sarawong et al., 2014; Waramboi et al., 2014).

Según la NOM-086-SSA1-1994 un producto bajo en calorías es aquel en donde su contenido calórico debe ser menor o igual a 40 calorías/porción y si la porción sea menor o igual a 30 g, su contenido de calorías debe ser menor o igual a 40 calorías/50 g de producto, se puede observar que la harina integral de camote no cumple con los requisitos de la norma para ser denominado como un ingrediente bajo en calorías, sin embargo, es un ingrediente que posee otros nutrimentos de alta calidad, por lo que su uso como ingrediente en la elaboración de otros alimentos no debe ser descartada.

Tabla 11 Análisis bromatológico proximal para la harina sin extruir y la harina extrudida con refrigeración.

Nutrimiento	Harina sin extruir	Extrudido con refrigeración
Humedad (%)	25.0 ± 0.20 ^a	26.0 ± 0.21 ^b
Grasa (g)	0.1 ± 0.10 ^a	0.1 ± 0.10 ^a
Proteína (g)	11.5 ± 0.80 ^a	12.0 ± 0.06 ^a
Carbohidratos (g)	33.0 ± 0.01 ^a	29.0 ± 0.04 ^b
Cenizas (g)	5.4 ± 0.35 ^a	5.2 ± 0.35 ^a
Fibra dietaria (g)	17.3 ± 0.23 ^a	19.2 ± 0.15 ^b
Azúcares reductores (g)	7.7 ± 0.41 ^a	8.5 ± 0.39 ^a
Energía (Cal)	213.5	203.3

(Tabla original)

5.2.9 Micrografías

Se aprecia que la morfología y tamaño de los gránulos del almidón corresponden con lo descrito en la literatura, también se observa que antes del proceso de extrusión se observa un conjunto de gránulos con una superficie lisa lo que corresponde con lo reportado para harina integral de camote (Borba et al., 2005; Waramboi et al., 2014; Ye et al., 2018). Después del proceso de extrusión los gránulos de almidón son destruidos, quedando estructuras amorfas y gránulos de almidón rotos aglomerados, dando la apariencia de una masa compacta, lo que concuerda con lo descrito en trabajos anteriores (Borba et al., 2005; Waramboi et al., 2014) (Figura 14).

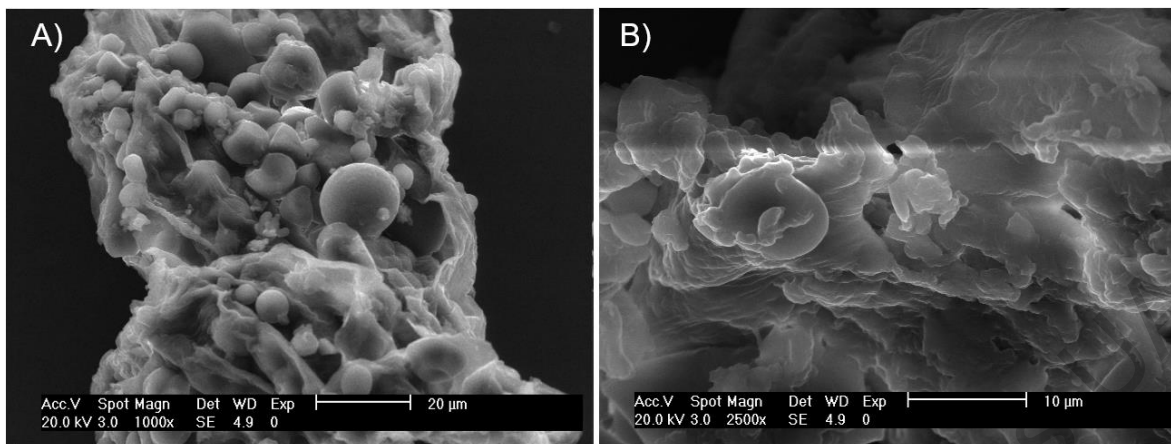


Figura 14 Micrografía de las harinas de camote por microscopía electrónica (SEM) con recubrimiento de platino. A) harina control B) harina extrudida.

5.2.10 Compuestos fenólicos totales

El contenido de compuestos fenólicos totales de la harina sin extruir fue de 485.9 mg EAG/g, para la harina de camote extrudida sin refrigerar fue de 543.81 mg EAG/g; mientras que los tratamientos presentaron un contenido de compuestos fenólicos de 503.4 a 548.5 mg EAG/g (Figura 15). El valor de la harina sin extruir concuerda con lo reportado en la literatura para el camote (Truong, et al., 2007). El contenido de compuestos fenólicos para los tratamientos concuerda con lo reportado para harinas extrudidas (con y sin refrigerar) de camote (Thi, et.al. 2018). La harina extrudida sin refrigerar muestra un comportamiento similar al de los tratamientos, por lo que el proceso de refrigeración no afecta el contenido de compuestos fenólicos.

El contenido de compuestos fenólicos totales se ve incrementado de forma significativa con respecto al control, debido a que el proceso de extrusión rompe las membranas que contienen estos compuestos e inactiva a las enzimas que los degradan (Soison et al., 2014). También se ha reportado que el proceso de extrusión incrementa la biodisponibilidad de los compuestos fenólicos (Salazar Lopez et al., 2016) .

El análisis de varianza de los factores (Tabla 12) mostró que la interacción entre la temperatura de alimentación: temperatura de extrusión es la que afecta de forma significativa el contenido de compuestos fenólicos totales, donde temperaturas menores tanto para la temperatura de alimentación (40 °C), como para la temperatura de extrusión (100 °C) da un mayor contenido de compuestos fenólicos totales (Figura 16). Esto se debe a que a temperaturas de 70 a 100 °C se produce la degradación de los compuestos fenólicos (Kucner, et al., 2014).

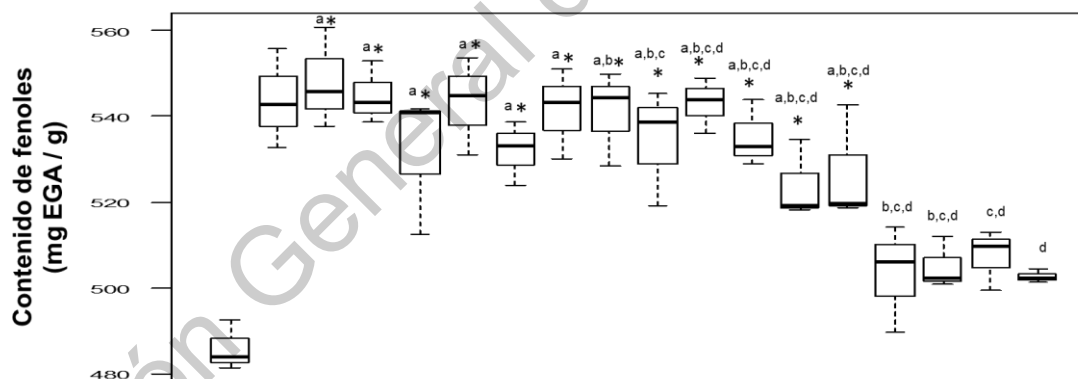
La interacción entre la temperatura de alimentación y la temperatura de extrusión muestra que solo es prácticamente significativa la degradación de los compuestos fenólicos cuando la temperatura de extrusión es de 120 °C y la temperatura de alimentación es de 60 °C, pasando de 507 mg EGS/ g en estas condiciones a 542 mg EGA/ g; bajo una temperatura de extrusión de 100 °C y una temperatura de alimentación de 40 °C (Figura 16). Por otro lado la interacción entre la temperatura de alimentación, la velocidad del tornillo y la humedad inicial de la harina también es significativa, en donde, con una temperatura de alimentación de 40 °C y una velocidad de tornillo de 12 rpm se incrementa el contenido de compuestos fenólicos con una humedad del 30 y el 40%, sin embargo, al tener una temperatura de alimentación de 60 °C una humedad del 30% incrementa el contenido de compuestos fenólicos con una velocidad de tornillo de 8 rpm, mientras que una humedad del 40% incrementa el contenido de compuestos fenólicos con una velocidad de tornillo de 12 rpm, esto nos indica que, si la harina es sometida a altas temperaturas y tiempos de proceso largos (8 rpm) es preferible disminuir la humedad de la harina para evitar su degradación, ya que mayores humedades facilitan la exposición de los compuestos fenólicos a la degradación por la temperatura y trabajo mecánico (Figura 17) (Soison et al., 2014).

En base al contenido de compuestos fenólicos el tratamiento 100-40-12-30 es el que se usó como ingrediente para la formulación de la bebida, el cual además presentó el mayor porcentaje de almidón resistente.

Tabla 12 Análisis de varianza para el efecto de los factores y su interacción en el contenido de compuestos fenólicos.

Factor	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Temperatura de extrusión (TE)	1	5357	5357	50.643	4.48E-08	***
Temperatura de alimentación (TA)	1	3166	3166	29.927	5.05E-06	***
Velocidad del tornillo (V)	1	330	330	3.116	0.087083	.
Humedad de la harina (H)	1	2	2	0.021	0.886855	
TE:TA	1	1567	1567	14.809	0.000535	***
TE:V	1	16	16	0.154	0.697175	
TA:V	1	445	445	4.211	0.048428	*
TE:H	1	68	68	0.648	0.42694	
TA:H	1	3	3	0.024	0.876752	
V:H	1	2	2	0.017	0.896538	
TE:TA:V	1	15	15	0.145	0.706228	
TE:TA:H	1	9	9	0.086	0.771611	
TE:V:D	1	6	6	0.053	0.819224	
TA:V:H	1	429	429	4.06	0.052377	.
TE:TA:V:H	1	36	36	0.336	0.566252	
Residuales	32	3385	106			

*, **, ***, nivel de significancia (tabla original).



T. de extrusión (°C)	0	1	100	100	100	100	100	100	100	100	120	120	120	120	120	120	120	
T. de alimentación (°C)	0	1	40	40	40	40	60	60	60	60	40	40	40	40	60	60	60	60
Velocidad del tornillo (rpm)	0	1	12	12	8	8	12	12	8	8	12	12	8	8	12	12	8	8
Humedad de la harina (%)	0	1	30	40	30	40	30	40	30	40	30	40	30	40	30	40	30	40

Figura 15 Efecto del tratamiento de extrusión sobre el contenido de compuestos fenólicos totales en la harina de camote. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa entre tratamientos. * indican diferencia estadística significativa con respecto al control.

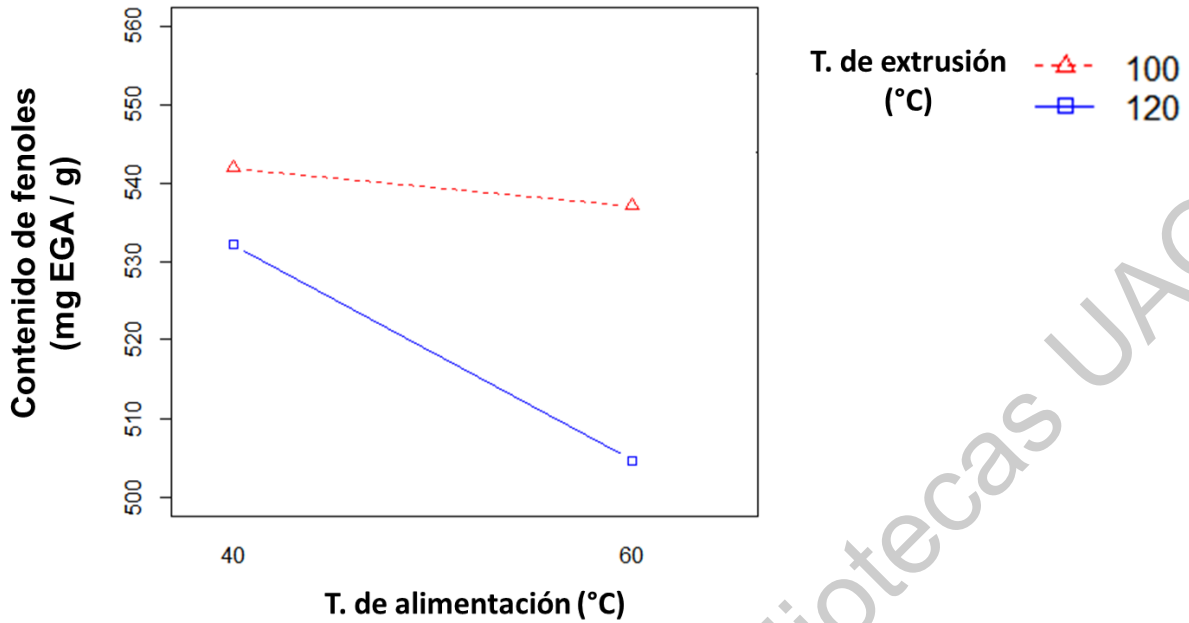


Figura 16 Efecto de los factores temperatura de alimentación y temperatura de extrusión sobre el contenido de fenoles en la harina de camote.

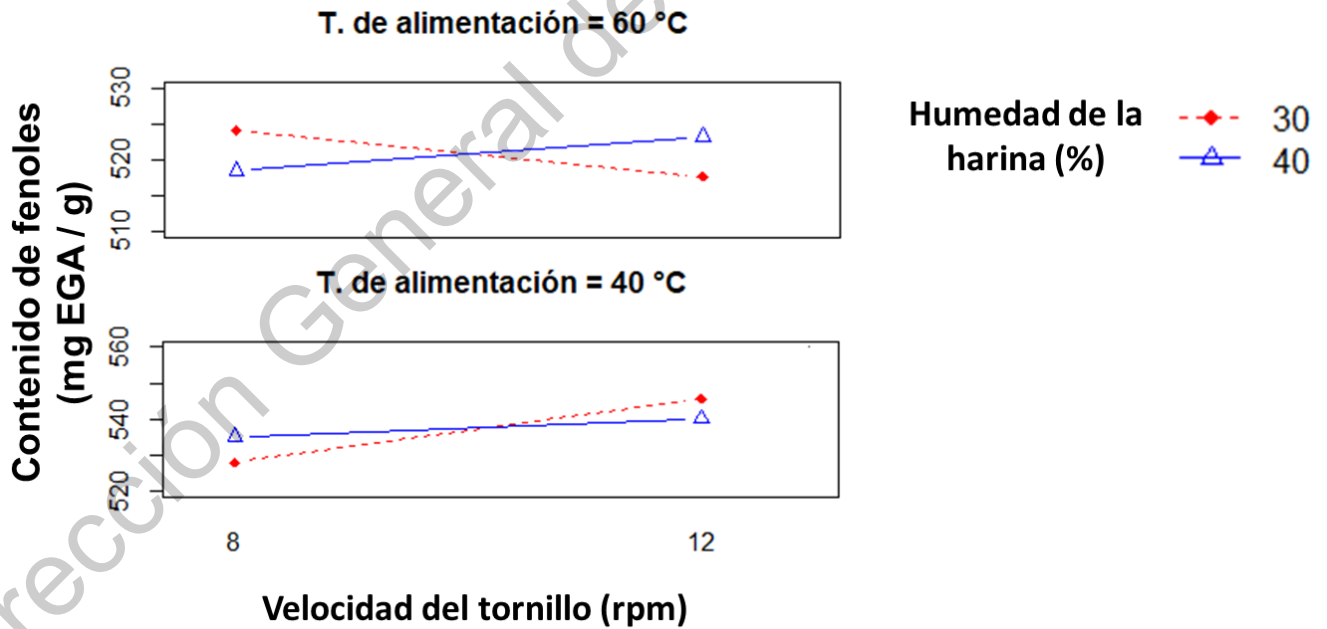


Figura 17 efecto de los factores, temperatura de alimentación, humedad de la harina y velocidad del tornillo sobre la concentración de compuestos fenólicos.

