



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS CÓRDOBA

POSTGRADO EN INNOVACIÓN AGROALIMENTARIA SUSTENTABLE

EVALUACIÓN DE SOLUCIONES DE EDULCORANTES DE BAJO APORTE CALÓRICO COMO ALTERNATIVA PARA LA SUSTITUCIÓN DEL AGLOMERANTE TRADICIONAL EN BARRAS DE AMARANTO

NAYELI MARTÍNEZ GARCÍA

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE**

MAESTRA EN CIENCIAS

AMATLÁN DE LOS REYES, VERACRUZ, MÉXICO

2019

CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS
REGALÍAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el (la) que suscribe Nayeli Martínez García, Alumno(a) de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del profesor José Andrés Herrera Corredor, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis "Evaluación de soluciones de edulcorantes de bajo aporte calórico como alternativa para la sustitución del aglomerante tradicional en barras de amaranto". Y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del Colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, el Profesor Consejero(a) o Director(a) de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Amatlán de los Reyes, Veracruz a 15 de noviembre de 2019.



Nayeli Martínez García

Firma



Dr. José Andrés Herrera Corredor

Vo.Bo. del Profesor Consejero o Director de Tesis


La presente tesis, titulada: **Evaluación de soluciones de edulcorantes de bajo aporte calórico como alternativa para la sustitución del aglomerante tradicional en barras de amaranto**, realizada por el alumno: **Nayeli Martínez García**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS

POSTGRADO EN INNOVACIÓN AGROALIMENTARIA SUSTENTABLE

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO: 
DR. JOSÉ ANDRÉS HERRERA CORREDOR

ASESOR: 
DRA. ROSELIA SERVIN JUÁREZ

ASESOR: 
DR. EMMANUEL DE JESÚS RAMÍREZ RIVERA

ASESOR: 
M.C. MIRNA LÓPEZ ESPÍNDOLA

Amatlán de los Reyes, Veracruz, México, noviembre de 2019.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico brindado, sin el cual no habría sido posible realizar esta investigación.

Al Colegio de Postgraduados Campus Córdoba y su personal, por el apoyo económico para realizar este proyecto y por la oportunidad que me brindó de salir de mi área de confort e incursionar en el área de Innovación Agroalimentaria.

A los integrantes de mi Consejo Particular por su esfuerzo, dedicación, tiempo y apoyo que me han brindado.

Al Instituto Tecnológico Superior de Zongolica y a la Universidad de la Sierra Sur por su apoyo para la realización de este proyecto.

A todas las personas que de alguna manera contribuyeron para hacer posible esta investigación.

DEDICATORIA

A Dios por acudir en mi ayuda siempre que fue necesario.

Al universo por conspirar a mi favor para lograr vivir esta experiencia.

A mi madre simplemente por ser el gran amor de mi vida, mi todo.

A mi padre por ser un ejemplo a seguir y una fuente de sabiduría.

A mis abuelitos por ser un motor en mi vida.

A Rosi mi apoyo constante.

A mi esposo por su apoyo y amor.

A mi gran amiga Blanca, por tu amistad y apoyo invaluable.

EVALUACIÓN DE SOLUCIONES DE EDULCORANTES DE BAJO APORTE CALÓRICO
COMO ALTERNATIVA PARA LA SUSTITUCIÓN DEL AGLOMERANTE TRADICIONAL
EN BARRAS DE AMARANTO

Nayeli Martínez García, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2019

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue analizar el efecto de reemplazar azúcares aglutinantes por soluciones de edulcorantes bajos en calorías en las características físicas, químicas y los atributos dominantes en el tiempo. Se realizó un análisis de color, pH, a_w , textura y proximal, así como una evaluación sensorial de Dominancia Temporal de las Sensaciones (TDS) para identificar los atributos dominantes en el tiempo. Los atributos dominantes elegidos por los panelistas fueron: crujiente, seco, dulce y amaranto. Además, en esta evaluación los panelistas no percibieron el resabio amargo que suelen dejar los edulcorantes al consumirlos. La formulación con eritritol fue la más parecida a la barra comercial en términos de sus atributos dominantes.

Palabras clave: Amaranto, Dominancia Temporal de las Sensaciones, Steviol, Sacarosa, Sucralosa, Eritritol.

EVALUATION OF SOLUTIONS OF SWEETENERS OF LOW CALORIC INTAKE AS AN ALTERNATIVE TO THE REPLACEMENT OF THE TRADITIONAL BINDER IN AMARANTH BARS

Nayeli Martínez García, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2019

ABSTRACT

The objective of this study was to analyze the effect of replacing binder sugars with solutions of low-calorie sweeteners in physical, chemical characteristics and dominant attributes over time. A color, pH, aw, texture and proximal analysis was performed, as well as a sensory evaluation of Temporal Dominance of Sensations (TDS) to identify the dominant attributes over time. The dominant attributes chosen by the panelists were: crispy, dry, sweet and amaranth. In addition, in this evaluation the panelists did not perceive the bitter taste that sweeteners usually leave when consumed. The erythritol formulation was the closest to the commercial bar in terms of its dominant attributes.

Keywords: Amaranth, Temporal Dominance of Sensations, Steviol, Sucralose, Erythritol.

CONTENIDO

INTRODUCCION GENERAL.....	1
1. Justificación.....	2
2. Problema de investigación	2
3. Hipótesis.....	3
4. Objetivos	3
5. REFERENCIAS	4
CAPITULO I. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	5
1.1. Barras de cereales	5
1.2. Sustentabilidad en barras de amaranto	10
1.3. Factor salud.....	10
1.4. Innovaciones en barras de amaranto.....	12
1.5. Descripción de los edulcorantes	14
1.6. Evaluación de los atributos sensoriales de los alimentos en el tiempo	16
1.7. REFERENCIAS	17
CAPITULO II. SWEETENER SOLUTIONS AS REPLACERS OF BINDING SUGARS IN AMARANTH BARS: IMPACT ON DOMINANT ATTRIBUTES IN TIME.	24
2.1. ABSTRACT	25
2.2. INTRODUCTION	26
2.3. MATERIALS AND METHODS	28
2.3.1. Materials	28
2.3.2. Methods	28
2.3.2.1. Preparation of amaranth bars	29
2.3.2.2. Physicochemical properties	30
2.3.2.3. Temporary Dominance of Sensations (TDS): Panel development and procedure	31
2.3.3. Statistical analysis.....	32
2.4. RESULTS AND DISCUSSION.....	33
2.4.1. Physicochemical characteristics of amaranth bars	33
2.4.2. Dominant Attributes in Time.....	37
2.5. CONCLUSION	50

2.6. ACKNOWLEDGMENTS	50
2.7. REFERENCES	51
CONCLUSIONES GENERALES	56
ANEXOS	57
Registro de Software TDSCC-V1	57
Software TDSCC-V1 para captura de datos de la Evaluación de Dominancia Temporal de las Sensaciones.....	58
Datos registrados en software TDSCC-V1.....	59

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL AMARANTO	7
TABLA 2. CONTENIDO DE PROTEÍNA DEL AMARANTO.....	8
TABLA 3. ESTUDIOS PREVIOS SOBRE EL USO DE ENDULZANTES EN PRODUCTOS ALIMENTICIOS	13
TABLA 4. CLASIFICACIÓN DE LOS EDULCORANTES	14
TABLE 5. PROXIMAL ANALYSIS OF AMARANTH BARS	34
TABLE 6. PH, AW, TEXTURE AND OF AMARANTH BARS	36
TABLE 7. COLOR AMARANTH BARS	37
TABLE 8. MAXIMUM DOMINANCE RATE (VMAX) OF THE ATTRIBUTES.....	44
TABLE 9. EFFECT OF PANELISTS PERFORMANCE	47