5.2.11 Capacidad antioxidante ABTS y DPPH

Para este trabajo es de interés que los tratamientos incrementen la capacidad antioxidante de la harina de camote, por lo que aquel tratamiento que posee la mayor capacidad antioxidante fue usado para la producción de la bebida.

Los tratamientos incrementan la capacidad antioxidante (ABS) de forma significativa con respecto a la harina sin extruir (de 1.3 a 1.8 veces), con respecto a la harina extrudida sin refrigeración el valor es similar al tratamiento 100-40-12-30; también se observa que los tratamientos 100-40-12-30, 100-40-12-40, 100-40-8-30 y 100-40-8-40 presentaron la mayor capacidad antioxidante, con valores de 276.7, 253.9, 266.9 y 265.1 μM eq de Trolox/g respectivamente (Tabla 13). Los valores obtenidos de capacidad antioxidante para la harina sin extruir y los tratamientos son similares a los reportados en la literatura (300- 100 μM eq de Trolox/g) (Borba et al., 2005; Soison et al., 2014; Thi, et al., 2018). Se observa que al incrementar la temperatura de alimentación de 40 a 60°C disminuye de la capacidad antioxidante, el mismo fenómeno ocurre al incrementar la temperatura extrusión de 100 a 120 °C, esto disminución en la capacidad antioxidante concuerda con lo reportado en la literatura e indica que a una temperatura de extrusión de 120 °C los compuestos responsables de la capacidad antioxidante son degradados (Kucner et al., 2014; Soison et al., 2014).

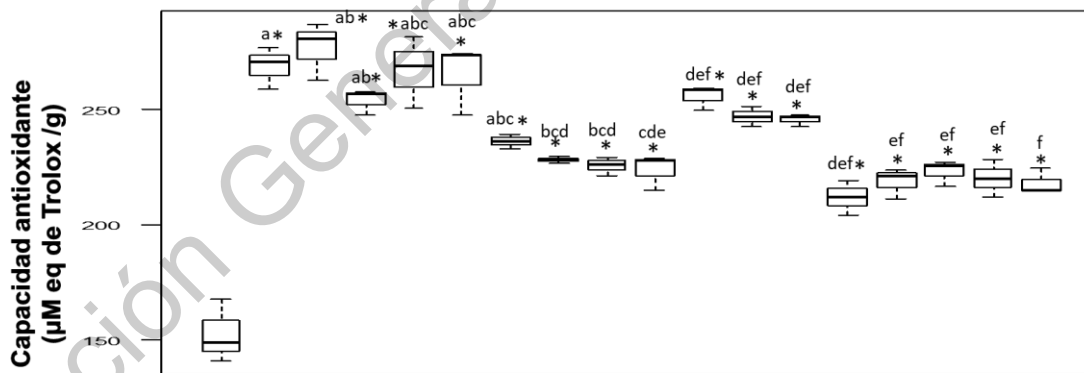
Al realizar el análisis de varianza de los factores se obtiene que todos los factores afectan de forma significativa a la capacidad antioxidante de las harinas extrudidas (Tabla 13), por lo que se realizó una prueba de Tukey, con un nivel de confianza del 95 %, para observar si algún tratamiento se distingue del resto (Figura 18), se observa que ningún tratamiento se distingue del resto por sí solo.

Tomando en cuenta la capacidad antioxidante, el tratamiento que se eligió para ser usado en la formulación de la bebida en el tratamiento 100-40-12-30, que concuerda con un mayor contenido de compuestos fenólicos totales y un mayor porcentaje de almidón resistente.

Tabla 13 Análisis de varianza para el efecto de los factores y su interacción en la capacidad antioxidante (ABTS).

Factor	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Temperatura de extrusión (TE)	1	3488	3488	53.98	2.35E-08	***
Temperatura de alimentación (TA)	1	9852	9852	152.456	1.03E-13	***
Velocidad del tornillo (V)	1	722	722	11.169	0.002128	**
Humedad de la harina (H)	1	1048	1048	16.218	0.000324	***
TE:TA	1	898	898	13.904	0.000745	***
TE:V	1	231	231	3.581	0.067527	.
TA:V	1	118	118	1.824	0.186356	
TE:H	1	6	6	0.098	0.755801	
TA:H	1	670	670	10.363	0.002944	**
V:H	1	3	3	0.043	0.83619	
TE:TA:V	1	629	629	9.728	0.003824	**
TE:TA:H	1	172	172	2.664	0.112416	
TE:V:D	1	651	651	10.081	0.003305	**
TA:V:H	1	3	3	0.043	0.837859	
TE:TA:V:H	1	203	203	3.144	0.085734	.
Residuales	32	2068	65			

*, **, ***, nivel de significancia (tabla original).



T. de extrusión (°C)	0	1	100	100	100	100	100	100	100	120	120	120	120	120	120	120	120	
T. de alimentación (°C)	0	1	40	40	40	60	60	60	60	40	40	40	40	60	60	60	60	
Velocidad del tornillo (rpm)	0	1	12	12	8	8	12	12	8	8	12	12	8	8	12	12	8	8
Humedad de la harina (%)	0	1	30	40	30	40	30	40	30	40	30	40	30	40	30	40	30	40

Figura 18 Efecto del tratamiento de extrusión sobre la capacidad antioxidante en la harina de camote. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa entre tratamientos. * indican diferencia estadística significativa con respecto al control.

Por otra parte, Los tratamientos incrementan la capacidad antioxidante (DPPH) de forma significativa con respecto a la harina sin extruir (1.3 a 1.7 veces); con respecto a la harina extrudida sin refrigerar la capacidad antioxidante fue similar al tratamiento 100-40-12-30 (Figura 19). Los valores de capacidad antioxidante para la harina sin extruir, la harina extrudida sin refrigerar y los tratamientos fueron similares a los reportados por Soison et al. (2014) para harina de camote. Tanto para la capacidad antioxidante por ABTS, la capacidad antioxidante por DPPH y el contenido de compuestos fenólicos totales se observa como los valores aumentan, esto se debe a al tratamiento de extrusión, sin embargo, al incrementar las temperatura de alimentación y la temperatura de extrusión los valores disminuyen (1.2 veces), producto de la degradación térmica de los compuestos responsables de la capacidad antioxidante (Soison et al., 2014; Thi et al., 2018).

Realizando el análisis de varianza de los factores se puede observar que los factores que afectan la capacidad antioxidante por DPPH son la temperatura de extrusión, la temperatura de alimentación, la humedad inicial de la harina y la velocidad del tornillo, y la interacción entre estos factores (Tabla 14). Se presentan tres interacciones entre los factores, la primera interacción se da entre la temperatura de extrusión: temperatura de alimentación, la segunda interacción se da entre la temperatura de extrusión y la humedad inicial de la harina (Figura 20) y la tercera interacción se da entre la temperatura de extrusión y la velocidad del tornillo; se puede observar que con una temperatura de extrusión de 100 °C y una temperatura de alimentación de 60 °C se incrementa la capacidad antioxidante, sin embargo, con una temperatura de alimentación de 40 °C no existe una diferencia marcada en la capacidad antioxidante, siendo la temperatura de alimentación de 60 °C la que produce una mayor degradación de los compuestos fenólicos responsables de la capacidad antioxidante (Soison et al., 2014). por otro lado se observa que a una humedad del 30 % se tiene la mayor capacidad antioxidante y al aumentar dicha humedad la capacidad antioxidante disminuye, esto se explica debido a que una mayor humedad, junto con una mayor temperatura de extrusión, facilitan la descarboxilación de los compuestos fenólicos; la pérdida de capacidad antioxidante durante la extrusión se han reportado para harinas de maíz, chícharo,

cebada, papa morada y camote morado (Nayak, et al., 2011; Nayak, et al., 2011; Salazar et al., 2016; Sharma et al., 2012; Soison et al., 2014).

Con respecto a la temperatura de extrusión y la velocidad del tornillo, se observa que a una temperatura de 100 °C y una velocidad de tornillo menor degrada menos los compuestos responsables de la capacidad antioxidante, sin embargo a una temperatura de 120 °C la velocidad del tornillo parece no afectar de forma significativa la capacidad antioxidante, esto, debido a la propia temperatura de extrusión, por último la energía mecánica aplicada por el tornillo degrada o modifica la estructura de los compuestos responsables de la capacidad antioxidante (Salazar et al., 2016).

Tabla 14 Análisis de varianza para el efecto de los factores y su interacción en la capacidad antioxidante (DPPH).

Factor	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Temperatura de extrusión (TE)	1	193	193	6.898	0.01313	*
Temperatura de alimentación (TA)	1	3.5	3.5	0.125	0.725951	
Velocidad del tornillo (V)	1	158	158	5.645	0.023659	*
Humedad de la harina (H)	1	398.5	398.5	14.239	0.000659	***
TE:TA	1	291.7	291.7	10.422	0.002875	**
TE:V	1	100.9	100.9	3.606	0.06661	.
TA:V	1	4.6	4.6	0.164	0.688639	
TE:H	1	262.9	262.9	9.395	0.004395	**
TA:H	1	23.1	23.1	0.827	0.37008	
V:H	1	1.9	1.9	0.068	0.795886	
TE:TA:V	1	1.5	1.5	0.052	0.820599	
TE:TA:H	1	7.7	7.7	0.277	0.602481	
TE:V:D	1	10.4	10.4	0.372	0.546113	
TA:V:H	1	69.6	69.6	2.485	0.124744	
TE:TA:V:H	1	17.3	17.3	0.618	0.43745	
Residuales	32	895.5	28			

*, **, ***, nivel de significancia (tabla original).

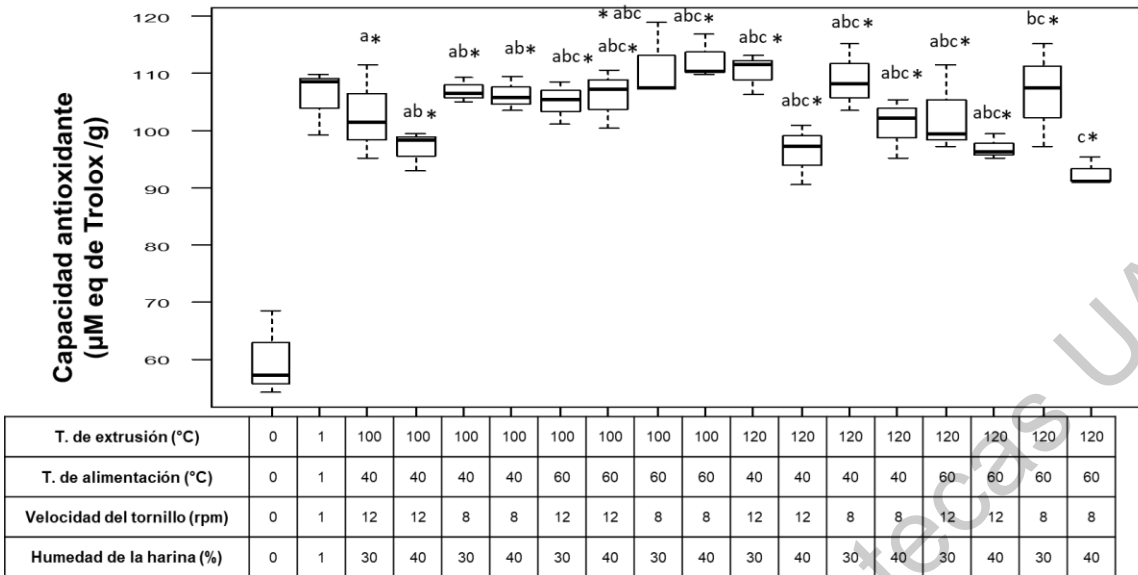


Figura 19 Efecto del tratamiento de extrusión sobre la capacidad antioxidante en la harina de camote. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa entre tratamientos. * indican diferencia estadística significativa con respecto al control.

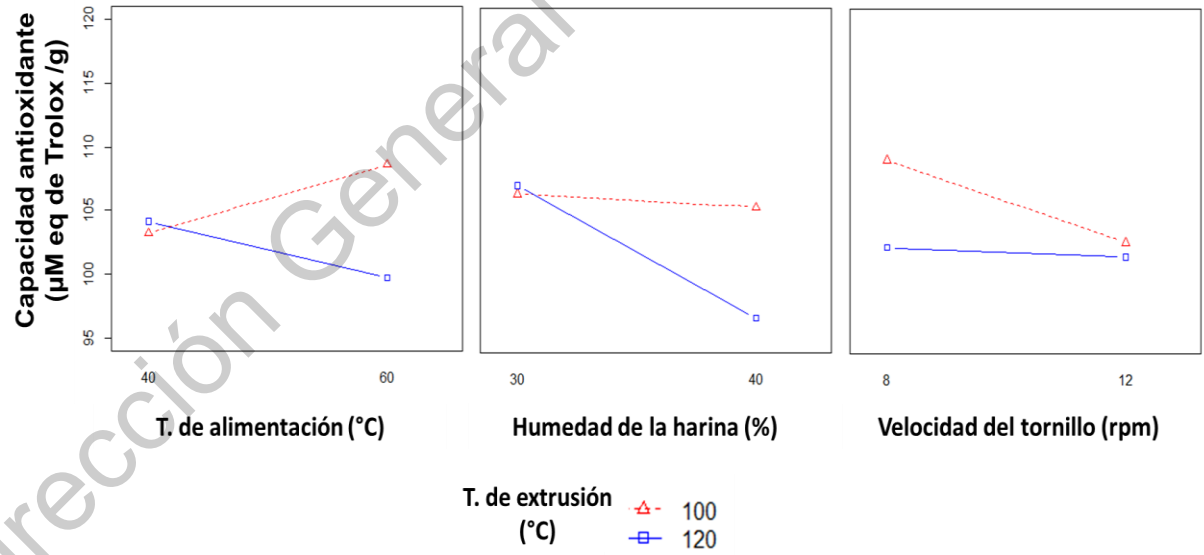


Figura 20 Efecto de la interacción entre la temperatura de alimentación y la temperatura de extrusión; la temperatura de extrusión y la velocidad del tornillo y la temperatura de extrusión y la humedad de la harina sobre la capacidad antioxidante (DPPH) sobre la harina de camote.

Por tanto, el tratamiento seleccionado para formular la bebida en el tratamiento 100-40-12-30, debido a que presentó una de las mayores capacidades antioxidantes tanto por ABTS, como por DPPH, además posee el mayor contenido de compuestos fenólicos totales y el mayor porcentaje de almidón resistente.

5.2.12 Color

Los tratamientos aplicados a la harina de camote modifican de forma significativa el color, con incrementos en el cambio total de color (ΔE) de 7 a 14, un cambio de color de más de dos unidades, que resulta evidente para el ojo humano (Gullett et al., 1972), en la harina extrudida sin refrigerar también se hace evidente el cambio de color ($\Delta E= 11.63$), este cambio es similar al de los tratamientos. Se observa, que al incrementar la temperatura de extrusión y la temperatura de alimentación se incrementa el cambio de color, una prueba de Tukey nos muestra que el tratamiento 100-40-12-30 y el tratamiento 120-60-8-40 son los únicos tratamientos que se diferencian entre sí (Figura 21).

Un análisis de varianza de los factores y las interacciones entre factores, muestra que, de forma individual, la temperatura de extrusión y la humedad inicial de la harina afectan de forma significativa el cambio de color de la harina (Tabla 15). El análisis estadístico también mostró que se presentan dos interacciones entre factores, la primera interacción se da entre la temperatura de extrusión: humedad inicial de la harina y la segunda interacción se da entre la temperatura de alimentación: velocidad del tornillo (Figura 22). Se observa que a una temperatura de extrusión de 100 °C y una humedad inicial del 30 % se presentan menores cambios de color y que una temperatura de extrusión de 120 °C produce un mayor cambio en el color cuando se modifica la humedad de la harina. No se han reportado datos sobre el cambio total de color para harinas de camote, sin embargo, si se han reportado cambios en los valores de L^* , a^* y b^* (Nayak et al., 2011) donde las harinas tienden a oscurecerse disminuyendo los valor de L^* e incrementado los valores de

a* y b*. Por otro lado, la segunda interacción muestra que una temperatura de alimentación de 60 °C y una velocidad de tornillo de 8 rpm producen un cambio de color mayor que con una temperatura de alimentación de 40 °C y 8 rpm; bajo una temperatura de alimentación de 40 °C se observa que la velocidad del tornillo es el que propicia el cambio en el color, contrario a lo que pasa bajo una temperatura de alimentación de 60 °C donde, al cambiar la velocidad del tornillo no se generan pendientes tan pronunciadas en el cambio de color (Figura 22). Según la literatura los cambios en estos parámetros son atribuidos a la humedad de la harina y la velocidad del tornillo, esto concuerda con los datos obtenidos para la harina extrudida en este trabajo, adicionalmente se observa que la temperatura de alimentación y la temperatura de extrusión también afectan el cambio de color.

Tabla 15 Análisis de varianza para el efecto de los factores y su interacción en el cambio total de color (ΔE).

Factor	Df	Sum Sq	Mean Sq F	value	Pr(>F)	
Temperatura de extrusión (TE)	1	53.13	53.13	6.991	0.0126	*
Temperatura de alimentación (TA)	1	13.61	13.61	1.791	0.1902	
Velocidad del tornillo (V)	1	6.34	6.34	0.834	0.368	
Humedad de la harina (H)	1	76.1	76.1	10.014	0.0034	**
TE:TA	1	7.94	7.94	1.045	0.3144	
TE:V	1	4.44	4.44	0.584	0.4502	
TA:V	1	25.49	25.49	3.354	0.0764	.
TE:H	1	55.38	55.38	7.287	0.011	*
TA:H	1	3.98	3.98	0.524	0.4746	
V:H	1	0.28	0.28	0.037	0.8492	
TE:TA:V	1	8.28	8.28	1.09	0.3043	
TE:TA:H	1	4	4	0.527	0.4733	
TE:V:D	1	9.35	9.35	1.23	0.2757	
TA:V:H	1	0.76	0.76	0.1	0.7539	
TE:TA:V:H	1	0.02	0.02	0.003	0.9586	
Residuales	32	243.2	7.6			

*, **, ***, nivel de significancia (tabla original).

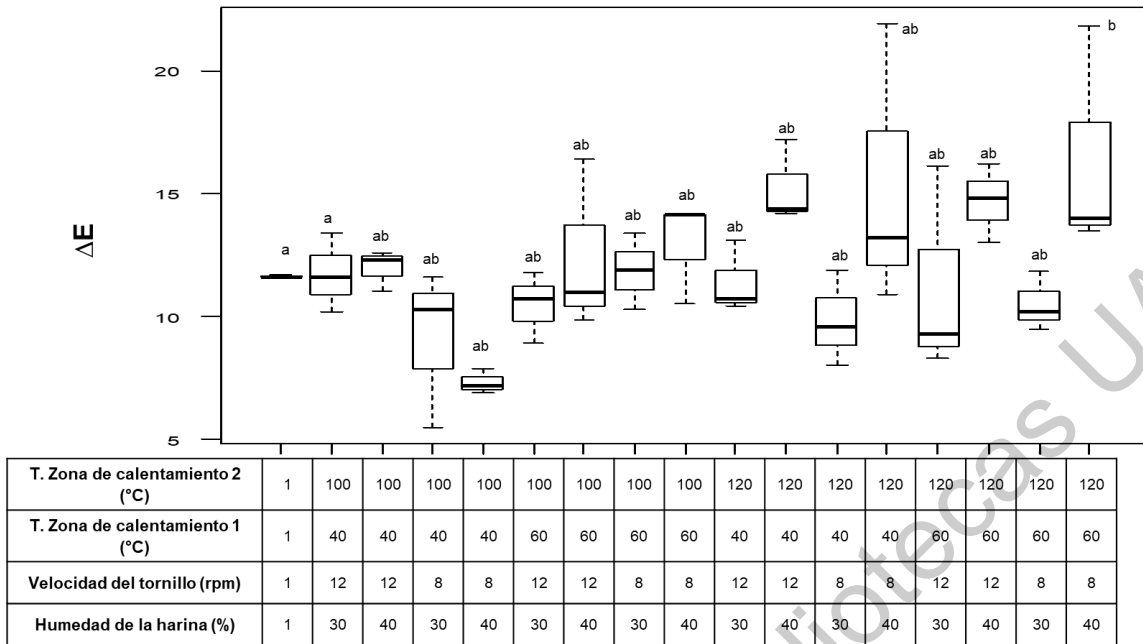


Figura 21 Efecto del tratamiento de extrusión el cambio de color total (ΔE) en la harina de camote. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa entre tratamientos. * indican diferencia estadística significativa con respecto al control.

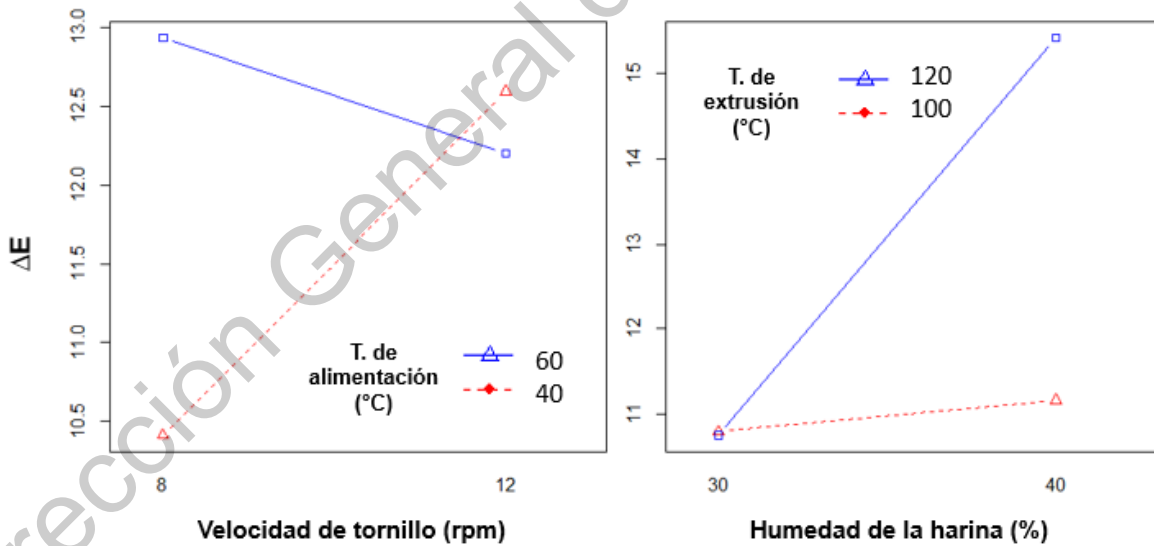


Figura 22 Efecto de los factores de extrusión sobre el cambio de color total en las harinas de camote.

El cambio de color se debe a que durante el proceso de extrusión se propician las reacciones de Maillard y la degradación de antocianinas (Nayak et al.,

2011; Soison et al., 2014). Los cambios en los parámetros de color L^* , a^* y b^* se explican también debido a las reacciones de Maillard y a la degradación de antocianinas y otros compuestos fenólicos.

Se observa que los valores de L^* son distintos con respecto a la harina sin extruir (control), por lo que los tratamientos afectan la luminosidad de las harinas extrudidas (Tabla 16). Un análisis estadístico factorial nos indica que existen dos interacciones entre factores; la primera interacción se da entre la temperatura de alimentación: humedad inicial de la harina, la segunda interacción se da entre la temperatura de extrusión: velocidad del tornillo. Para la primera interacción los valores de L^* disminuyen al tener una temperatura de alimentación de 40 °C y una velocidad de tornillo de 12 rpm, bajo una temperatura de alimentación de 40 °C y 8 rpm los valores de L^* son más altos y bajo temperatura de alimentación de 60 °C el cambio en los valores de L^* no son prácticamente significativos. Para la segunda interacción los valores de luminosidad disminuyen significativamente bajo una temperatura de extrusión de 120 °C y una humedad de la harina del 40 %, bajo una temperatura de extrusión de 100 °C bajo cualquier condición de humedad los cambios no son prácticamente significativos.

Valores de luminosidad más bajos nos dan como resultado una harina más oscura, que evidencia reacciones de oscurecimiento de Maillard y la degradación de compuestos fenólicos (Nayak et al., 2011).

Los cambios en los valores de a^* no son significativos ni con respecto al control, ni entre los tratamientos, un análisis estadístico factorial muestra que la interacción entre los factores temperatura de alimentación: temperatura de extrusión: velocidad del tornillo, son los que afectan los valores de a^* ; el efecto de estos factores no es prácticamente significativo. El efecto de estos factores sobre los valores de a^* concuerda con lo reportado en la literatura, en donde además se explican estos cambios debido a reacciones de Maillard y degradación de compuestos fenólicos (Nayak et al., 2011; Soison et al., 2014).

Los valores de b^* si se ven afectados por los tratamientos y se observa que al someter la harina a una temperatura de extrusión de 120 °C el cambio en los

valores de b^* es significativamente distinto al control teniendo un cambio de 1.4 veces. Al realizar un análisis estadístico factorial se observa que la interacción entre los factores temperatura de alimentación: velocidad del tornillo: humedad inicial de la harina, afectan los valores de b^* , se observa que a una temperatura de extrusión y una temperatura de alimentación de 120 y 60 °C respectivamente los valores de b^* tienden a aumentar, lo que nos da como resultado una harina de un tono más amarillo, nuevamente estos cambios se explican por las reacciones de Maillard y la degradación de los compuestos fenólicos presentes en la harina.

Los valores de croma tienden a comportarse de forma similar a los valores de b^* a una temperatura de extrusión de 120 °C los valores de croma aumentan de forma significativa (1.2 veces) con respecto al control. Los factores involucrados en ese cambio son temperatura de alimentación: velocidad del tornillo: humedad de la harina, en donde temperatura y humedad más alta propician cambios mayores que a humedad y temperatura más bajas (40 °C) y humedades menores (30 %); valores más altos de croma nos dan como resultado colores más intensos, con lo cual el color amarillo de las harinas extrudidas se vuelve más evidente. Con respecto al ángulo de matiz (HUE) los valores disminuyen en donde a temperaturas de alimentación de 60 °C producen un incremento estadísticamente significativo con respecto al control (1.3 veces), un análisis estadístico factorial muestra que la interacción entre factores que produce este cambio en HUE son los mismos que en b^* y croma. En donde a una temperatura de alimentación de 60 °C y una humedad de la harina del 40 % producen una disminución en los valores de HUE, sin embargo, con los cambios no son prácticamente significativos. Los cambios y los factores que afectan a croma y HUE son explicados en la literatura como el producto de las reacciones de Maillard y la degradación de compuestos fenólicos en la harina de camote durante el proceso de extrusión (Borba et al., 2005; Nayaket al., 2011; Soison et al., 2014).

Tabla 16 Valores de I*, a*, b*, C y HUE para la harina sin extruir, la harina extrudida sin refrigerar y las harinas extrudidas y refrigeradas.

T. de extrusión (°C)				T. de alimentación (°C)	V. del tornillo (rpm)	H. de la harina (%)	I*	a*	b*	C	HUE
Harina sin extruir							80.8 ± 0.3	9.5 ± 0.2	22.6 ± 0.2	24.6 ± 0.1	0.43 ± 0.05
Harina extrudida sin refrigerar							69.5 ± 0.1	10.7 ± 0.1	25.1 ± 0.1	27.6 ± 0.1	0.4 ± 0.01
100	40	12	30				69.3 ± 1.7 ^{ab*}	10.0 ± 0.6 ^a	24.6 ± 0.6 ^a	26.6 ± 0.6 ^a	0.39 ± 0.02 ^a
100	40	12	40				69.5 ± 0.8 ^{ab*}	11.1 ± 0.1 ^a	26.1 ± 2.2 ^{ab}	28.4 ± 2.0 ^{ab}	0.41 ± 0.03 ^{ab}
100	40	8	30				71.9 ± 3.3 ^{ab*}	9.1 ± 0.4 ^a	24.5 ± 0.6 ^{abc}	26.2 ± 0.7 ^{abc}	0.35 ± 0.01 ^{ab}
100	40	8	40				74.2 ± 1.1 ^{b*}	9.8 ± 1.8 ^a	25.2 ± 1.5 ^{abcd}	27.1 ± 1.8 ^{abc}	0.37 ± 0.06 ^{ab}
100	60	12	30				70.7 ± 1.9 ^{b*}	9.8 ± 1.5 ^a	24.8 ± 1.4 ^{abcd}	26.7 ± 0.8 ^{abc}	0.38 ± 0.07 ^{ab}
100	60	12	40				68.9 ± 3.5 ^{b*}	12.4 ± 0.9 ^a	24.8 ± 0.2 ^{abcde}	27.7 ± 0.5 ^{abcd}	0.46 ± 0.03 ^{ab}
100	60	8	30				69.2 ± 1.7 ^{b*}	9.9 ± 1.9 ^a	24.6 ± 0.7 ^{bcdef}	26.5 ± 0.3 ^{abcd}	0.38 ± 0.08 ^{ab}
100	60	8	40				68.8 ± 1.6 ^{b*}	10.6 ± 1.5 ^a	26.8 ± 2.8 ^{cdefg}	28.8 ± 3.1 ^{abcde}	0.38 ± 0.02 ^{ab}
120	40	12	30				70.9 ± 2.0 ^{b*}	10.4 ± 1.3 ^a	28 ± 0.9 ^{defg*}	29.9 ± 0.5 ^{bcde}	0.36 ± 0.05 ^{ab}
120	40	12	40				69.5 ± 3.7 ^{b*}	11.5 ± 0.3 ^a	32.3 ± 2.1 ^{defg*}	34.3 ± 1.9 ^{cde*}	0.34 ± 0.03 ^{ab}
120	40	8	30				74.6 ± 3.7 ^b	8.8 ± 0.4 ^a	29.9 ± 0.4 ^{efg*}	31.2 ± 0.4 ^{de*}	0.29 ± 0.01 ^{ab*}
120	40	8	40				69.9 ± 2.1 ^{b*}	11.8 ± 1.1 ^a	30 ± 2.5 ^{efg*}	33.6 ± 4.0 ^{de*}	0.38 ± 0.03 ^{ab}
120	60	12	30				74.3 ± 4 ^b	10 ± 1.7 ^a	31.7 ± 2.3 ^{fg*}	33.2 ± 2.6 ^{de*}	0.31 ± 0.03 ^{ab}
120	60	12	40				69.2 ± 2.1 ^{b*}	11.7 ± 0.7 ^a	31.4 ± 0.4 ^{fg*}	33.5 ± 0.2 ^{de*}	0.36 ± 0.02 ^b
120	60	8	30				73.2 ± 2.2 ^{b*}	10.7 ± 0.6 ^a	29.7 ± 0.6 ^{fg*}	31.6 ± 0.4 ^{de*}	0.35 ± 0.02 ^b
120	60	8	40				68.8 ± 5.8 ^{b*}	10.8 ± 2.0 ^a	33.0 ± 3.2 ^{g*}	34.8 ± 3.0 ^{e*}	0.32 ± 0.07 ^b

Letras diferentes indican diferencia estadística significativa entre tratamientos. * indican diferencia estadística significativa con respecto al control (tabla original).