LISTA DE FIGURAS

FIGURE 1. SCRO25 AMARANTH BAR TDS CURVE	38
FIGURE 2. TDS CURVE OF AMARANTH BAR SCRO50	39
FIGURE 3. ERYT AMARANTH BAR TDS CURVE	40
FIGURE 4. TDS CURVE OF SCRA AMARANTH BAR	41
FIGURE 5. TDS CURVE OF STEV AMARANTH BAR.....	42
FIGURE 6. TDS CURVE OF COMM CONTROL AMARANTH BAR	43
FIGURE 7. (A) ANALYSIS OF MAIN COMPONENTS WITH VMAX DATA	45
FIGURE 8. ELLIPSES OF TRUST. CONFIDENCE ELLIPSES.....	46
FIGURE 9. PCA WITH TRAJECTORY OF DOMINANCE RATES	49

INTRODUCCION GENERAL

En 2016, más de 1900 millones de adultos tuvieron sobrepeso, por lo que, el gobierno, las instituciones educativas y la industria de alimentos están trabajando para generar nuevos productos alimenticios que sean nutritivos, de bajo costo y que contengan mínimas cantidades de azúcar, sal y grasas. Esto se suma a la difusión en la población de tener buenos hábitos alimenticios para mejorar su salud a mediano plazo (García-García et al., 2008). Dentro de los principales usos del amaranto están: las bebidas, salsas, tortillas, totopos, tamales, tratamientos medicinales, botanas, barras de cereal, entre otros (Matías et al., 2018). En la actualidad, las barras de amaranto tradicionales en México se preparan con una elevada cantidad de azúcares, que puede alcanzar el 50% de la cantidad de amaranto utilizado en su elaboración.

En enero del 2019, se incluyó el amaranto dentro de la canasta básica en México, formada de 40 productos (Diconsa S.A. de C.V ., 2019). Esta inclusión es debido a que forma parte de los cultivos ancestrales de México, así como también a que ha sido reconocido por organismos internacionales como la FAO y OMS por su gran aporte nutricional.

En virtud de lo anterior, el presente estudio tuvo el objetivo de evaluar física, química y sensorialmente cinco formulaciones de barras de amaranto elaboradas con diferentes soluciones de edulcorantes bajos en calorías y valorar su impacto como sustitutos del aglomerante tradicional (piloncillo y miel). Se espera que los resultados permitan ser una opción de mejora para las barras de amaranto, volviéndolas más nutritivas, saludables y de bajo costo. Así como también, apoyar a un segmento de población que requiera tener más opciones en el mercado de productos saludables que les permitan mejorar su salud.

1. Justificación

Las barras de cereales son productos obtenidos a partir de la compresión de los cereales tostados que pueden contener frutos secos, oleaginosas, semillas y jarabes de azúcar usados como agentes aglutinantes, que constituyen una opción de alimentos saludable. Sin embargo, las proporciones de azúcares utilizadas como agentes aglutinantes en su formulación pueden ocasionar que el producto final tenga un contenido calórico muy elevado. Dadas las estadísticas de sobrepeso en la población, la industria de alimentos requiere desarrollar productos con un bajo contenido en calorías. El uso de sustitutos de azúcar para formular barras de amaranto bajas en calorías puede ocasionar un resabio amargo. El estudio de los atributos dominantes en el tiempo de diferentes barras de amaranto, horneadas y formuladas con edulcorantes sustitutos de azúcar, puede ayudar a identificar estrategias viables para la producción de alimentos con bajo contenido calórico.

2. Problema de investigación

En México, de acuerdo con información de los productores, actualmente las barras de amaranto tradicionales se preparan con una elevada cantidad de azúcares, representando el 50% de la cantidad de amaranto utilizado en su elaboración con un contenido calórico que puede ser mayor a 275 Kilocalorías por cada 100 g. Por lo que, debido a que existe un grave problema de obesidad, se requiere disminuir esa cantidad de azúcar y de otros endulzantes utilizados en su preparación para que los consumidores puedan tener una opción viable baja en azúcares.

3. Hipótesis

El uso de soluciones de edulcorantes bajos en calorías como sustitutos del aglomerante tradicional para la formulación de barras de amaranto no impacta en las características fisicoquímicas ni en la percepción de textura y sabor en el tiempo.

4. Objetivos

4.1. Objetivo General

Evaluar el efecto del reemplazo de azúcares aglutinantes tradicionales por soluciones de edulcorantes bajos en calorías para el desarrollo de barras horneadas de amaranto (alegrías) comerciales y su impacto en sus características sensoriales durante el proceso de ingestión.

4.2. Objetivos específicos

- Comparar las características fisicoquímicas de las barras de amaranto.
- Determinar los atributos sensoriales dominantes y su tiempo de duración durante el proceso de ingestión.

5. REFERENCIAS

FAO. (2009). Global agriculture Towards 2050. Food and Agriculture Organization of the United Nations.http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/Issues_papers/HLEF2050_Global_Agriculture.pdf

Diconsa S.A. de C.V. (2019). La canasta básica se fortalece con 40 productos. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/diconsa/es/articulos/la-canasta-basica-se-fortalece-con-40-productos?idiom=es>

García-García, E., De La Llata-Romero, M., Kaufer-Horwitz, M., Tusié-Luna, M. T., Calzada-León, R., Vázquez-Velázquez, V., Sotelo-Morales, J. (2008). La obesidad y el síndrome metabólico como problema de salud pública. Una reflexión. *Acta Pediatr Mex* 2008;29(4):227-46.

Matías, G., Hernández, B., Peña, V., Torres, N., Espinoza, V., & Ramírez, L. (2018). Usos actuales y potenciales del amaranto (*Amaranthus spp.*). *Journal of Negative and No Positive Results*, 3(6), 423.

Organización Mundial de la Salud. (2016). La OMS recomienda aplicar medidas en todo el mundo para reducir el consumo de bebidas azucaradas y sus consecuencias para la salud. <https://www.who.int/es/news-room/detail/11-10-2016-who-urges-global-action-to-curtail-consumption-and-health-impacts-of-sugary-drinks>

CAPITULO I. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. Barras de cereales

Por su conveniencia y nutrición, las barras de cereales tienen una creciente demanda por parte de los consumidores (Jacobsen et al., 2010). Son productos elaborados a partir de la compresión de los cereales tostados que pueden incluir: frutos secos, oleaginosas, semillas y jarabes de azúcar o miel utilizados como ingredientes ligantes (Zenteno, 2014). De acuerdo con Iñarritu y Vega, (2001), las primeras barras de cereales fueron elaboradas para que los niños las pudieran ingerir en los desayunos escolares. Los principales componentes químicos de las barras de cereal son hidratos de carbono, principalmente almidón, sacarosa, fructosa, glucosa y fibra alimentaria. Aportan entre 100 y 150 calorías, con un peso aproximado de 30 gramos

Los hidratos de carbono, en forma de glucosa y fructosa, son el ingrediente principal de las barras de cereales, permitiendo recargar rápidamente los depósitos de glucógeno; además contienen minerales y vitaminas esenciales para el organismo. Las vitaminas B1, B2 y B6 favorecen la asimilación de los hidratos de carbono para liberar energía; la vitamina C, además de su efecto antioxidante (evita la oxidación de los radicales libres), mejora la recuperación y la absorción de hierro (mineral indispensable para el transporte de oxígeno, desde los pulmones a todos los tejidos) (Espitia, 2012). Las barras de cereales presentan una actividad de agua de 0.4 a 0.8 (21°C), y niveles de humedad de 5 a 13%. El porcentaje de proteínas en las barras comúnmente varía entre 3 - 6% (Iñarritu & Vega, 2001). Las barras de amaranto son barras de cereal que han adquirido relevancia en los últimos 20 años, por su ingrediente principal que es el amaranto. El amaranto al igual que el maíz son cultivos ancestrales de México que fueron parte importante de la alimentación de las

civilizaciones mayas, incas, y aztecas (Mapes, 2015). Los granos de amaranto eran combinados con sangre de los sacrificios realizados. A esta mezcla se le denominaba “Tzoalli”, y era utilizada para elaborar figuras de sus dioses, en sus rituales y finalmente era consumida por lo fieles (Hernández & Herrerías, 1998).