Para la formulación de las bebidas el cambio de color en las harinas extrudidas no es de interés, ya que el extracto de jamaica enmascara el color de la harina. Sin embargo, el color fue medido para evidenciar las reacciones de Maillard y reacciones de oscurecimiento producto de la degradación de los compuestos fenólicos, además la medición de color puede resultar interesante a la hora de elegir un tratamiento para la elaboración de otros productos alimentarios (pastas, sopas y purés) o bien otras aplicaciones industriales.

De los tratamientos aplicados, el que ha resultado de interés para la formulación de la bebida, debido a su alto porcentaje de almidón resistente (14.22 % bs), su alto contenido de compuestos fenólicos (548.15 mg EAG/g) y una elevada capacidad antioxidante (ABTS: 276.68 y DPPH: 102.69 μM eq de Trolox/g) es el tratamiento con temperatura de alimentación de 40 °C, temperatura de extrusión de 100 °C, una velocidad de tornillo de 12 rpm y una humedad inicial del 30 %.

Se evidencia también que el proceso de refrigeración incrementa el porcentaje de almidón resistentes y modifica las características reológicas de la harina.

5.3 Formulación de la bebida y análisis sensorial

5.3.1 Formulación de la bebida

Usando el tratamiento antes descrito (tratamiento 100-40-12-30) se realizó la formulación de la bebida, para la cual se usó de base un diseño de mezclas axial, teniendo como ingredientes, la harina de camote con almidón resistente, el extracto de cáliz de jamaica y el jugo de pimiento morrón. El diseño, así como la proporción de las formulaciones se presentan en la Figura 1 y en la Tabla 4, con estas formulaciones se realizó una evaluación sensorial a 12 personas, a quienes se les preguntaba si la bebida les agradaba, si la respuesta era “no me agrada”, se les preguntaba que modificaciones le realizarías. Con las respuestas obtenidas se concluyó que a 8 de los 12 panelistas les desagradaban las formulaciones,

describiéndolas como muy ácidas, con un sabor marcado a pimiento morrón y camote; y con una consistencia granulosa poco agradable; estas observaciones fueron tomadas en cuenta y se procedió a diluir el extracto de jamaica al 70 %, y además se adicionó edulcorante (Stevia 3.7 g/100 g y Eritritol 95 g/100 g), con lo cual se disminuyó la acidez sin llegar al resabio. También se disminuyó el tamaño de partícula de la harina de camote con almidón resistente, con el fin de mejorar la textura de la bebida y la estabilidad de la suspensión. El diseño axial secundario se presenta en la Tabla 17.

Tabla 17 Diseño axial de mezclas para la bebida formulada.

Formulación	AR (%)	Extracto de jamaica (%)	Pimiento morrón (%)	Edulcorante (%)
1	2.0	95.9	2.0	0.1
2	5.7	92.2	2.0	0.1
3	2.0	87.9	10.0	0.1
4	5.7	84.2	10.0	0.1
5	4.0	89.9	6.0	0.1

(Tabla original).

5.3.2 Evaluación sensorial de la bebida formulada

El objetivo de esta evaluación sensorial fue la de seleccionar una de las formulaciones, con una formulación seleccionada se procedió al estudio de vida de anaquel sensorial.

En la evaluación sensorial se tuvo la participación de 53 consumidores (35 mujeres y 18 hombres) con un rango de edad de los 18 a los 50 años, siendo la mayor proporción los consumidores de 19 a 24 años. Las formulaciones fueron envasadas en botellas de vidrio ámbar de 330 ml con corcholata y almacenadas a

4 °C, las bebidas cumplieron con los parámetros microbiológicos establecidos por la NOM-218-SSA1-2011.

De las formulaciones sometidas a la evaluación sensorial la elegida por las mujeres fue la formulación 1 y la formulación preferida por los hombres fue la formulación 3 seguida por la formulación 1 (Figura 23). De forma global la formulación 1 fue la seleccionada por los consumidores con una puntuación promedio de 6.8.

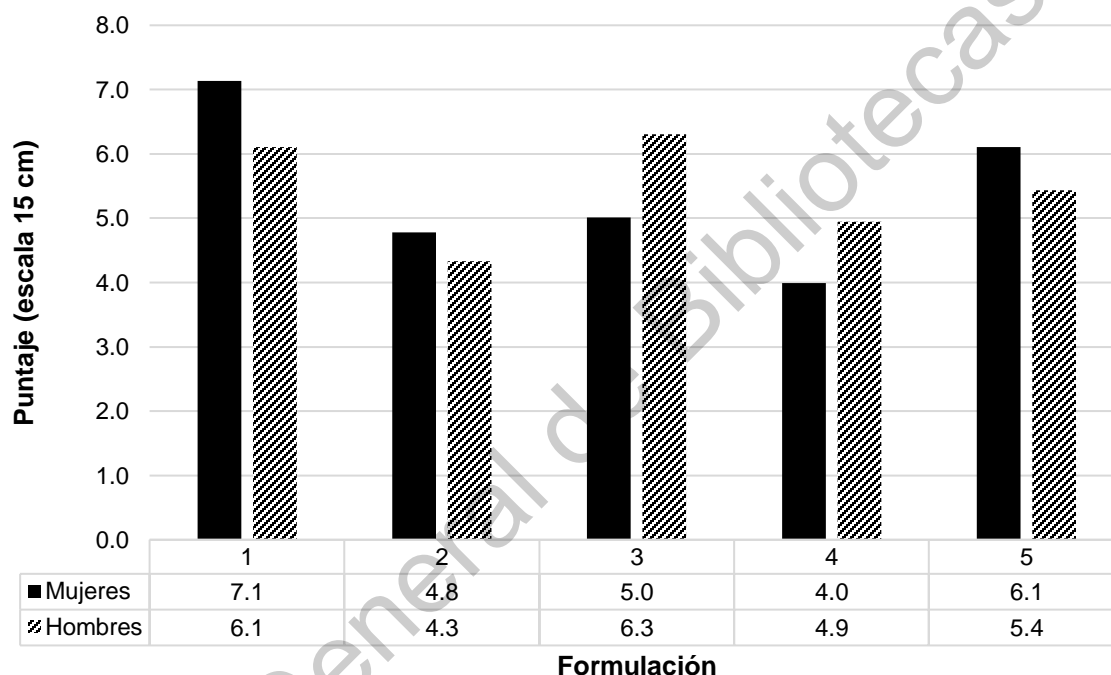


Figura 23 Respuesta de los consumidores (mujeres y hombres) a las formulaciones propuestas.

Para determinar el efecto de los componentes de la mezcla en la respuesta de los consumidores se correlacionó la respuesta de los consumidores con los componentes de las formulaciones del diseño axial y se ajustaron a un modelo lineal. La R^2 fue de 0.65, esto no nos permite obtener nuevas formulaciones dentro del diseño axial, pero permite observar cuales fueron los componentes de la mezcla que afectaron la respuesta de los consumidores de forma significativa.

El componente de la mezcla que más afectó la respuesta de los consumidores fue el extracto de jamaica, siendo preferidas aquellas formulaciones con un mayor porcentaje de jamaica, el segundo componente que afectó la respuesta de los consumidores es la harina de camote, en donde las formulaciones que tenían porcentajes menores de harina fueron las más aceptadas, el efecto del pimiento morrón en la mezcla pareció no afectar la respuesta de los consumidores, sin embargo, la presencia de pimiento fue criticada por muchos de los panelistas (Figura 24).

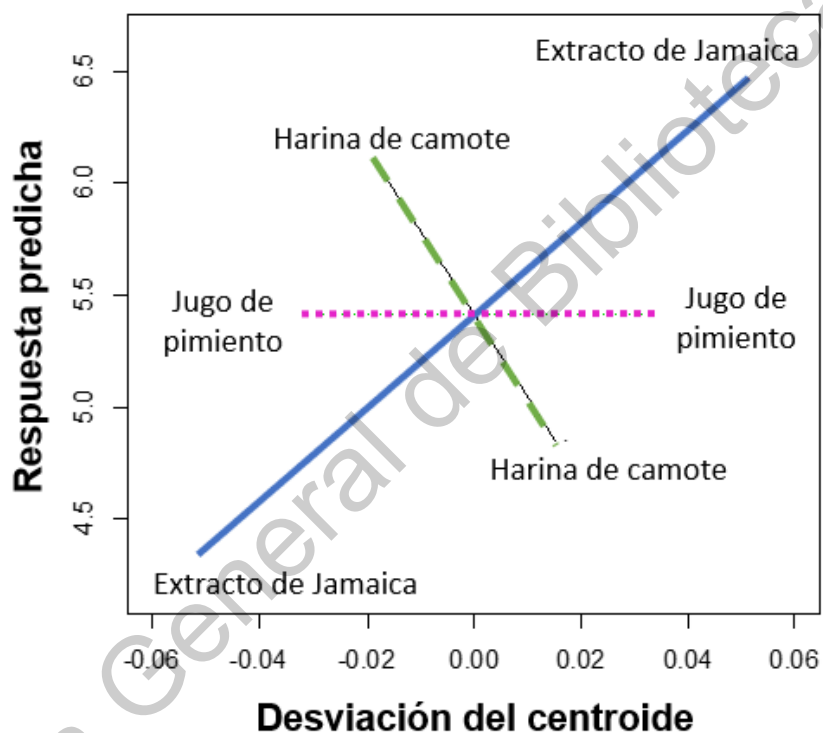


Figura 24 Efecto de los componentes de la mezcla en la respuesta de los consumidores.

Debido a que la cantidad de edulcorante en las formulaciones no fue alterada, no se puede concluir sobre su efecto en la formulación, además el concepto de esta bebida no logró correlacionarse con algún otro producto existente en el mercado, por lo que, los consumidores tendieron a relacionar la bebida con el agua con extracto de jamaica y sacarosa, lo que explica la calificación de las

formulaciones y la inclinación de los consumidores por aquellas formulaciones con un porcentaje de extracto de jamaica mayor.

Con la formulación 1 seleccionada se procedió a realizar la vida de anaquel sensorial de la bebida, sin embargo, durante esta etapa la formulación elegida presentó un rechazo del 80 % por lo que se procedió a reformular la bebida.

Para la reformulación de la bebida y basados en la formulación 1 elegida con anterioridad, se planteó que la reformulación de la bebida podría seguir cuatro caminos, una formulación dulce, una formulación agridulce, una formulación picosa y una formulación salada. Después de probar algunas formulaciones orientadas en estos cuatro caminos, lo más aceptado fue una formulación dulce, debido a su parecido con el agua de jamaica, además, se consideró que era necesario enmascarar el sabor y olor a pimienta morrón, y mantener el concepto de bebida baja en calorías, por lo que se propusieron tres formulaciones, en donde usando la formulación 1 de la Tabla 17 como base se adiciono jugo de uva, jugo de durazno y jugo de ciruela para enmascarar el sabor del pimienta morrón y aportar dulzor a la bebida sin producir un resabio en la misma (Tabla 18).

Tabla 18 Reformulación de bebida baja en calorías.

Ingrediente/Formulación	1	2	3
Extracto de jamaica (12%) (%)	77.2	73.0	77.8
Jugo de pimienta (%)	1.6	1.52	1.6
Harina de camote con AR (%)	1.6	1.52	1.6
Stevia (%)	0.14	0.14	0.14
Jugo de uva (%)	19.44	8.7	9.6
Jugo de durazno (%)	0.0	7.8	9.3
Jugo de ciruela (%)	0.0	7.3	0.0

(Tabla original)

Los duraznos, las uvas y las ciruelas fueron conseguidas en la central de abastos de la ciudad de Querétaro. Las uvas usadas fueron blancas sin pepitas, las ciruelas de la variedad Santa Rosa y los duraznos fueron de la variedad chihuahua. Todas las frutas se lavaron y desinfectaron, deshuesaron y molieron, usando una relación 400 g de fruta 200 ml de agua potable. Solamente el jugo de uva fue el

único que se coló para separar la cáscara, una vez obtenida la pulpa y el jugo se almacenaron en un vaso de polipropileno transparente a 4 °C hasta su uso.

Las tres formulaciones fueron sometidas a una evaluación sensorial se tuvo la participación de 36 consumidores (24 mujeres y 12 hombres) con un rango de edad de los 21 a los 37 años, siendo la mayor proporción los consumidores de 21 a 26 años. Las formulaciones fueron envasadas en botellas de vidrio ámbar de 330 ml con corcholata y almacenadas a 4 °C, las bebidas cumplieron con los lineamientos microbiológicos establecidos por la NOM-218-SSA1-2011.

De las formulaciones sometidas a la evaluación sensorial las elegidas por los consumidores fueron la formulación 2 y 3 con una puntuación de 8.9 ± 3.8 y 8.5 ± 4.0 respectivamente. Para las mujeres las mejores formulaciones fueron la formulación 2 y 3, las formulaciones preferidas por los hombres fueron la formulación 2 y 3 (Figura 25 y Figura 26).

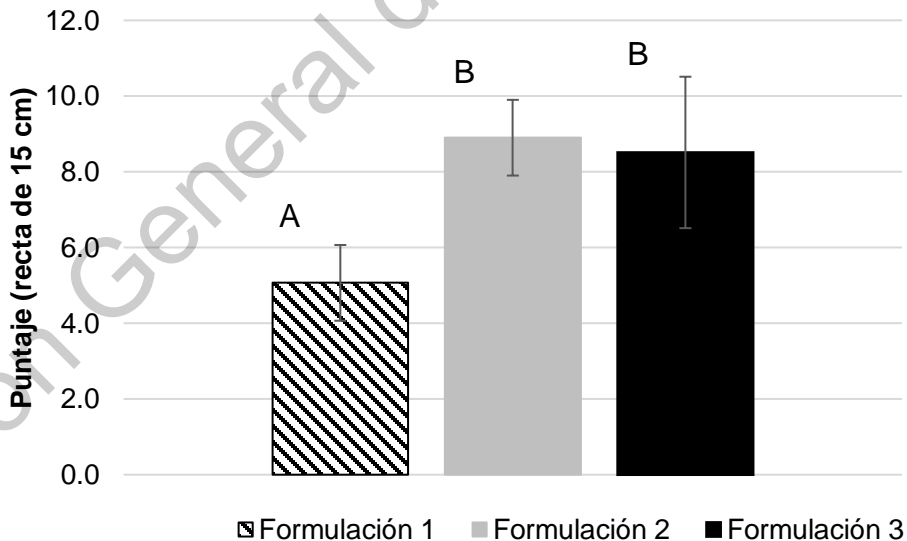


Figura 25 Respuesta de los consumidores a las formulaciones de la bebida. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa entre las formulaciones.

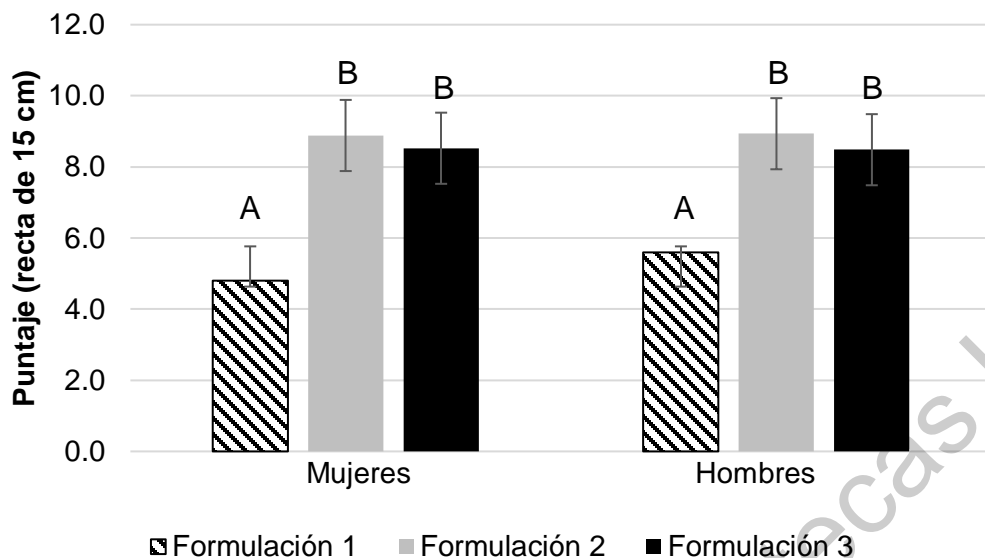


Figura 26 Respuesta de los consumidores (mujeres y hombres) a las formulaciones de la bebida. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa entre las formulaciones.

Al realizar una prueba de Tukey con un nivel de confianza del 95 % la formulación 2 y la formulación 3 no son estadísticamente diferentes y observado la puntuación de ambas tampoco son prácticamente diferentes, ni de forma global ni bajo la perspectiva de género, por lo que cualquier formulación puede ser elegida. Sin embargo y debido a la facilidad que representa conseguir la materia prima se eligió la formulación 3, que además presenta la ventaja de reducir los sólidos insolubles provenientes de la cáscara de la ciruela, lo que le da una mejor textura según la descripción de algunos consumidores.

5.4 Vida de anaquel sensorial

Transcurridas las cuatro semanas de almacenamiento a 4 °C se realizó la evaluación sensorial para todos los tiempos de almacenamiento (Tabla 19), se observa que para el tiempo cero, es decir la bebida sin almacenamiento, un gran número de consumidores rechazó la bebida y tras analizar los resultados con la función "sslife" se observa que de los 50 consumidores solo 17 son tomados en cuenta para estimar la vida de anaquel sensorial bajo una distribución logarítmica normal (Tabla 20 y Tabla 21), ya que esta distribución fue la que presentó un mejor

valor de verosimilitud (20.7). Para el resto de modelos los valores de verosimilitud se presentan en la Tabla 21. Estos 17 consumidores son aquellos que según la función “sslife” no presentan una censura de intervalo, es decir no rechazan la bebida en el tiempo cero.

El análisis permitió estimar la vida de anaquel de la bebida con un porcentaje de rechazo al 10, 25 y 50 %, (Tabla 22) estimando que para llegar a un 25 % de rechazo se necesitan de 5 a 19 días, este tiempo es corto considerando que otras bebidas pasteurizadas y refrigeradas tienen tiempos de vida de anaquel de más de 90 días ((«StillTasty.com | How Long to Keep / Best Way to Store Condiments and Oils», s. f.)) y se debe a que la bebida no es muy bien aceptada por los consumidores. Comparando este tiempo de almacenamiento de la bebida con el tiempo de aceptabilidad para bebidas hechas con jamaica, el tiempo de almacenamiento es inferior, 19 días comparado con 28 días, que es el tiempo de almacenamiento de una bebida de jamaica (Ramírez et al., 2012; Villaniet al., 2013).

Tabla 19 Datos obtenidos para la vida de anaquel sensorial de la bebida.

Consumidor	T0	T1	T2	T3	T4	Consumidor	T0	T1	T2	T3	T4
1	no	si	no	si	no	26	si	no	si	si	no
2	no	si	no	no	si	27	si	no	si	no	si
3	no	no	si	si	no	28	no	no	si	no	si
4	no	no	no	si	si	29	no	no	no	si	si
5	si	no	no	no	no	30	no	si	si	si	no
6	no	si	no	si	si	31	no	no	si	no	si
7	si	si	no	no	si	32	no	no	no	si	si
8	no	no	no	si	si	33	no	no	si	si	si
9	no	no	no	no	si	34	no	no	no	no	no
10	si	si	no	no	no	35	no	si	no	no	no
11	no	no	si	si	no	36	no	si	si	no	no
12	si	si	si	no	no	37	no	si	no	si	no
13	no	no	si	si	si	38	no	si	si	no	no
14	si	no	no	si	si	39	si	si	no	si	no
15	no	si	no	si	si	40	no	si	no	no	no
16	si	no	no	no	si	41	si	si	no	si	si
17	no	si	no	no	si	42	si	no	no	no	no
18	no	no	si	si	no	43	no	no	no	no	no
19	no	no	si	si	no	44	no	no	no	no	no
20	si	si	no	no	no	45	si	si	si	si	si
21	si	si	no	no	no	46	no	no	no	no	no
22	si	no	no	si	si	47	si	si	no	no	no
23	si	si	no	si	no	48	no	no	no	si	si
24	no	no	si	si	no	49	no	no	si	no	si
25	no	no	no	no	no	50	no	no	si	no	no

(Tabla original)

Tabla 20 Consumidores tomados en cuenta para el análisis de vida sensorial de anaquel.

Consumidor	Límite superior	Límite inferior	Tipo de censura	Tiempo (Semanas)
5	48	48	Izquierda	2
7	48	48	Derecha	0
10	48	48	Derecha	0
12	48	48	Derecha	0
14	48	48	Izquierda	2
16	48	48	Izquierda	2
20	48	48	Derecha	0
21	48	48	Derecha	0
22	48	48	Izquierda	2
23	48	48	Derecha	0
26	48	48	Izquierda	2
27	48	48	Izquierda	2
39	48	48	Derecha	0
41	48	48	Derecha	0
42	48	48	Izquierda	2
45	48	48	Derecha	0
47	48	48	Derecha	0

(Tabla original)

Tabla 21 Valores de verosimilitud para los distintos modelos de vida de anaquel sensorial.

Modelo	Verosimilitud
Logistic	22.6
Gaussiano	22.5
Weibull	21.2
Loglogistic	20.8
Logarítmico	20.7
Exponencial	21.3

(Tabla original)

Tabla 22 Tiempo estimado de vida de anaquel y porcentaje de rechazo de la bebida.

Porcentaje de rechazo	Tiempo estimado (días)	Límite inferior (días)	Límite superior (días)	Error
10	5.01115	1.994134	12.59274	2.355893
25	9.738346	5.046642	18.79178	3.266064
50	20.374305	11.195531	37.07839	6.22414

(Tabla original)

El porcentaje de rechazo frente al tiempo de almacenamiento se presenta en la Figura 27 y se obtuvo usando usando la función de Excel para la distribución logarítmica de DISTR.LOG.NORM (t, μ, σ), donde t es el tiempo en días, μ, σ son los parametros del modelo que equivalen a 3 y 1.1 respectivamente. Con este modelo, se determinó la ecuación para el rechazo del producto bajo las condiciones de almacenamiento, obteniendo la siguiente ecuación:

$$y = 0.2648\ln(x) - 0.2671 \text{ con una } R^2=0.97.$$

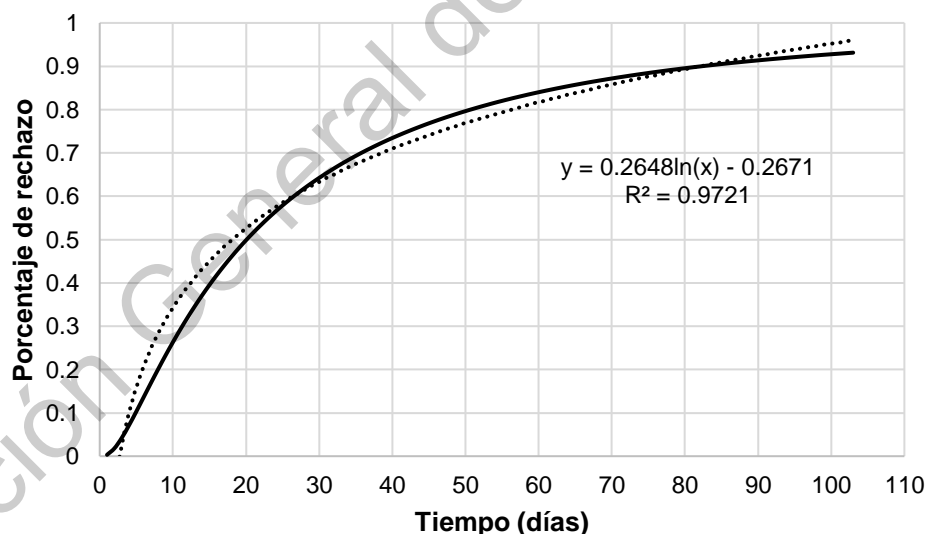


Figura 27 Porcentaje de rechazo de los consumidores frente al tiempo de almacenamiento a 4 °C en botella de vidrio ámbar de 330 ml, bajo una distribución logarítmica.

Cabe mencionar que a pesar de obtener una vida de anaquel sensorial esta puede estar subestimada o sobreestimada, ya que, retomando la respuesta de los

50 consumidores durante la evaluación sensorial, la bebida parece ser más aceptada conforme transcurre el tiempo de almacenamiento sin que aún sea aceptada completamente por el consumidor (Figura 28), nuevamente es notorio que la bebida es un producto nuevo que carece de identidad en el mercado y que según comentarios de los consumidores tonos de sabor como el pimienta o la acidez del extracto de jamaica producen el rechazo de la bebida.

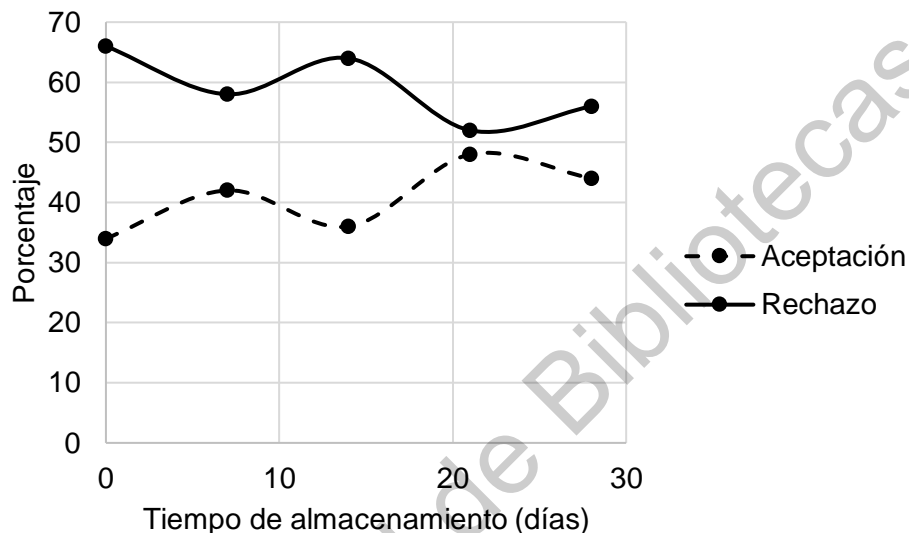


Figura 28 Porcentaje de rechazo y aceptación de los 50 consumidores durante el tiempo de almacenamiento.

5.4.1 Vida sensorial de anaquel según el género de los consumidores

Al realizar el análisis entre el porcentaje de rechazo durante los 28 días de almacenamiento, con respecto al género de los consumidores; se puede observar que con un valor $\chi^2_{prob100}$ (valor de significancia de la covariable, en este caso el género) igual a 0.22, el género es significativo para el ajuste del modelo, así, la vida de anaquel varía al analizar los datos sin tomar en cuenta el género y tomándolo en cuenta.

Se puede observar, que para las mujeres la vida de anaquel del producto es menor en cualquier porcentaje de rechazo, por lo que es más probable que los

hombres acepten el producto con un mayor tiempo de almacenamiento (Figura 29 y Tabla 23). El cálculo de los valores de μ y σ se presenta a continuación:

Para las mujeres

$$\mu = \beta_0 + \beta_1 Z = 4.061 + 1 \times -1.6 = 2.46$$

Para los hombres

$$\mu = \beta_0 + \beta_1 Z = 4.061 + 0 \times 0 = 4.061$$

Con $\sigma = 0.77$ para ambos grupos

El tiempo de almacenamiento de la bebida para las mujeres con un 25 % de rechazo, sería de 3 a 12 días; y para los hombres sería de 13 a 85 días. La diferencia en el tiempo de almacenamiento para hombres y para mujeres se debe al número de consumidores de cada género, teniendo más mujeres que hombres, por lo que el tiempo estimado de almacenamiento para hombres requiere de más panelistas para poder concluir al respecto. El tiempo de almacenamiento de la bebida (independiente del género) es muy corto comparado con el tiempo de almacenamiento para otras bebidas azucaradas no lácteas (considerando el tiempo estimado), esto se puede atribuir al alto porcentaje de rechazo que tuvo la bebida sin almacenamiento (tiempo cero), en donde de 50 consumidores solo 17 se usaron para estimar la vida de anaquel, por lo que se propone que para futuros trabajos sea tomado en cuenta la aceptabilidad general de la bebida después de haber elegido la formulación.

Tabla 23 Tiempo estimado de vida de anaquel y porcentaje de rechazo de la bebida para mujeres y hombres.

Mujeres				
Porcentaje de rechazo	Tiempo estimado (días)	Límite inferior (días)	Límite superior (días)	Error
10	4.4	2.0	9.7	1.8
25	7.0	3.8	12.9	2.2
50	11.7	7.0	19.6	3.1
Hombres				
Porcentaje de rechazo	Tiempo estimado (días)	Límite inferior (días)	Límite superior (días)	Error
10	21.6	8.9	52.5	9.8
25	34.5	13.9	85.8	16.0
50	58.1	20.8	162.1	30.4

(Tabla original)

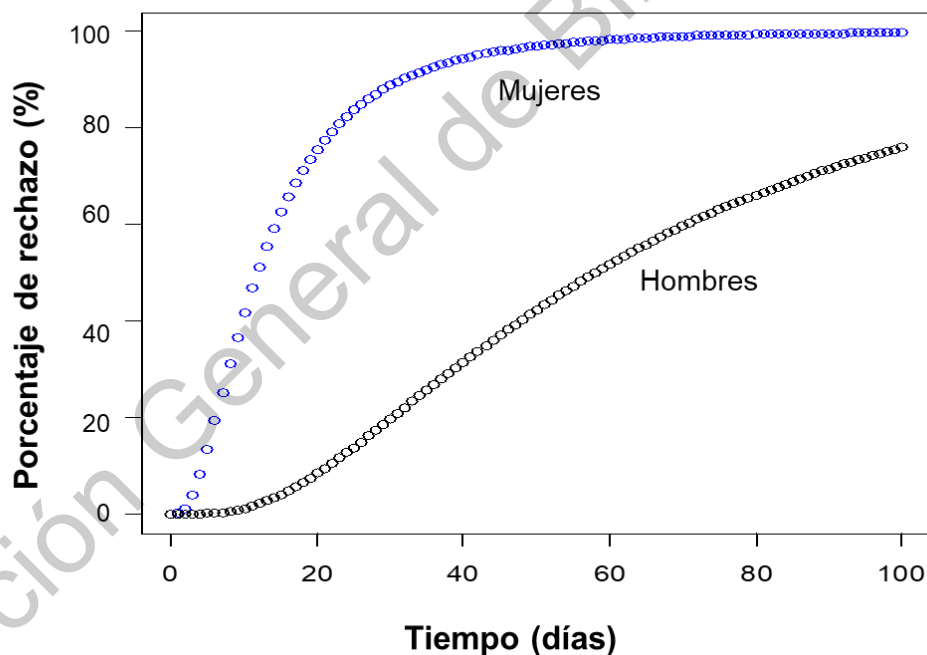


Figura 29 Porcentaje de rechazo de los consumidores frente al tiempo de almacenamiento a 4 °C en botella de vidrio ámbar de 330 ml, bajo una distribución logarítmica para mujeres y hombres.