Con la llegada de los españoles y la imposición de la religión católica, se prohibió todo aquello que fuera en contra de esta religión, incluyendo otras religiones o creencias, esto con el fin de que los nativos no se resistieran a adoptar la religión católica. Esto ocasionó la prohibición de la siembra y uso del amaranto, con lo cual este cultivo dejó de producirse durante mucho tiempo y hasta fechas recientes ha sido difícil retomar el auge que tuvo en la época precolombina. Los religiosos encargados de erradicar el amaranto fueron Fray Bernardino de Sahagún y Ruiz de Alarcón (Espitia, 2012).

El Amaranto es un pseudocereal que proviene de la familia *amaranthaceae* y al género *Amarhantus*. Científicamente es conocida como *Amaranthus Spp*. Existen 70 géneros y 85 especies de amaranto cultivadas en América, Australia, África, Asia y Europa (Espitia, 2012). De acuerdo a Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos (NAS) el amaranto es un pseudocereal que no posee gluten y tiene un alto nivel nutritivo por su alto contenido en proteínas, vitaminas, minerales, aminoácidos, entre otros (Asociación Mexicana del Amaranto, 2003).

De la planta del amaranto se pueden utilizar las hojas y los granos en la elaboración de: bebidas, salsas, tortillas, totopos, tamales, tratamientos medicinales, botanas, barras de cereal (alegrías), dulces, entre otros (Matías et al, 2018). La composición química del amaranto en cada 100 g de parte comestible se muestra en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Composición química del amaranto

Característica	Unidad de medida	Contenido	Aminoácido esencial	Patrón de aminoácidos mg/ proteína g FAO/OMS
Proteína	g	12-19	Isoleucina	28
Carbohidratos	g	71.8	Leucina	66
Lípidos (g	6.1-8.1	Lisina	58
Fibra	g	3.5-5	Metionina + cistina	25
Cenizas	g	3.0-3.3	Fenilalanina + tirosina	63
Energía	kcal	391	Treonina	34
Calcio	mg	130-164	Triptófano	11
Fósforo	mg	530	Valina	35
Potasio	mg	800	Histidina	19
Vitamina C	mg	1.5		

Fuente: (FAO/OMS/UNU, 1985)

La FAO y la OMS consideran al amaranto como un alimento de alto valor para el ser humano. El amaranto puede proporcionar todos los aminoácidos esenciales que el organismo humano no logra producir como: lisina, leucina, entre otros. En la **Tabla 1** se muestra el contenido de aminoácidos del amaranto y de otros cereales más conocidos (FAO, 2012). Además, se muestra en la **Tabla 2** en contenido e proteína que contiene el amaranto comparado con otros cereales.

Tabla 2. Contenido de proteína del amaranto

Cultivo	Proteína
Amaranto	13.6 – 18.0
Trigo	14.0 – 17.0
Cebada	9.5 – 17.0
Maíz	9.4 - 14.2
Centeno	9.4 – 14.0
Arroz	7.5

Contenido de proteína de amaranto comparado con los cereales más conocidos. Fuente: (FAO/OMS/UNU, 1985).

Actualmente, los principales productos elaborados con amaranto que se venden son: alegrías, tamales, atoles, tortillas, galletas, pan, panqués, pasteles, mazapanes, granola, aguas frescas, sopas, guisados, complementos alimenticios, entre otros (Asociación Mexicana del Amaranto, 2003).

A nivel mundial, China es el mayor productor de amaranto con 150,000 ha sembradas. El segundo lugar lo ocupan India, Perú ocupa el tercero con 1,800 ha. México se ubica en cuarto lugar con 900 ha, seguido de Estados Unidos en el quinto lugar con 500 ha. (González et al., 2016).

Los estados productores de amaranto en México en el 2017 fueron: Puebla (5025 ha), Tlaxcala (1118 ha), Distrito Federal (871 ha), Estado de México (140 ha), Oaxaca (108 ha) y Morelos (7 ha). El valor total de la producción de amaranto en Tlaxcala ese año fue de 15 millones 854 mil y de 15 millones 679 mil pesos en Puebla. En cuanto a producción, Tlaxcala ocupa el primer lugar en la producción de amaranto con un 34.5%, seguido por Puebla con un 34.1% y el Estado de México con un 21.1%. De 2012 a 2017 la producción de amaranto incremento un 3.3%. Cabe mencionar que el mes en donde se registra mayor producción de Amaranto es diciembre (SIAP, 2018).

Durante la época de cosecha, los precios del grano de amaranto se encuentran en su índice más bajo, el cual se paga al productor hasta 3.5 pesos el kilogramo de grano puesto en campo, pero luego el precio empieza a recuperarse hasta alcanzar los 12 o 14 pesos el kilogramo, dependiendo de la disponibilidad del producto (Primer Congreso Mundial de Amaranto, 2018).

En cuanto al comercio exterior, Estados Unidos es el principal país importador de amaranto de México con un 60.6%. En el periodo 2012-2017 se registró un aumento en el número de países que importan amaranto de México de 7 a 10. Esto originó un alza en el valor total de la exportación pasando de 39.7 miles de dólares en 2012 a 241 miles de dólares en 2017 (SIAP, 2018).

La demanda mundial de amaranto es abastecida por India, Corea, China, Francia, Alemania, Estados Unidos, Italia y Canadá, pues son los principales países productores de amaranto. Existen varias clasificaciones del mercado del amaranto. La primera es de acuerdo al uso final que tenga el amaranto, puede ser mercado de alimentos y bebidas, productos farmacéuticos o cuidado personal y cosmética (Transparency Market Research, 2018).

Otra clasificación del mercado del amaranto está en función de la presentación del producto, donde el mercado puede ser de: semillas, aceite, hojas o harina. También existe la clasificación del mercado conforme a los canales de venta del amaranto, y puede ser hiper mercado / supermercado, tiendas minoristas, tiendas en línea, tiendas especializadas u otros (Transparency Market Research, 2018). En México, la producción de Amaranto utilizada para la elaboración de diversos productos, de los cuales el 79.9% es a base de grano reventado, el 17.2% es a base de harina y el 2.9% a base de extruido. Del 79.9% que es a base de grano reventado, el 58.9% es utilizado para elaborar alegrías, que son dulces tradicionales (Espitia et al., 2016). Cabe mencionar que el consumo per cápita anual de amaranto en México en el año 2018 fue de 40 g (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2019).

1.2. Sustentabilidad en barras de amaranto

El concepto de sustentabilidad surge en la Conferencia de las Naciones Unidas (ONU) sobre ambiente humano que tuvo lugar en Estocolmo, Suecia en el año 1972. En esa conferencia se discutió sobre como relacionar los aspectos ambientales, económicos el crecimiento y el empleo (Naciones Unidas, 2002). En 1983, la ONU fundó la Comisión Mundial del Medio Ambiente y Desarrollo (WCED). Esta comisión creó la iniciativa de evaluar cualquier acción desde tres puntos de vista o pilares de la sustentabilidad: el económico, el ambiental y el social (Naciones Unidas, 1997). En 1987 en el Informe Brundtland sobre el futuro del planeta y la relación entre el medio ambiente y desarrollo económico, se utilizó por primera vez el termino desarrollo sustentable, establecido como aquel que cumple las necesidades del presente sin comprometer las necesidades futuras (Comisión Mundial del Medio Ambiente y Desarrollo, 1987). En las barras de amaranto de este estudio se pretende, que sean una opción para el consumidor que requiere de productos a bajo costo y que sean de bajo aporte en azúcares.