Además de la aceptación sensorial se midieron las características fisicoquímicas (pH, cambio total de color y sólidos solubles totales), la capacidad antioxidante por ABTS y DPPH, compuestos fenólicos totales, antocianinas totales,

azúcares reductores y la evaluación microbiológica para coliformes totales y bacterias mesófilas aerobias (BMA); los resultados se muestran en la Tabla 24.

Con respecto al pH, se puede observar que el cambio es estadísticamente significativo, sin embargo, en la práctica este cambio en el pH no es perceptible por el consumidor, con respecto a los azúcares reductores presentes los cambios no son estadísticamente significativos, sin embargo, el aumento en la aceptación de la bebida en el día 21 pueda correlacionarse con el incremento en la concentración de azúcares reductores, producto de la posible hidrólisis del almidón.

Con respecto a los sólidos solubles totales (SST) que presenta la bebida los cambios con respecto al tiempo son estadísticamente significativos, y se observa que para el día 28 es cuando más desciende, esto también se observa en los azúcares reductores.

Para los compuestos fenólicos, la capacidad antioxidante (ABTS y DPPH) y la concentración de antocianinas se observa que hay cambios significativos a partir de los 14 y 21 días de almacenamiento. Estos cambios se deben a la acidez de la bebida y a la inestabilidad de los compuestos fenólicos y antocianinas, esta inestabilidad se ha reportado para jugo de uva y para bebidas de jamaica (Ramírez et al., 2012).

Junto con el decremento de la concentración de los compuestos fenólicos y las antocianinas se observa que el cambio total de color cambia significativamente a partir de los 14 días donde el valor para el cambio total de color es 2.3, que es un cambio perceptible para el consumidor con respecto al color de la bebida en el tiempo cero (Gullett et al., 1972). En cuanto a los análisis microbiológicos la bebida es segura para el consumo hasta los 28 días, que fue el tiempo final evaluado, los valores para coliformes totales y BMA se encuentran por debajo de lo establecido por la norma NOM-218-SSA1-2011, que son 10 y 50 respectivamente. Se observa en la Tabla 24 que a partir del día 21 contamos con una unidad formadora de colonia por ml para BMA, sin embargo, debido a la técnica utilizada para el conteo este valor no es prácticamente significativo ni explica la disminución en los valores de azúcares reductores y sólidos solubles totales.

Tabla 24 Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la bebida durante el tiempo de almacenamiento.

Parámetro/ Tiempo (días)	0	7	14	21	28
pH	3.1 ± 0.007 ^{ab}	3.1 ± 0.007 ^{ab}	3.1 ± 0.007 ^b	3.2 ± 0.014 ^a	3.1 ± 0.014 ^b
Azúcares reductores	20.0 ± 3.4 ^a	19.6 ± 2.6 ^a	21.3 ± 1.0 ^a	23.6 ± 5.5 ^a	15.4 ± 2.5 ^a
°Bx	3.7 ± 0.1 ^a	3.7 ± 0.1 ^a	3.9 ± 0.1 ^a	3.3 ± 0.1 ^b	3.1 ± 0.1 ^b
Fenoles totales	484.2 ± 20.2 ^a	462.5 ± 7.1 ^{ab}	438.4 ± 14.1 ^b	324.6 ± 2.9 ^c	308.1 ± 11.0 ^c
Capacidad antioxidante (ABTS)	1815.9 ± 295.7 ^{ab}	2074.4 ± 181.5 ^a	1566.7 ± 136.0 ^{bc}	1110.4 ± 177.9 ^{bc}	1327.0 ± 45.9 ^c
Capacidad antioxidante (DPPH)	625.5 ± 52.4 ^a	495.2 ± 87.5 ^a	495.7 ± 115.3 ^a	199.3 ± 74.7 ^b	75.0 ± 8.2 ^b
Antocianinas totales	25.3 ± 1.5 ^a	25.3 ± 1.0 ^a	17.7 ± 1.1 ^b	8.3 ± 0.4 ^c	8.6 ± 0.8 ^c
Cambio total de color	0.0 ± 0.0 ^a	0.6 ± 0.2 ^a	2.3 ± 0.2 ^b	6.5 ± 0.3 ^c	7.0 ± 0.3 ^c
Coliformes totales	<3	<3	<3	<3	<3
Bacterias mesófilas aerobias	<1	<1	<1	1.0	1.0

(Tabla original)

5.4.2 Correlación entre degradación y vida sensorial de anaquel

Realizando la correlación entre la probabilidad de rechazo y los parámetros fisicoquímicos medidos, considerando una regresión lineal de primer orden; se puede observar que los compuestos fenólicos totales, la capacidad antioxidante (ABTS y DPPH), así como el contenido de antocianinas, son los únicos parámetros que tienen una correlación significativa con el modelo (Tabla 25). Se considera que a pesar de que el cambio total de color no se correlaciona estadísticamente de forma significativa, si refleja adecuadamente su cambio con la probabilidad de rechazo, debido a que el cambio de color se deriva de la degradación de los compuestos fenólicos y de las antocianinas (Tsai et al., 2002).

En las Figuras 29 a 32 se puede observar la línea de tendencia de para cada parámetro, la ecuación que describe el comportamiento y el valor de R² para los fenoles totales, la capacidad antioxidante (ABTS y DPPH) y la concentración de antocianinas totales. Considerando una probabilidad de rechazo del 25 % se considera que la concentración de compuestos fenólicos totales límite sería de 429.24 mg EAG/ ml, la capacidad antioxidante por ABTS sería de 1685.38 µM eq

TROLOX/ ml, la capacidad antioxidante por DPPH sería de 450.49 μM eq TROLOX/ ml y la concentración de antocianinas totales sería de 19.77 mg antocianina 3 glucósido/ ml. Comparando los valores de compuestos fenólicos, capacidad antioxidante y concentración de antocianinas con el tiempo de almacenamiento, este sería de 14, 10 y 15 días respectivamente.

Estos parámetros pueden ser usados para determinar la vida de anaquel sensorial para esta bebida, o bien de manera indirecta como resultado de la degradación de los compuestos fenólicos y antocianinas, se puede usar el cambio de color.

Tabla 25 Correlación entre los cambios fisicoquímicos de la bebida y la probabilidad de rechazo.

Parámetro	P valor
pH	0.516
Sólidos soluble totales	0.132
Azúcares reductores	0.557
Cambio total de color (ΔE)	0.2107
Fenoles totales	0.0096 *
Capacidad antioxidante (ABTS)	0.0407 *
Capacidad antioxidante (DPPH)	0.00526 *
Antocianinas totales	0.0036 *

(Tabla original)

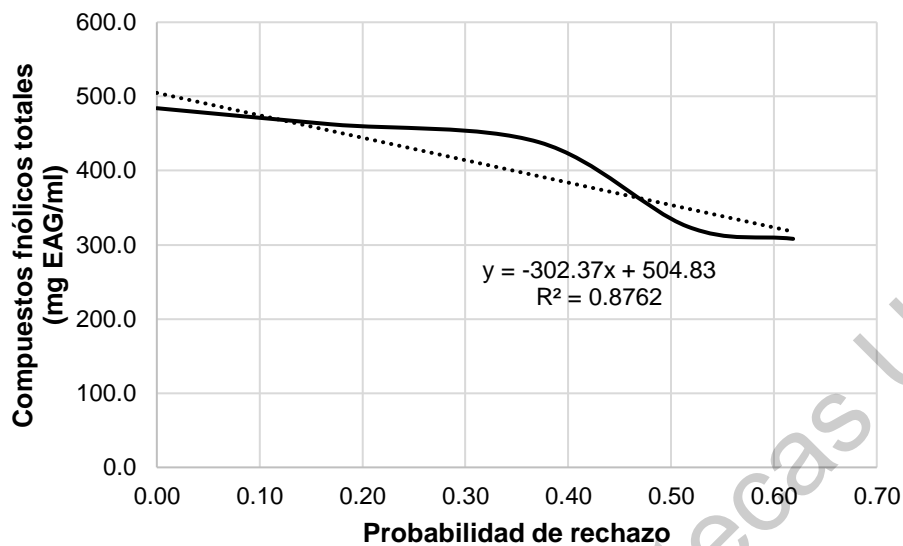


Figura 30 Correlación entre la concentración de compuestos fenólicos y la probabilidad de rechazo bajo un modelo lineal.

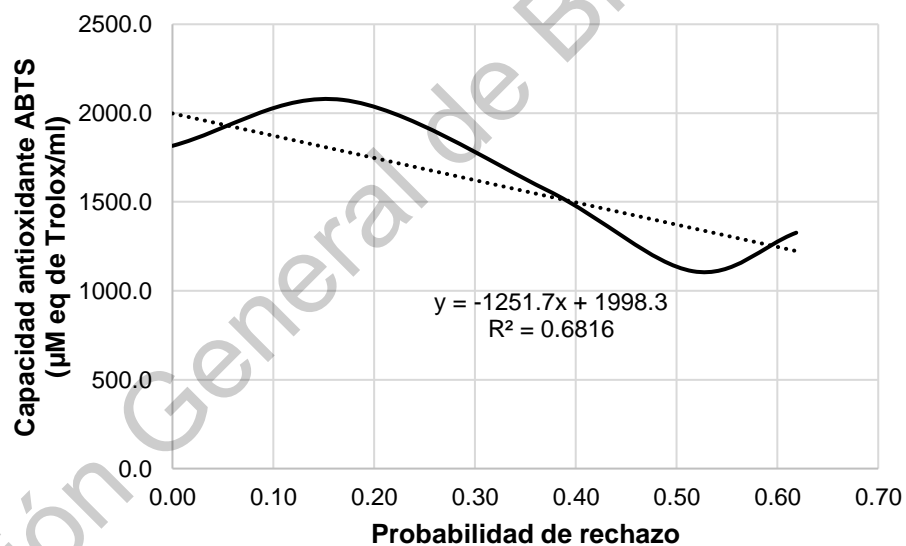


Figura 31 Correlación entre la capacidad antioxidante y la probabilidad de rechazo bajo un modelo lineal.

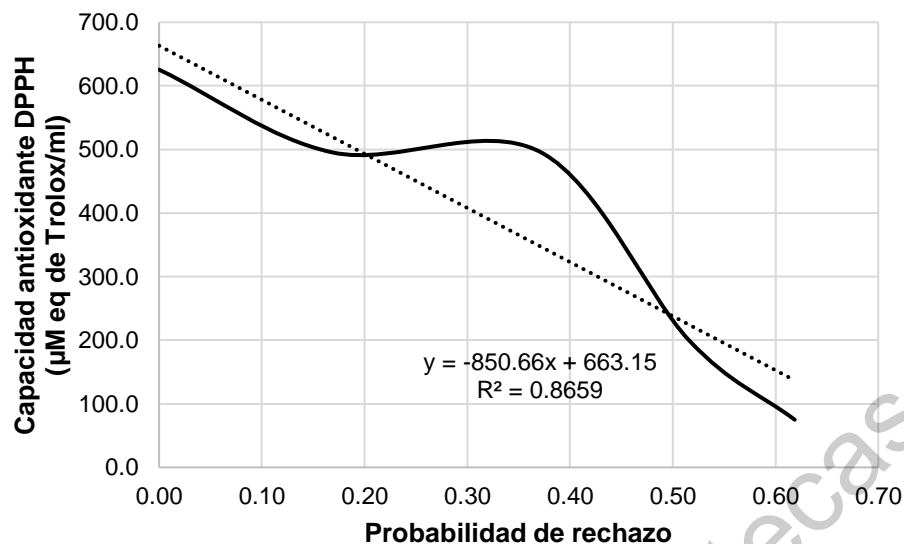


Figura 32 Correlación entre la capacidad antioxidante y la probabilidad de rechazo bajo un modelo lineal.

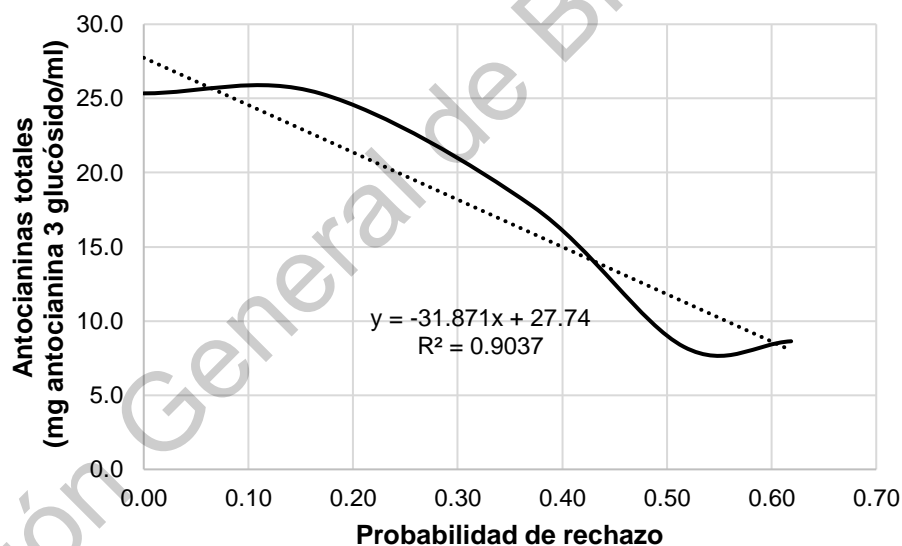


Figura 33 Correlación entre la concentración de antocianinas y la probabilidad de rechazo bajo un modelo lineal.

Durante el tiempo de almacenamiento se monitoreó la temperatura, la humedad relativa y la cantidad de luz dentro del refrigerador (Figuras 33 a 35). Durante el tiempo de almacenamiento se intentó simular las condiciones de almacenamiento como el de un local comercial, por lo que el refrigerador además de almacenar las bebidas se sometió a otros usos, con el propósito de que se

abriera y cerrara la puerta, permaneciera abierto por tiempos más prolongados, y la incidencia de luz variara.

Se puede observar que durante los 28 días de almacenamiento se tuvieron variaciones para la temperatura, la humedad y la cantidad de luz que incide en el interior del refrigerador, no se observa que se siga un patrón en algún parámetro y según los datos de la Tabla 24 los cambios producidos en la bebida no se asocian con alguna variación en la temperatura, la humedad o la cantidad de luz durante el tiempo de almacenamiento. Además, debido al envase de la bebida no se presentó intercambio de gases o materia y al usar un envase ámbar se limitó el efecto de la luz sobre la bebida.

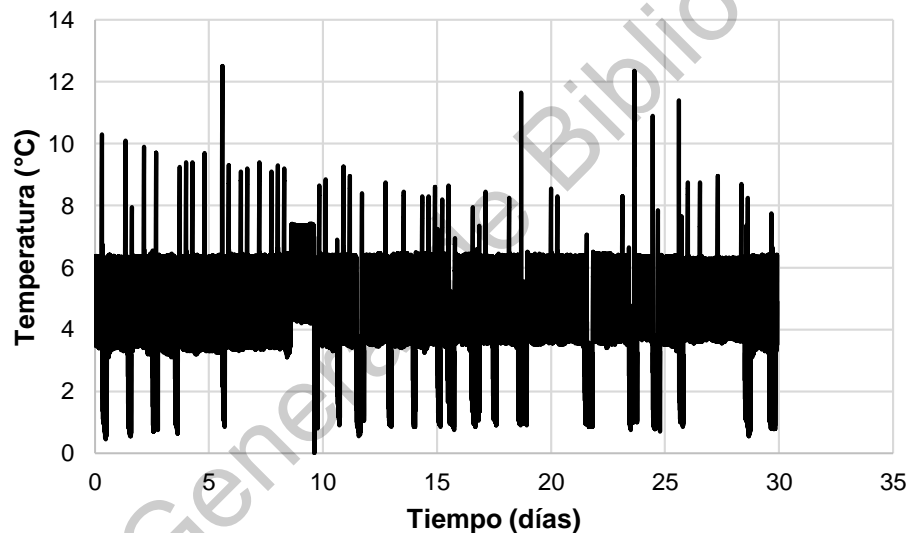


Figura 34 Temperatura promedio dentro del refrigerador durante el tiempo de almacenamiento de la bebida

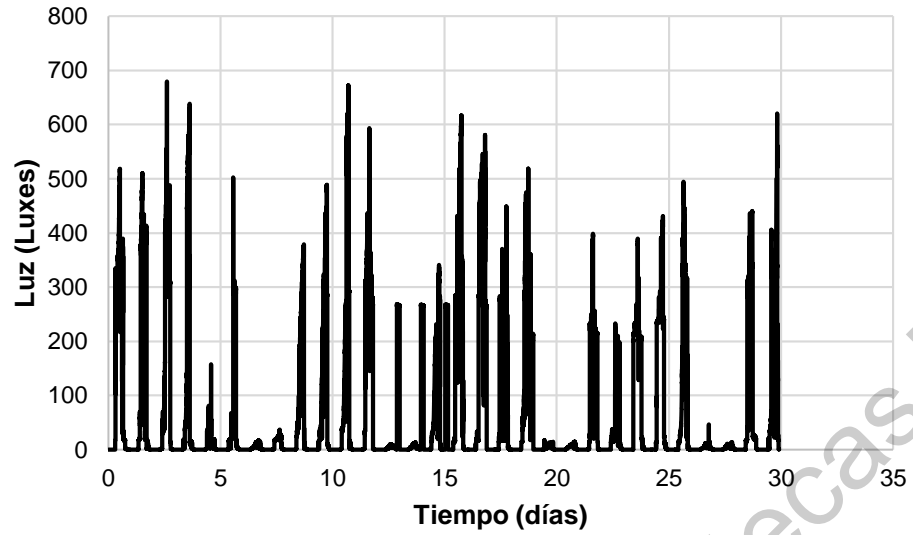


Figura 35 Cantidad de luz promedio dentro del refrigerador durante el tiempo de almacenamiento de la bebida.

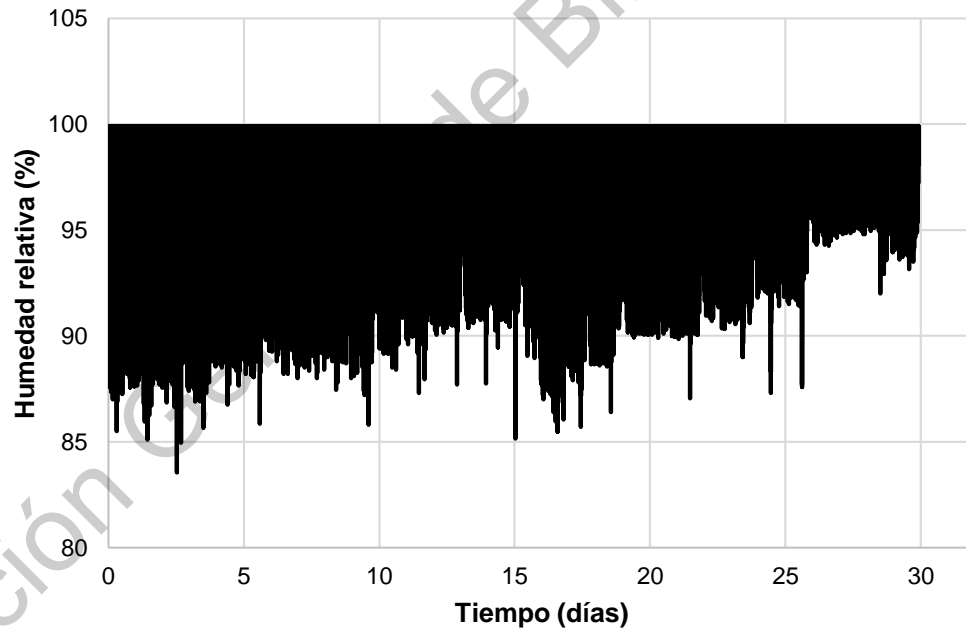


Figura 36 Humedad relativa promedio dentro del refrigerador durante el tiempo de almacenamiento de la bebida

5.4.3 Análisis bromatológico

El análisis bromatológico (Tabla 26) muestra que se alcanzó el objetivo de producir una bebida baja en calorías según la disposición de la NOM-086-SSA1-1994, en donde un producto bajo en calorías es aquel en donde su contenido calórico debe ser menor o igual a 40 calorías por porción, se observa que el contenido de fibra que posee la bebida no alcanza los niveles necesarios para considerarse como una bebida adicionada con fibra (2.5 g por porción) según la norma antes referida.

Tabla 26 Análisis bromatológico proximal para la bebida.

Nutrimento	Porción 100 ml
Grasa (g)	0.1 ± 0.03
Proteína (g)	0.1 ± 0.65
Carbohidratos (g)	2.0 ± 0.03
Cenizas (g)	0.3 ± 0.35
Fibra dietaria (g)	0.5 ± 0.17
Azúcares reductores (g)	2.0 ± 0.22
Energía (Cal)	10.2

(Tabla original)

6. CONCLUSIONES

El proceso de refrigeración después de la extrusión incrementa el porcentaje de AR en la harina integral de camote. Los factores que afectaron de forma importante el porcentaje de almidón resistente fueron la temperatura de extrusión, la velocidad del tornillo del extrusor y la temperatura de alimentación.

El índice de expansión, el volumen aparente, el índice de material soluble y el índice de absorción de agua de la harina fueron incrementados por la interacción de los cuatro factores durante el proceso de extrusión.

Las propiedades térmicas y reológicas de la harina se vieron afectadas por el proceso de extrusión. Demostrando la formación de estructuras cristalinas al hacer uso de la refrigeración después del proceso de extrusión.

El contenido de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante se vieron afectados por la temperatura de alimentación y la temperatura de extrusión; además de la humedad de la harina para la capacidad antioxidante por DPPH. Debido a que estos factores degradan a los compuestos responsables de la capacidad antioxidante. El proceso de refrigeración no afectó a el contenido de compuestos fenólicos ni a la capacidad antioxidante.

El proceso de extrusión produjo cambios en la harina de camote produciendo un cambio total de color significativo, siendo L^* y b^* los parámetros de color más afectados, el cambio de color fue debido a la temperatura de extrusión y a la temperatura de alimentación.

Se obtuvo una bebida con los ingredientes propuestos, en donde el extracto de jamaica y la de harina de camote fueron los factores principales en la aceptación de la bebida. La bebida tuvo un bajo porcentaje de aceptación debido a la falta de correlación de la bebida con un producto del mercado, lo que condujo a una vida de anaquel sensorial muy corta.

La vida sensorial de anaquel de la bebida se vio afectada por el género del consumidor, siendo las mujeres las que le dan a la bebida un tiempo de vida de anaquel sensorial menor.

La bebida obtenida es baja en calorías, por lo que mejorando la aceptabilidad de la misma constituiría un producto que puede ayudar a combatir los problemas de obesidad y sobrepeso en la población.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

Perspectivas

Con la finalidad de ampliar las conclusiones que se pueden obtener de este trabajo se propone:

Incluir el análisis de los carotenoides presentes en las harinas, cuantificar y tipificar químicamente las antocianinas presentes en la harina y analizar la estabilidad de la harina a los cambios de temperatura para su posible uso en alimentos congelados.

Con respecto a la bebida, es necesario hacer mejoras en la formulación para hacerla más aceptable e incluir en el análisis de degradación los cambios estructurales y químicos de los compuestos fenólicos y antocianinas presentes en la bebida.

Con el fin de comprender mejor las diferencias sensoriales entre hombres y mujeres se propone igualar y aumentar el número de consumidores de ambos géneros y posteriormente realizar el análisis de correlación entre la vida de anaquel sensorial y los parámetros fisicoquímicos analizados.

7. REFERENCIAS

- Agustiniano-Osornio, J. C., González-Soto, R. A., Flores-Huicochea, E., Manrique-Quevedo, N., Sánchez-Hernández, L., & Bello-Pérez, L. A. (2005). Resistant starch production from mango starch using a single-screw extruder. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(12), 2105-2110. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2208>
- Altan, A., McCarthy, K. L., & Maskan, M. (2009). Effect of Extrusion Cooking on Functional Properties and in vitro Starch Digestibility of Barley-Based Extrudates from Fruit and Vegetable By-Products. *Journal of Food Science*, 74(2), E77-E86. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01051.x>
- Anderson, R. A., Conway, H. F., & Peplinski, A. J. (1970). Gelatinization of Corn Grits by Roll Cooking, Extrusion Cooking and Steaming. *Starch - Stärke*, 22(4), 130-135. <https://doi.org/10.1002/star.19700220408>
- Bello-Pérez, L. A., & Paredes-López, O. (2009). Starches of Some Food Crops, Changes During Processing and Their Nutraceutical Potential. *Food Engineering Reviews*, 1(1), 50-65. <https://doi.org/10.1007/s12393-009-9004-6>
- Bhat, R., & Karim, A. A. (2009). Impact of Radiation Processing on Starch. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 8(2), 44-58. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2008.00066.x>
- Birkett, A. M., Mathers, J. C., Jones, G. P., Walker, K. Z., Roth, M. J., & Muir, J. G. (2000). Changes to the quantity and processing of starchy foods in a Western diet can increase polysaccharides escaping digestion and improve in vitro

- fermentation variables. *British Journal of Nutrition*, 84(01), 63-72.
<https://doi.org/10.1017/S0007114500001240>
- Birt, D. F., Boylston, T., Hendrich, S., Jane, J.-L., Hollis, J., Li, L., ... Whitley, E. M. (2013). Resistant Starch: Promise for Improving Human Health. *Advances in Nutrition*, 4(6), 587-601. <https://doi.org/10.3945/an.113.004325>
- Borba, A. M., Sarmiento, S. B. S., & Leonel, M. (2005). Efeito dos parâmetros de extrusão sobre as propriedades funcionais de extrusados da farinha de batata-doce. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 25(4), 835-843.
<https://doi.org/10.1590/S0101-20612005000400034>
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 25-30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Calvillo, A., Espinosa, F., Macari, M., Platas, S. M., & Rojas, D. (2016). ANÁLISIS DE LA ESTRATEGIA NACIONAL PARA LA PREVENCIÓN Y EL CONTROL DEL SOBREPESO, LA OBESIDAD Y LA DIABETES. 32.
- Chung, H.-J., & Liu, Q. (2009). Effect of Gamma Irradiation on Molecular Structure and Physicochemical Properties of Corn Starch. *Journal of Food Science*, 74(5), C353-C361. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01159.x>
- Ding, Q.-B., Ainsworth, P., Plunkett, A., Tucker, G., & Marson, H. (2006). The effect of extrusion conditions on the functional and physical properties of wheat-based expanded snacks. *Journal of Food Engineering*, 73(2), 142-148.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.01.013>
- dos Santos, T. P. R., Franco, C. M. L., do Carmo, E. L., Jane, J., & Leonel, M. (2019). Effect of spray-drying and extrusion on physicochemical characteristics of

- sweet potato starch. *Journal of Food Science and Technology*, 56(1), 376-383. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3498-y>
- Dupuis, J. H., Liu, Q., & Yada, R. Y. (2014). Methodologies for Increasing the Resistant Starch Content of Food Starches: A Review: Methods for increasing resistant starch.... *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(6), 1219-1234. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12104>
- Englyst, H., Wiggins, H. S., & Cummings, J. H. (1982). Determination of the non-starch polysaccharides in plant foods by gas-liquid chromatography of constituent sugars as alditol acetates. *The Analyst*, 107(1272), 307. <https://doi.org/10.1039/an9820700307>
- Faraj, A., Vasanthan, T., & Hoover, R. (2004). The effect of extrusion cooking on resistant starch formation in waxy and regular barley flours. *Food Research International*, 37(5), 517-525. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2003.09.015>
- González-Cruz, L., Montañez-Soto, J. L., Conde-Barajas, E., Negrete-Rodríguez, M. de la L. X., Flores-Morales, A., & Bernardino-Nicanor, A. (2018). Spectroscopic, calorimetric and structural analyses of the effects of hydrothermal treatment of rice beans and the extraction solvent on starch characteristics. *International Journal of Biological Macromolecules*, 107, 965-972. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.09.074>
- Gullett, E. A., Francis, F. J., & Clydesdale, F. M. (1972). Colorimetry of Foods 5. Tang. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 5(1), 32-36. [https://doi.org/10.1016/S0315-5463\(72\)74063-8](https://doi.org/10.1016/S0315-5463(72)74063-8)
- Guo, K., Liu, T., Xu, A., Zhang, L., Bian, X., & Wei, C. (2019). Structural and functional properties of starches from root tubers of white, yellow, and purple

sweet potatoes. *Food Hydrocolloids*, 89, 829-836.

<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.11.058>

Hagenimana, A., Ding, X., & Fang, T. (2006). Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking. *Journal of Cereal Science*, 43(1), 38-46.

<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2005.09.003>

Hasjim, J., & Jane, J. (2009). Production of Resistant Starch by Extrusion Cooking of Acid-Modified Normal-Maize Starch. *Journal of Food Science*, 74(7), C556-C562.

<https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01285.x>

Hoover, R. (2001). Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: A review. *Carbohydrate Polymers*, 45(3), 253-267.

[https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(00\)00260-5](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(00)00260-5)

Hough, G., Langohr, K., Gomez, G., & Curia, A. (2003). Survival Analysis Applied to Sensory Shelf Life of Foods. *Journal of Food Science*, 68(1), 359-362.

<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb14165.x>

Huang, D., Ou, B., & Prior, R. L. (2005). The Chemistry behind Antioxidant Capacity Assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(6), 1841-1856.