1.3. Factor salud

Desde el punto de vista social es recomendable para el ser humano mantener una dieta saludable durante toda la vida con el fin de reducir varios problemas de salud como son: malnutrición, diabetes, cardiopatías, cáncer, accidentes cerebrovasculares, sobrepeso, hipertensión arterial, obesidad, gota, deterioro de cavidades dentales, hígado graso, insuficiencia renal, disfunción cognitiva, alzheimer, entre otras (Organización Mundial de la Salud, 2018). Sin embargo, los malos hábitos alimenticios en las personas han generado que, en el mundo, el número de individuos con

la enfermedad de diabetes haya pasado de 108 millones en 1980 a 442 millones en 2014, y que más de 1900 millones de adultos tuvieran sobrepeso en 2016 (Organización Mundial de la Salud, 2016).

La insulina es una hormona que regula el azúcar en la sangre. La diabetes es una enfermedad crónica que aparece cuando el páncreas no produce insulina suficiente, o cuando el organismo no utiliza eficazmente la insulina que produce. El efecto de la diabetes no controlada es la hiperglucemia (aumento del azúcar en la sangre), que con el tiempo daña gravemente muchos órganos y sistemas, especialmente los nervios y los vasos sanguíneos (Organización Mundial de la Salud, 2018).

De los adultos en México, 9.1% ha recibido un diagnóstico de diabetes, con resultados heterogéneos entre estados: de 5.6% en Chiapas a 12.3% en el Distrito Federal. Del total de diabéticos, 46.9% reportó también diagnóstico de hipertensión, 4.4% antecedente de infarto del corazón y 54.4%, antecedentes familiares de diabetes. De los adolescentes, 0.68% ha sido ya diagnosticado con diabetes (Hernández-Ávila et al., 2013).

Investigaciones realizadas sugieren introducir en la dieta humana el amaranto, por su valor nutricional y también porque contiene otras sustancias que pueden ayudar al mantenimiento del homeostasis del sistema cardiovascular. El amaranto se considera como fuente natural de péptidos antihipertensivos (Barba, 2008). Por su alto valor nutritivo, el amaranto es recomendado como complemento en el tratamiento de anemia, desnutrición y osteoporosis. Además de recomendarse a mujeres embarazadas y niños por su contenido en hierro, proteínas, minerales (Herrera & Montenegro, 2012).

En investigaciones recientes se encontró que el escualeno del amaranto utilizado en dieta alta en colesterol de ratas logró reducir los niveles de colesterol y triglicéridos (Shin et al., 2016). Además,

en investigaciones realizadas en ratas hiperglucémicas que fueron alimentadas con amaranto reventado, se encontró una reducción en el colesterol total y en la actividad de DPP-IV en el plasma. Estos resultados dan la pauta de que el consumo de amaranto en la dieta diaria de personas hiperglucémicas puede ser beneficioso para su salud (Escobedo et al., 2017).

1.4. Innovaciones en barras de amaranto

En la última década se han realizado investigaciones sobre la elaboración de diversos productos a base de amaranto que contribuyan a mejorar la salud humana. Como resultado, ha surgido una gran variedad de productos tradicionales como son: pastas de harina de amaranto y tapioca (Garcia & Velázquez, 2017), mezclas de diferentes harinas, palanquetas con diferentes ingredientes (Velázquez et al., 2016) y galletas. Además, se han obtenido formulaciones de barras de amaranto con diferentes edulcorantes como sustitutos del azúcar empleado. En la **Tabla 3** se enlistan los estudios previos sobre el uso de endulzantes en productos alimenticios.

Tabla 3. Estudios previos sobre el uso de endulzantes en productos alimenticios

Título de la investigación	Autor (es) y lugar de publicación
Reemplazo de grasa y azúcar en magdalenas. Efecto sobre las propiedades reológicas, térmicas, de textura y sensoriales. En esta investigación se reemplazó el azúcar por sorbitol o maltitol, povidexrosa y sucralosa en la elaboración de magdalenas para evaluar el efecto de tal reemplazo en las magdalenas.	Martínez, (2013), España.
Physicochemical profile and sensory evaluation of cakes with flaxseed and yacon flour associated to sweeteners. El objetivo del estudio fue evaluar las características químicas, físicas y sensoriales de los pasteles elaborados con harina de yacón y linaza como una alternativa para los pacientes con diabetes. Se prepararon cuatro pasteles: y se pudo concluir que la torta con yacón y linaza asociada a sucralosa y acesulfamo-k es una buena alternativa para pacientes con Diabetes mellitus debido a sus propiedades funcionales y buen contenido de fibra.	Almeida et al, (2014), Brasil.
Influencia de distintos polioles en las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de mermelada de fresa. El objetivo del estudio fu evaluar el efecto que tiene el uso de diferentes edulcorantes artificiales en las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de confitura de fresa.	Baixauli, (2015), España.
High-intensity sweeteners in espresso coffee: ideal and equivalent sweetness and time–intensity analysis. Los objetivos de este estudio fueron determinar la dulzura ideal para el café exprés y las concentraciones equivalentes en la dulzura de diferentes edulcorantes, así como caracterizar el perfil de intensidad de tiempo de cada edulcorante en relación con la dulzura. Los edulcorantes evaluados fueron: sucralosa, aspartamo, neotamo, una mezcla de ciclamato / sacarina (2: 1) y stevia.	Acevedo et al., (2015), Estados Unidos.
Desarrollo de chocolate blanco sin azúcar, apto para diabéticos, utilizando Stevia y sucralosa como edulcorantes: Estudio de la cinética de degradación térmica. El propósito de este estudio fue el desarrollo de formulaciones de chocolate blanco para diabéticos con reemplazo de sacarosa por sucralosa (Su) y Stevia.	Rodríguez et al., (2016), Argentina.

Fuente: Elaboración propia.

1.5. Descripción de los edulcorantes

Los edulcorantes son aditivos que brindan dulzura a los alimentos, estos se clasifican en calóricos y acalóricos (González, 2013). También existen otras clasificaciones como son: nutritivos, no nutritivos y polímeros (Valencia et al., 2008). Además, se pueden clasificar en función de su contenido calórico, según su origen, ya sea, natural o artificial, y por su estructura química. La clasificación actual de edulcorantes se presenta en la **Tabla 4**.

Tabla 4. Clasificación de los edulcorantes

Calóricos	Acalóricos
De origen natural : Sacarosa, Glucosa, Dextrosa, Fructosa, Lactosa, Maltosa, Galactosa y Trehalosa, Tagatosa, Sucromalat*, miel, jarabe de arce, azúcar de palma o de coco y jarabe de sorgo.	De origen natural: Luo Han Guo, Stevia, Taumatina, Pentadina, Monelina, Brazzeína.
De origen artificial: Jarabe de Maíz de Alta Fructosa, caramelo, azúcar invertido, Sorbitol, Xilitol, Manitol, Eritritol, Maltitol, Isomaltulosa, Lactitol, Glicerol.	De origen artificial : Aspartamo, Sucralosa, Sacarina, Neotamo, Acesulfame K, Ciclamato, Nehosperidina DC, Alitamo, Advantamo.

*Valor calórico similar a la fructosa, si bien realmente se trata de un oligosacárido artificial. Fuente: Garcia-Almeida et al., 2013.

Desde 1958, la Administración de Alimentos y Drogas de los Estados Unidos (FDA) tiene la responsabilidad de la regulación de los endulzantes en Norteamérica. Los edulcorantes que están

autorizados para su uso en la industria de alimentos son: Acesulfame K, Aspartamo, Neotamo, Sacarina, Estevia, Sucralosa y Luo han Guo (Garcia-Almeida et al., 2013). De acuerdo a la OMS (2018) el aporte de energía proveniente de azúcares debe ser menor al 10% del total de kilocalorías consumidas por día.

El edulcorante más conocido es la sacarosa, mejor conocida como azúcar de mesa. Es un edulcorante procedente de la caña de azúcar y la remolacha. Es el azúcar más abundante que se encuentra en los alimentos, es un disacárido formado por una glucosa cuyo carbono aldehído se conecta al cetónico de la fructosa formando un enlace glucosídico que imposibilita que este disacárido sea reductor por estar falto de grupos aldehído o cetona libres. Proporciona 4Kcal/g. Provee propiedades funcionales a los alimentos, por ejemplo: sabor dulce, cristalización, viscosidad, preservación, fermentación, caramelización, entre otros (Valencia et al., 2008).

Estevia rebudiada es un edulcorante acalórico, es natural porque proviene de una planta selvática subtropical del Alto Paraná, nativa del noroeste de la Provincia de Misiones, en Paraguay. El botánico suizo Moisés Santiago Bertoni fue el primero que la detalló, en 1887. En 1900, el químico paraguayo Ovidio Rebaudi, logró aislar los principios activos responsables del dulzor. Es anti-hipertensivo y anti-hiperglucémico. La planta de estevia produce en las hojas un edulcorante natural llamado esteviol. Su sabor es lento al principio y tiene una duración más prolongada que el del azúcar (sacarosa). Es estable en el calor, adecuado para cocinar y se utiliza en alimentos procesados. La cantidad recomendada de su consumo al día en una persona con un peso de 70 kg es de 280 mg (Dúran et al., 2013).

El eritritol es un edulcorante calórico, artificial, polialcohol. Se forma de manera natural en pequeñas cantidades en las plantas y cereales. La cantidad recomendada de su consumo al día en

una persona con un peso de 70 kg es de 50g ya que, si se consume una mayor cantidad, puede tener un efecto laxante (Dúran et al., 2013).

La sucralosa es un edulcorante acalórico, artificial que fue descubierto en 1976. No proporciona energía, es muy soluble en agua. También es estable bajo condiciones normales de proceso y almacenamiento de bebidas. Es pobremente absorbida a través del tracto gastrointestinal y tiene un sabor diferente, de forma considerable, con respecto al azúcar. La cantidad recomendada de su consumo al día en una persona con un peso de 70 kg es de 1050 mg (Dúran et al., 2013).

Algunos edulcorantes pueden presentar un resabio amargo después de ingerirse el producto. Por ejemplo, el steviol suele dejar un resabio amargo, el eritritol y la sacarosa un resabio dulce y la sucralosa no tiene resabio amargo. La relevancia del sabor y los resabios de los edulcorantes está en que el sabor es el atributo más importante para los consumidores al grado de determinar la elección de los alimentos. Los edulcorantes son importantes porque pueden ser utilizados para enmascarar los gustos amargos y ácidos, para aportar cuerpo y para participar en la estructura del alimento y en la sensación en la boca (Palacio et al.,2017).

1.6. Evaluación de los atributos sensoriales de los alimentos en el tiempo

La evaluación sensorial y la ciencia sensorial suelen confundirse frecuentemente. Por ello, es necesario identificar las principales diferencias de cada una. La ciencia sensorial comprende: el sabor, olor, cinética y diversas técnicas de escalas y análisis estadísticos. La evaluación sensorial es la aplicación de conocimientos y el desarrollo de métodos de evaluación discriminativa, descriptiva y afectiva de productos alimenticios en la solución de un problema. Estos métodos son

estáticos (Howard, 1998). Con el paso del tiempo fueron surgiendo nuevas técnicas que permiten evaluar la naturaleza dinámica de las sensaciones que percibimos al probar un alimento. Y así surgió la Dominancia Temporal de las Sensaciones (TDS), siendo su antecesor la metodología de tiempo-intensidad (TI) (Varela & Ares, 2014).

La técnica TDS fue creada en 1999 en el Centro Europeo de Ciencias del Gusto en el laboratorio LIRIS (Pineau et al., 2009). El panelista debe seleccionar de inmediato el primer atributo que percibe y evaluar su intensidad. Es posible seleccionar diferentes atributos en diversos intervalos de tiempo (Lawless & Heymann, 2010). La recaudación de los datos de las evaluaciones se realiza mediante un software, debido a que las evaluaciones no son por escrito, son en computadora. Existen en el mercado varios softwares a la venta y SensoMaker que es de libre acceso (Pinheiro et al., 2013). El conjunto de atributos elegidos para la evaluación TDS está conformado de atributos de diferentes modalidades sensoriales, por ejemplo: sabor y textura (Albert et al., 2012). Se pueden utilizar diversos enfoques para elegir el conjunto de atributos a evaluar o se puede obtener de estudios preliminares con el panel evaluador (Albert et al., 2012). TDS es recomendado cuando se requiere comparar más de dos atributos.

1.7. REFERENCIAS

Albert, A., Salvador, A., Schlich, P., & Fiszman, S. (2012). Comparison between temporal dominance of sensations (TDS) and key-attribute sensory profiling for evaluating solid food with contrasting textural layers: Fish sticks. *Journal Food Quality and Preference*, 24, 111-118.

- Almeida, N. T., Schmidt, H., & Oliveira, V. R. D. (2014). Physicochemical profile and sensory evaluation of cakes with flaxseed and yacon flour associated to sweeteners. *Boletín Do Centro de Pesquisa de Procesamiento de Alimentos*, 32(1). DOI:10.5380/cep.v32i1.36988
- Asociación Mexicana de Amaranto. (2003). Asociación Mexicana de amaranto. <http://www.amaranto.com.mx/salud/propiedades/propiedades.htm>
- Acevedo, B., Schmidt, F. y Bolini, H. (2015). Edulcorantes de alta intensidad en café expreso: análisis de dulzura e intensidad de tiempo ideales y equivalentes. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 50 (6), 1374–1381. DOI: 10.1111 / ijfs.12774
- Baixauli, E. (2015). Influencia de distintos polioles en las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de mermelada de fresa. <http://hdl.handle.net/10251/54184>.
- Barba, A. (2008). Caracterización de los efectos vasculares de extractos de amaranto. San Luis Potosí. <https://ipicyt.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1010/764/3/TMIPICYTB3C32008.pdf>
- Comisión Mundial del Medio Ambiente y Desarrollo. (1987). Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. http://www.ecominga.uqam.ca/PDF/BIBLIOGRAPHIE/GUIDE_LECTURE_1/CMMAD-Informe-Comision-Brundtland-sobre-Medio-Ambiente-Desarrollo.pdf
- Dúran A., S., Córdon A., K., & Rodríguez N., M. P. (2013). Edulcorantes no nutritivos, riesgos, apetito y ganancia de peso. *Revista Chilena de Nutrición*, 40(3). https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S071775182013000300014&script=sci_arttext&tlng=pt

- Escobedo, A., Velarde, A., Magaña, C., Barrera, A., Espitia, E., Herrera, A., & Barba, A. (2017). Amaranth Protein Improves Lipid Profile and Insulin resistance in a diet-induced obese mice model. *Journal of food and nutrition research*, 5(12). <https://ipicyt.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1010/1564/1/JFoodNutritionResearch5%282017%29914.pdf>
- Espitia, E. (2012). *Amaranto: Ciencia y Tecnología*. Celaya: INIFAP/SINAREFI.
- Espitia, E., Ayala, A., Rivas, P., Martínez, G., & Almaguer, G. (2016). Análisis de la cadena de valor de amaranto en México. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 13(1). <https://www.redalyc.org/pdf/3605/360545634006.pdf>
- FAO. (2012). *Producción orgánica de cultivos andinos (FAO)*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/segalim/prodalim/prodveg/cdrom/contenido/libro01/PagePrinc.htm
- García, N., & Velázquez, F. (2017). Amaranth Pasta in Mexico: A Celiac Overview. *Journal of Culinary Science and Technology*. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85037673696&doi=10.1080%2f15428052.2017.1405862&partnerID=40&md5=64e2ae2bb3f93fd51580800fa5662f92>
- González, A. (2013). Posición de consenso sobre las bebidas con edulcorantes no calóricos y su relación con la salud. *Revista Mexicana de Cardiología*: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-21982013000200001
- González, F., Vera, A., & Lerma D. (2016). Estrategia de comercialización competitiva del amaranto en San Luis Potosí. *Revista Perspectivas*, 10(1), 71-93. http://publicaciones.eco.uaslp.mx/VOL17/Volumen_10.4.PDF

Hernández, R., & Herrerías, G. (1998). Amaranto: Historia y promesa. Horizonte del tiempo.