<https://doi.org/10.1021/jf030723c>

Jeon, G., Choi, Y., Lee, S.-M., Kim, Y., Jeong, H.-S., & Lee, J. (2010). Anti-obesity activity of methanol extract from hot pepper (*Capsicum annuum* L.) seeds in 3T3-L1 adipocyte.

Food Science and Biotechnology, 19(4), 1123-1127.

<https://doi.org/10.1007/s10068-010-0160-5>

Kadan, R. S., Bryant, R. J., & Pepperman, A. B. (2003). Functional Properties of Extruded Rice Flours. *Journal of Food Science*, 68(5), 1669-1672.

<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb12311.x>

- Kawai, K., Takato, S., Sasaki, T., & Kajiwara, K. (2012). Complex formation, thermal properties, and in-vitro digestibility of gelatinized potato starch–fatty acid mixtures. *Food Hydrocolloids*, 27(1), 228-234. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.07.003>
- Kim, N.-H., & Park, S. H. (2015). Evaluation of green pepper (*Capsicum annuum* L.) juice on the weight gain and changes in lipid profile in C57BL/6 mice fed a high-fat diet: Assessment of green pepper juice on weight gain. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(1), 79-87. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6685>
- Kitahara, K., Fukunaga, S., Katayama, K., Takahata, Y., Nakazawa, Y., Yoshinaga, M., & Suganuma, T. (2005). Physicochemical Properties of Sweetpotato Starches with Different Gelatinization Temperatures. *Starch - Stärke*, 57(10), 473-479. <https://doi.org/10.1002/star.200400349>
- Kucner, A., Papiewska, A., Klewicki, R., Sójka, M., & Klewicka, E. (2014). Influence of thermal treatment on the stability of phenolic compounds and the microbiological quality of sucrose solution following osmotic dehydration of highbush blueberry fruits. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 13(1), 79-88. <https://doi.org/10.17306/J.AFS.2014.1.7>
- Lopez-Rubio, A., Flanagan, B. M., Gilbert, E. P., & Gidley, M. J. (2008). A novel approach for calculating starch crystallinity and its correlation with double helix content: A combined XRD and NMR study. *Biopolymers*, 89(9), 761-768. <https://doi.org/10.1002/bip.21005>

- Malhotra, S. L. (1968). Epidemiological study of cholelithiasis among railroad workers in India with special reference to causation. *Gut*, 9(3), 290-295. <https://doi.org/10.1136/gut.9.3.290>
- Menegassi, B., Pílosóf, A. M. R., & Arêas, J. A. G. (2011). Comparison of properties of native and extruded amaranth (*Amaranthus cruentus* L. – BRS Alegria) flour. *LWT - Food Science and Technology*, 44(9), 1915-1921. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.04.008>
- Morales, P. A. K., González, M. G. V., & Kalb, M. M. Y. (2016a). *ENSANUT*. 151.
- Mu, T., Sun, H., Zhang, M., & Wang, C. (2017). *Sweet potato processing technology*. London: Academic Press.
- Nabubuya, A., Namutebi, A., Byaruhanga, Y., Narvhus, J., & Wicklund, T. (2012). Potential Use of Selected Sweetpotato (<i>Ipomea batatas&/i>) Varieties as Defined by Chemical and Flour Pasting Characteristics. *Food and Nutrition Sciences*, 03(07), 889-896. <https://doi.org/10.4236/fns.2012.37118>
- Nayak, B., Berrios, J. D. J., Powers, J. R., & Tang, J. (2011). Effect of Extrusion on the Antioxidant Capacity and Color Attributes of Expanded Extrudates Prepared from Purple Potato and Yellow Pea Flour Mixes. *Journal of Food Science*, 76(6), C874-C883. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02279.x>
- Nayak, B., Liu, R. H., Berrios, J. D. J., Tang, J., & Derito, C. (2011). Bioactivity of Antioxidants in Extruded Products Prepared from Purple Potato and Dry Pea Flours. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(15), 8233-8243. <https://doi.org/10.1021/jf200732p>

- Noda, T. (1998). Relationships between chain length distribution of amylopectin and gelatinization properties within the same botanical origin for sweet potato and buckwheat. *Carbohydrate Polymers*, 37(2), 153-158. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(98\)00047-2](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(98)00047-2)
- Nugent, A. P. (2005). Health properties of resistant starch. *Nutrition Bulletin*, 30(1), 27-54. <https://doi.org/10.1111/j.1467-3010.2005.00481.x>
- OMS | Obesidad. (2019, abril 22). Recuperado 22 de abril de 2019, de WHO website: <http://www.who.int/topics/obesity/es/>
- Patel, S. (2014). Hibiscus sabdariffa: An ideal yet under-exploited candidate for nutraceutical applications. *Biomedicine & Preventive Nutrition*, 4(1), 23-27. <https://doi.org/10.1016/j.bionut.2013.10.004>
- Pei-Ling, L., Qing, Z., Qun, S., Xiao-Song, H., & Ji-Hong, W. (2012). Effect of high hydrostatic pressure on modified noncrystalline granular starch of starches with different granular type and amylase content. *LWT*, 47(2), 450-458. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.02.005>
- Pérez-Ramírez, I. F., Castaño-Tostado, E., Ramírez-de León, J. A., Rocha-Guzmán, N. E., & Reynoso-Camacho, R. (2015). Effect of stevia and citric acid on the stability of phenolic compounds and in vitro antioxidant and antidiabetic capacity of a roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) beverage. *Food Chemistry*, 172, 885-892. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.126>
- Picó, C., Oliver, P., Priego, T., Sánchez, J., & Palou, A. (2006). *Alimentos funcionales y obesidad: Estrategias, eficacia y seguridad*. 20.

- Raigond, P., Ezekiel, R., & Raigond, B. (2015). Resistant starch in food: A review: Resistant starch in food. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(10), 1968-1978. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6966>
- Ramírez-Rodrigues, M. M., Plaza, M. L., Azeredo, A., Balaban, M. O., & Marshall, M. R. (2012). Phytochemical, sensory attributes and aroma stability of dense phase carbon dioxide processed Hibiscus sabdariffa beverage during storage. *Food Chemistry*, 134(3), 1425-1431. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.03.042>
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9-10), 1231-1237. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)
- Rideout, T. C., Liu, Q., Wood, P., & Fan, M. Z. (2008). Nutrient utilisation and intestinal fermentation are differentially affected by the consumption of resistant starch varieties and conventional fibres in pigs. *British Journal of Nutrition*, 99(5), 984-992. <https://doi.org/10.1017/S0007114507853396>
- Sajilata, M. G., Singhal, R. S., & Kulkarni, P. R. (2006). Resistant Starch? A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 5(1), 1-17. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2006.tb00076.x>
- Salazar Lopez, N. J., Loarca-Piña, G., Campos-Vega, R., Gaytán Martínez, M., Morales Sánchez, E., Esquerra-Brauer, J. M., ... Robles Sánchez, M. (2016a). The Extrusion Process as an Alternative for Improving the Biological Potential of Sorghum Bran: Phenolic Compounds and Antiradical and Anti-

Inflammatory Capacity. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2016, 1-8. <https://doi.org/10.1155/2016/8387975>

Sarawong, C., Schoenlechner, R., Sekiguchi, K., Berghofer, E., & Ng, P. K. W. (2014). Effect of extrusion cooking on the physicochemical properties, resistant starch, phenolic content and antioxidant capacities of green banana flour. *Food Chemistry*, 143, 33-39. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.07.081>

Sáyago-Ayerdi, S. G., Arranz, S., Serrano, J., & Goñi, I. (2007). Dietary Fiber Content and Associated Antioxidant Compounds in Roselle Flower (*Hibiscus sabdariffa* L.) Beverage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(19), 7886-7890. <https://doi.org/10.1021/jf070485b>

Sharma, P., Gujral, H. S., & Singh, B. (2012). Antioxidant activity of barley as affected by extrusion cooking. *Food Chemistry*, 131(4), 1406-1413. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.10.009>

Shu, X., Jiao, G., Fitzgerald, M. A., Yang, C., Shu, Q., & Wu, D. (2006). Starch Structure and Digestibility of Rice High in Resistant Starch. *Starch - Stärke*, 58(8), 411-417. <https://doi.org/10.1002/star.200600501>

Silva, L. R., Azevedo, J., Pereira, M. J., Valentão, P., & Andrade, P. B. (2013). Chemical assessment and antioxidant capacity of pepper (*Capsicum annuum* L.) seeds. *Food and Chemical Toxicology*, 53, 240-248. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2012.11.036>

Soison, B., Jangchud, K., Jangchud, A., Harnsilawat, T., Piyachomkwan, K., Charunuch, C., & Prinyawiwatkul, W. (2014). Physico-functional and antioxidant properties of purple-flesh sweet potato flours as affected by

extrusion and drum-drying treatments. *International Journal of Food Science & Technology*, 49(9), 2067-2075. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12515>

Stephen, A. M., Phillips, G. O., & Williams, P. A. (Eds.). (2006). *Food polysaccharides and their applications* (2nd ed). Boca Raton, FL: CRC/Taylor & Francis.

StillTasty.com | How Long to Keep / Best Way to Store Condiments and Oils. (s. f.).

Recuperado 18 de septiembre de 2019, de <https://www.stilltasty.com/searchitems/index/6>

Sui, Z., Shah, A., & BeMiller, J. N. (2011). Crosslinked and stabilized in-kernel heat-moisture-treated and temperature-cycled normal maize starch and effects of reaction conditions on starch properties. *Carbohydrate Polymers*, 86(4), 1461-1467. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.06.022>

Sung, J., Bang, M.-H., & Lee, J. (2015). Bioassay-guided isolation of anti-adipogenic compounds from defatted pepper (*Capsicum annum* L.) seeds. *Journal of Functional Foods*, 14, 670-675. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.02.043>

Thi Lan Khanh, P., Chittrakorn, S., Rutnakornpituk, B., Phan Tai, H., & Ruttarattanamongkol, K. (2018). Processing effects on anthocyanins, phenolic acids, antioxidant activity, and physical characteristics of Vietnamese purple-fleshed sweet potato flours. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(9), e13722. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13722>

Topping, D. L., Fukushima, M., & Bird, A. R. (2003). Resistant starch as a prebiotic and synbiotic: State of the art. *Proceedings of the Nutrition Society*, 62(01), 171-176. <https://doi.org/10.1079/PNS2002224>

- Trung, P. T. B., Ngoc, L. B. B., Hoa, P. N., Tien, N. N. T., & Hung, P. V. (2017). Impact of heat-moisture and annealing treatments on physicochemical properties and digestibility of starches from different colored sweet potato varieties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 105, 1071-1078. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.07.131>
- Truong, V.-D., McFeeters, R. F., Thompson, R. T., Dean, L. L., & Shofran, B. (2007). Phenolic Acid Content and Composition in Leaves and Roots of Common Commercial Sweetpotato (*Ipomea batatas* L.) Cultivars in the United States. *Journal of Food Science*, 72(6), C343-C349. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00415.x>
- Tsai, P.-J., McIntosh, J., Pearce, P., Camden, B., & Jordan, B. R. (2002). Anthocyanin and antioxidant capacity in Roselle (*Hibiscus Sabdariffa* L.) extract. *Food Research International*, 35(4), 351-356. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(01\)00129-6](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(01)00129-6)
- Villani, T., Juliani, H. R., Simon, J. E., & Wu, Q.-L. (2013). *Hibiscus sabdariffa*: Phytochemistry, Quality Control, and Health Properties. En H. R. Juliani, J. E. Simon, & C.-T. Ho (Eds.), *African Natural Plant Products Volume II: Discoveries and Challenges in Chemistry, Health, and Nutrition* (Vol. 1127, pp. 209-230). <https://doi.org/10.1021/bk-2013-1127.ch014>
- Waramboi, J. G., Gidley, M. J., & Sopade, P. A. (2014). Influence of extrusion on expansion, functional and digestibility properties of whole sweetpotato flour. *LWT - Food Science and Technology*, 59(2), 1136-1145. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.06.016>

Ye, J., Hu, X., Luo, S., Liu, W., Chen, J., Zeng, Z., & Liu, C. (2018). Properties of Starch after Extrusion: A Review. *Starch - Stärke*, 70(11-12), 1700110.

<https://doi.org/10.1002/star.201700110>

Zhang, T., & Oates, C. G. (1999). Relationship between α -amylase degradation and physico-chemical properties of sweet potato starches. *Food Chemistry*, 7.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

8. APÉNDICE

APÉNDICE A CRITERIOS DE SELECCIÓN PARA LOS ESTUDIOS

CRITERIOS DE INCLUSIÓN: Mujeres y hombres de 18 a 45 años de edad.

CRITERIOS DE EXCLUSIÓN: Sujetos menores o mayores al rango de edad establecido.

CRITERIOS DE ELIMINACIÓN: Fumadores, personas que hayan cepillado sus dientes o ingerido alimentos media hora antes de la evaluación sensorial, personas que presenten alergias a algún ingrediente que posea la bebida evaluada y personas con algún problema olfativo o del sentido del gusto y que les impida realizar la evaluación sensorial.

APÉNDICE B SOBRE EL CONSENTIMIENTO INFORMADO

ARTÍCULO 21: Para que el consentimiento informado se considere existente, el sujeto de investigación o, en su caso, su representante legal deberá recibir una explicación clara y completa, de tal forma que pueda comprenderla, por lo menos en los siguientes aspectos:

- I. La justificación y los objetivos de la investigación;
- II. Los procedimientos que vayan a usarse y su propósito, incluyendo la identificación de los procedimientos que son experimentales;
- III. Las molestias o los riesgos esperados;
- IV. Los beneficios que podrán observarse;
- V. Los procedimientos alternativos que pudieran ser ventajosos para el sujeto;
- VI. La garantía de recibir respuesta a cualquier pregunta y aclaración a cualquier duda acerca de los procedimientos, riesgos, beneficios y otros asuntos relacionados con la investigación y el tratamiento del sujeto;

VII. La libertad de retirar su consentimiento informado en cualquier momento y dejar de participar en el estudio, sin que por ello se creen prejuicios para continuar su cuidado y tratamiento;

VIII. La seguridad de que no se identificará al sujeto y que se mantendrá la confidencialidad de la información relacionada con su privacidad;

IX: El compromiso de proporcionarle información actualizada obtenida durante el estudio, aunque ésta pudiera afectar la voluntad del sujeto para continuar participando;

X. La disponibilidad de tratamiento médico y la indemnización a que legalmente tendría derecho, por parte de la institución de atención a la salud, en el caso de daños que la ameriten, directamente causados por la investigación, y

XI. Que, si existen gastos adicionales, éstos serán absorbidos por el presupuesto de la investigación.

ARTÍCULO 22: El consentimiento informado deberá formularse por escrito y deberá reunir los siguientes requisitos:

I. Será elaborado por el investigador principal, indicando la información señalada en el artículo anterior y de acuerdo a la norma técnica que emita la Secretaría;

II. Será revisado y, en su caso, aprobado por la Comisión de Bioética de la institución de atención a la salud;

III. Indicará los nombres y direcciones de dos testigos y la relación que éstos tengan con el sujeto de investigación;

IV. Deberá ser firmado por dos testigos y por el sujeto de investigación o su representante legal, en su caso. Si el sujeto de investigación no supiere firmar, imprimirá su huella digital y a su nombre firmará otra persona que él designe y

V. Se extenderá por duplicado, quedando un ejemplar en poder del sujeto de investigación o de su representante legal.

Dirección General de Bibliotecas UAQ