Hernández-Ávila, M., Gutiérrez, J. P., & Reynoso-Noverón, N. (2013). Diabetes mellitus en México. El estado de la epidemia. Salud Pública de México. https://www.scielosp.org/scielo.php?pid=S003636342013000800009&script=sci_arttext&tlng=pt

Howard, G. (1998). Evaluation of the sensory science discipline. Food Technology, 8(52).

Iñarritu, M., & Vega, L. (2001). Las barras de cereales como alimento funcional en los niños. Revista mexicana de pediatría, 68(1), 8-12. <https://www.medigraphic.com/pdfs/pediat/sp-2001/sp011c.pdf>

Jacobsen, A., Baú, T., & Alves, M. (2010). High protein bar: formulation, characterization and sensorial evaluation. Revista Brasileira de Tecnología Agroindustrial, 42-51.

Lawless, H., & Heymann, H. (2010). Sensory Evaluation of Food, Principles and Practices. New York.

Mapes, E. (2015). El amaranto. Revista Ciencia, 69(4), 8-15.

Martinez, S. (2013). Reemplazo de grasa y azúcar en magdalenas. Efecto sobre las propiedades reológicas, térmicas, de textura y sensoriales.

Matías, G., Hernández, B., Peña, V., Torres, N., Espinoza, V., & Ramírez, L. (2018). Usos actuales y potenciales del amaranto (*Amaranthus spp.*). Journal of Negative and No Positive Results, 3(6), 423.

Naciones Unidas. (1997). Cumbre para la Tierra+5. Naciones Unidas. <http://www.un.org/spanish/conferences/cumbre&5.htm>

Naciones Unidas. (2002). Cumbre de Johannesburgo 2002. Recuperado el 2018, de Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo: <http://www.un.org/spanish/conferences/wssd/unced.html>

Organización Mundial de la Salud. (11 de octubre de 2016). La OMS recomienda aplicar medidas en todo el mundo para reducir el consumo de bebidas azucaradas y sus consecuencias para la salud. Organización Mundial de la salud. <https://www.who.int/es/news-room/detail/11-10-2016-who-urges-global-action-to-curtail-consumption-and-health-impacts-of-sugary-drinks>

Organización Mundial de la Salud. (31 de agosto de 2018). Datos y cifras. Obtenido de Organización Mundial de la Salud: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet>

Palacio, E., hurtado, J., Arroyave, J., Cardona M., & Martínez-Girón, J. (2017). Edulcorantes naturales utilizados en la elaboración de chocolates. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 15(2), 142-152.

Pineau, N., Schlich, P., Cordelle, S., Mathonnière, C., Issanchou, S., Imbert, A., Rogeaux, M., Etiévant, P. & Köster, E. (2009). Temporal dominance of Sensations: Construction of the TDS curves and comparison with time- intensity. *Food Quality and Preference*, 20 (6), 450-455.

Pinheiro, C., Nunes, C., & Viotoris, V. (2013). SensoMaker: a tool for sensorial characterization of food products. *Ciencia e Agrotecnología*, 37(3), 199-201.

Primer Congreso Mundial de Amaranto. (2018). *Memorias Primer Congreso mundial de Amaranto*. Puebla.

Rodríguez, L., Baracco, Y., Zaritzky, N., & Campderros, M. (2016). Development of free sugar white chocolate, suitable for diabetics, using Stevia and sucralose as sweeteners: Study of the thermal degradation kinetic. *International Journal of Research in Advent Technology*, 4, 49-57.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2019). Presentan productores Plan para el Desarrollo Sustentable del Amaranto. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/presentan-productores-plan-para-el-desarrollo-sustentable-del-amaranto>

Shin, D., Heo, H., Lee, Y., & Kim, H. (2004). Amaranth squalene reduces serum and liver lipid levels in rats fed a cholesterol diet. *British Journal of Biomedical Science*, 61 1, 11-4. DOI:10.1080/09674845.2004.11732639

SIAP. (2018). Atlas Agroalimentario 2018. Recuperado el 2019, de Servicio de información agroalimentaria y pesquera. https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2018/Atlas-Agroalimentario-2018

Transparency Market Research. (2018). Amaranth Market - Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends, and Forecast 2017 - 2027. Estados Unidos.

Valencia, F., Millán, L., & Ramírez, N. (2008). Evaluación de los efectos en las propiedades fisicoquímicas, sensoriales y texturales de povidex, fructosa y sorbitol como sustitutos de azúcar en la elaboración de arequipe. *Revista Lasallista de Investigación*: <http://www.redalyc.org/comocitar.oa?id=69550204>

Varela, P., & Ares, G. (2014). Novel techniques in sensory characterization and consumer profiling. Boca ratón, FL. Taylor & Francis Group.

Velázquez, J., Trejo, M., Pascual, S., & Lira, A. (2016). Desarrollo de una barra de nopal, avena, arándano y amaranto reducida en azúcar como alimento funcional para la población mexicana. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(1), 484.

Zenteno, S. (2014). Barras de cereales energéticas y enriquecidas con otras fuentes vegetales.

Revista de Investigación Universitaria.

<https://revistas.upeu.edu.pe/index.php/riu/article/view/678/649>

CAPITULO II. SWEETENER SOLUTIONS AS REPLACERS OF BINDING SUGARS IN AMARANTH BARS: IMPACT ON DOMINANT ATTRIBUTES IN TIME.

Nayeli Martínez-García¹, Emmanuel de Jesús Ramírez-Rivera², Lorena Guadalupe Ramón-Canul³,
Roselia Servín-Juárez¹, Mirna López-Espíndola¹, José Andrés Herrera-Corredor^{1*}.

¹Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba, Postgrado en Innovación Agroalimentaria Sustentable. Km 348 Carretera Córdoba-Veracruz. 94946, Amatlán de los Reyes, Veracruz. México, C.P. 94946

²Intituto Tecnológico Superior de Zongólica, Sede Nogales. Av. Benito Juárez 296A, Aquiles Serdán, Nogales, Veracruz, México. C.P. 94720

³Universidad de la Sierra Sur. Calle Guillermo Rojas Mijangos S/N, Esq. Av. Universidad Col. Ciudad Universitaria, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca., México C.P. 70800.

* Corresponding author: Dr. José Andrés Herrera Corredor

E-mail: jandreshc@colpos.mx

Phone: 52 (271) 716 6000

2.1. ABSTRACT

The objective was to determine the effect of replacing binding sugars with commercial low-calorie sweetener solutions in the physicochemical and temporal dominance of sensations in amaranth bars. Five baked amaranth bar formulations (Sweetener-Solution-Formulated Amaranth Bars: SSFABs) were prepared using solutions of: erythritol, sucralose, steviol and two sucrose concentrations (50% and 25%). A commercial bar (COMM) was used as a control. Proximal, pH, water activity, texture and color was measured. Temporary Dominance of Sensations (TDS) was used to determine dominant attributes in time. Moisture, ash and protein was higher in SSFABs than in COMM (4.02%, 1.43%, 5.27%, respectively). Carbohydrates and total crude fat were lower in SSFABs than in COMM (9.44%, 1.14%, respectively). Dominant attributes were crispy, dry, sweet, and amaranth. Erythritol formulation was similar to the commercial bar in terms of dominant attributes. Using sweetener solutions is adequate for developing crunchy amaranth bars with low sugar and higher protein content.

Running Head: Sweetener solutions for amaranth bars

Keywords: amaranth, commercial sweeteners, Temporary Dominance of Sensations, caloric content, obesity.

Highlights:

- Protein content in the SSFABs was higher than in control bar.
- dominant attributes over time in bars formulated with erythritol were more similar to those in the commercial bar.
- Baking impacts the color characteristics of SSFABs.

- Sensory characteristics with the highest dominance rate were: crispy and amaranth.

2.2. INTRODUCTION

Cereal bars are a product that has increased its popularity internationally for its ease of preparation and transportation (Jacobsen, Baú, & Alves da cunha, 2010). These bars are prepared with a variety of grains and binders such as honey, sugar, and chocolate, among others. In Mexico, amaranth has been used for the preparation of “alegrias” that are a type of traditional cereal bars that are prepared with a mixture of brown sugar and sugar (Zenteno, 2014). In the formulation of these products, the amount of sugar used can reach up to 50% of the amount of amaranth used in the preparation of these bars. Different low-calorie sweeteners that can be used to replace sugar are currently available in the market. The use of sweetener solutions together with a baking process to bind popped amaranth grains could help reformulate these amaranth bars to reduce their caloric intake by replacing binder sugars used in traditional commercial amaranth bars.

The excessive use of sugar generates two problems in the population: 1) amaranth bars are not adequate for people with overweight and diabetes problems. In this sense, in 2016, more than 1,900 million adults were overweight while the number of people with diabetes increased from 108 million in 1980 to 442 million in 2014 (World Health Organization, 2016). 2) increase in taxes for products called “Non-Basic Foods with High Caloric Density”. For example, the Revenue Law of Mexico’s Federation (“Ley de Ingresos de la Federación de México”), includes a tax of 8% for amaranth bars with 275 Kilocalories per 100 g of weight (SHCP, 2014 and SHCP, 2016). Similar taxes have been reported in more than 30 European countries, United Arab Emirates, Chile, the United States and Mexico (Kerry, 2018) that aim to reduce obesity and diabetes problems in these

countries. However, such an increase directly affects the main actors involved in the production chain, marketing and consumption of amaranth bars.

Currently, different low caloric sweeteners are available in the market that can be used as sugar substitutes for the production of amaranth bars. These sweeteners can be natural or artificial and caloric or non-caloric. (Valencia, Millan, & Ramirez, 2008). Some of the most commonly used sweeteners are: erythritol, stevia and sucralose that can have a sweetening power of 300 to 700 times higher than sucrose, a low caloric intake (0.2 to 0 Kcal / g) and a low glycemic index (0) (Durán et al, 2013). However, some sweeteners, such as steviol, may leave a bitter aftertaste that can be a determining factor in the choice of amaranth bar consumers (Palacio-Vásquez et al., 2017). The technique known as Temporal Dominance of Sensations (TDS) in conjunction with multivariate techniques such as Principal Component Analysis (ACP) or Canonical Variate Analysis (CVA) (Pineau, Schlich, & Cordelle, 2009; Albert et al., 2012) allows to analyze how sensory attributes are dominant (attributes that dominate and the catch attention of the panelist during the ingestion of a food product) in amaranth bars made with sweeteners (Lawless & Heymann, 2010).

The objective of the study was to determine physicochemical characteristics and the dominant attributes of amaranth bars made with different sweeteners as a substitute for the mixture of brown sugar and sugar commonly used in the manufacture of commercial amaranth bars.

2.3. MATERIALS AND METHODS

2.3.1. Materials

Fresh popped amaranth grains were obtained from Abastos MAG S.A. CV in Córdoba Veracruz, Mexico. As a control treatment (COMM), a commercial amaranth bar (Aires del Campo, Miguel Hidalgo, Mexico City) was used and purchased at the local market in Córdoba, Ver. The commercial amaranth bar was selected according to the following criteria: 1) registered trademark; 2) be prepared with amaranth and traditional binder sugars and 3) comply with the aspects of hygiene practices for the food process of NOM-251-SSA1-2009. The sweeteners sucrose (Refined sugar brand Chedraui® Mexico), erythritol (Livana® Jardines de San José, Puebla, Puebla: 1 g Livana® =5 g sugar), sucralose (Splenda®, Carmel, Indiana, USA, 2.5% sucralose, 0.5 ml Splenda® = 5 g sugar), and steviol (Stevia, Splenda® brand, Carmel, Indiana, USA, 6.6% steviol, 0.625 ml Stevia = 5 g sugar) were purchased at the local supermarket, in Córdoba Ver. Mexico. Purified water was used for the preparation of the solutions (Purezza®. Córdoba Ver. Mexico).

2.3.2. Methods

For sweetener solutions preparation, a 50% sugar solution was taken as an initial reference according to preliminary experimental tests. Additionally, a 25% sucrose solution was included as a minimum concentration. The concentrations of the erythritol, sucralose and steviol sweeteners were adjusted to be equivalent to the 50% sucrose concentration considering that this sucrose concentration contains 25 times the amount corresponding to a 250 mL cup (5 g sugar). To prepare

250 ml of erythritol solution, 25 g of Livana® were weighed on a Scout®Pro digital scale (Ohaus Corporation, 194 Chapin Road. NJ07058, USA) and mixed with 225 ml of purified water. To prepare 250 ml of sucralose solution, 12.5 ml of Splenda® were measured and mixed with 237.5 ml of purified water. To prepare 250 ml of steviol solution, 15.62 ml of liquid Stevia® were measured and mixed with 234.38 ml of purified water. The solutions were stirred for 5 min to ensure homogenization.

2.3.2.1. Preparation of amaranth bars

Five baked amaranth bar formulations were prepared using the previously prepared solutions of erythritol (ERYT), sucralose (SCRA), steviol (STEV), 25% sucrose (SCRO25) and 50% sucrose (SCRO50). These formulations were referred to as Sweetener-Solution-Formulated Amaranth Bars (SSFAB). An amount of 150 g popped amaranth and 60 ml of each sweetener solution were placed in a stainless steel container. The sweetener solution was added by spraying the popped grain to ensure proper distribution. The ingredients were mixed and distributed in circular polyvinyl chloride (PVC) molds of 5 cm in diameter and 2 cm in height to obtain 10 amaranth bars weighing approximately 15 to 16 g. Amaranth bars were placed in stainless steel trays and baked in a convection oven (HEC5 model, Hobart, Ohio, 45374 USA) at 100 ° C for 10 min. Baking time and temperature was determined in preliminary work. Finally, the SSFABs were allowed to cool for 20 min before packing them into four-ounce disposable cups with lid.

2.3.2.2. Physicochemical properties

The proximal chemical composition of amaranth bars was performed according to the methodologies of the Official Association of Analytical Chemistry (AOAC). Moisture content: 925.09 method (AOAC, 1980); ash: 923.03 method (AOAC, 1980); protein: 984.13 method (AOAC., 2000); crude fat: 922.06 method (AOAC, 1980); crude fiber: 985.29 method (AOAC, 2000). Carbohydrates were calculated by difference. The pH was determined according to the methodology 14.002 of the AOAC. (2000), using a 3-star Orion potentiometer (Thermo Scientific, Waltham, Massachusetts, USA). Water activity determination (a_w) was performed using a dew point hygrometer at 25 ° C Pawkit (Decagon Devices, Inc 2365 NE Hopkins Ct. Pullman, WA 99163 USA).

Compression and puncture analyzes were performed using a Texture Analyzer (Model Ez-5, Shimadzu®, Kyoto, Japan) equipped with a 500 N load cell at a test speed of 5 mm/s. Each amaranth formulation was evaluated using a 5 cm diameter by 2 cm height circular sample with an average weight of 15 g. Compression test was performed using 11.5 cm diameter by 1 cm height circular stainless steel platforms (upper and lower) were used. Amaranth bar samples were placed between these platforms. A 50% compression was used. Puncture test was performed using a 10 mm diameter by 15.25 cm long penetration probe. Texture data was recorded using Trapezium software version 2.

The color of amaranth bars was determined with the parameters L^* , a^* and b^* , on CIELAB scale, using with an R-400 colorimeter (Konica Minolta, Williams Drive, Ramsey, NJ, 07446, USA) with a 2nd observer and a D65 illuminator.

2.3.2.3. Temporary Dominance of Sensations (TDS): Panel development and procedure

A total of 150 people were recruited, the availability, motivation, non-aversion to the product and no allergies to amaranth were verified. Subjects were evaluated using sensory tests: Triangular (ISO 4120: 2004), Duo-Trio (ISO 10399: 2004), detection and ranking of basic tastes (ASTM E679-04:2011) in order to determine their ability to discrimination. Results of the discriminative tests were analyzed using a sequential analysis (ISO16820: 2004). A number of 20 subjects were selected (7 men and 13 women between 18 and 54 years old) for the TDS panel.

The sensory procedure for sensory evaluation of amaranth bars included the following stages: 1) selected panelists were trained in four sessions in: the concept of dominant attribute (attribute that captures attention in a defined time) and the use of TDSCC-V1 software (a data collector for TDS owned by Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba, registration number: 03-2019-061812164700-01, México) for tablets. 2) panelists analyzed each sample (samples were 7 to 8 g in weight, approximately half of an amaranth bar was provided) using the following TDS analysis settings: a 10 s delay time (the time for the panelist to take the sample from the packaging and place it near his/her mouth) and 45 s for the evaluation of the samples during product ingestion. During these 45 s, the panelists were free to select the attributes they perceived as dominant. Attributes that panelists had available for selection were: texture attributes: crispy (Crispy), dry (Dry), sandy (Sandy) and hard (Hard); taste: sweet (Sweet) and bitter (Bitter); and flavor: amaranth (Amaranth) and earthy (Earthy). These attributes were selected during a consensus session with the panel. The order of evaluation of samples was randomized and served sequentially and monadically according to a completely randomized experimental design with a factorial arrangement in order

to reduce the potential bias by sample position (Pineau et al., 2012). Samples of 7 to 8 g were presented to panelists in white plastic cups previously coded with a three-digit code randomly obtained. The TDS test was carried out in the Sensory Evaluation Laboratory of Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba.

2.3.3. Statistical analysis

Physicochemical data, was arranged in a completely randomized experimental design (DCA) with 6 treatments and 3 repetitions. Results were evaluated with a one-way analysis of variance and a Tukey test for means comparison. A level of significance of 5% was used to identify the effect of treatment and significant differences between means. The data was analyzed using the R® statistical program version 3.3.1 (R Core Team, 2016) and the RStudio® 1.2.1 environment (RStudio Team, 2018).

The TDS curves of all sensory attributes for a particular sample were included in the same chart. TDS curves were processed using Sensomaker® software version 1.91 (Pinheiro et al., 2013) using data collected with TDSCC-V1. In these charts two lines were included for chance level and significance level. The level of chance is the dominance rate that an attribute would obtain if the attributes were selected by chance. The level of significance line indicates the minimum dominance rate required to consider a specific attribute as significant. The level of significance was obtained using the confidence interval of a binomial proportion based on a normal approximation according to Pineau et al. (2009):

$$P_s = P_o + 1.645 \sqrt{\frac{P_o(1 - P_o)}{n}}$$

Where P_s = lowest value of the significant proportion in time for the TDS curve ($\alpha = 0.05$), $P_o = 1 / p$, where p is the number of attributes, and n = number of subjects per replicate. In this study $P_o = 0.16$; To obtain the minimum number of observations, $n = 6 / (0.16 \times (1-0.16)) = 46$. This is the reason why each of the 20 panelists performed 3 evaluations for each treatment. The total number of evaluations was 60 which was higher than the minimum required (46 evaluations) as indicated by Pineau et al., (2012). A two-factor analysis of variance was used for the analysis of the maximum dominance rate (V_{max}) and the time (T_{max}) in which it took V_{max} to appear from the beginning of the evaluation. V_{max} results were used to generate the sensory map from principal component analysis (PCA). The stability of the sensory map was defined using confidence ellipses (at 90% and with 500 re-sampling) and the Hotelling T^2 test. The trajectory analysis was also performed to visualize the evolution of the amaranth bar sequences in the sensory space. This analysis was performed on a covariance PCA using the values of the dominance rates of the sensory attributes at times $t_5, t_{10}, t_{15}, t_{20}, t_{25}, t_{30}, t_{35}, t_{40}$ and t_{45} , equally spaced representing 0 to 100% of the ingestion period (Lenfant et al., 2009).

2.4. RESULTS AND DISCUSSION

2.4.1. Physicochemical characteristics of amaranth bars

The SSFABs bars had moisture, ash, protein, fat and carbohydrates (**Table 5**) contents similar to each other. The moisture percent values of the SSFABs were on average 4.02% higher than the

COMM bar. Ash percent of the SSFABs bars was higher than that of the COMM bar by 1.43%. The protein percent of the SSFABs was higher than that of the COMM bar by 5.27%. The fat percent of the SSFABs was lower than that of the COMM bar by 1.14%. The percent of carbohydrates of the SSFABs was lower than that of the COMM bar by 9.44%. According to NOM-247-SSA1-2008, cereal-based foods shall comply with a maximum of 15% moisture. In this regard, SSFABs amaranth bars met this requirement. On the other hand, Zenteno (2014) mentions that cereal bars have a protein content of approximately 12.2%. Thus SSFABs bars also complied with the protein content. With respect to raw fiber, the consumption of fiber from seeds or cereals reduces the risk of obesity by 30% (Sánchez Almaraz et al., 2015).

Table 5. Proximal analysis of amaranth bars

Treatment	%	%	%	%	%	%
	Moisture	Ash	Raw protein	Raw fat	Raw fiber	Carbohydrates
SCRO25	11.03±1.24a	2.59±0.03a	12.00±0.11a	4.12±0.34b	2.61±0.59b	67.66±1.59b
SCRO50	11.33±0.08a	2.69±0.14a	12.38±0.10a	3.64±0.01b	2.78±0.56b	67.88±1.48b
ERYT	11.44±0.17a	2.60±0.01a	12.23±0.24a	4.16±0.20b	4.05±0.17a	65.53±0.13b
SCRA	11.91±0.17a	2.54±0.01a	11.69±0.96a	3.74±0.38b	3.32±0.54ab	66.11±0.73b
STEV	11.62±0.19a	2.63±0.01a	12.30±0.19a	4.21±0.37b	3.46±0.31ab	66.11±0.13b
COMM	7.44±0.07b	1.18±0.04b	6.85±0.26b	5.12±0.02a	3.32±0.32ab	76.09±0.63a

* Average values ± standard deviation. Different literals in the same row indicate that there is a statistically significant difference between treatments $P < 0.05$. ERYT = amaranth bar with an erythritol solution, SCRO25 = amaranth bar with a sucrose solution, SCRO50 = amaranth bar with a sucrose solution, STEV = amaranth bar with a steviol solution, SCRA = amaranth bar with a solution of sucralose and COMM = commercial amaranth bar.

The pH (**Table 6**) of the SSFABs bars was similar between them and higher than that of the control bar (COMM). There are differences in pH of amaranth bars with respect to the COMM bar, however, all are considered within the range (pH 4.6 to 7) of low acid content (Alves & Finco, 2008; Aramouni & Abu-Ghoush, 2010; Casaubon-Garcín et al., 2018). In general, SSFABs are considered to be within a range similar to that reported by these authors.

The SSFABs bars had similar water activity (**Table 6**). Water activity values of the SSFABs were on average 0.26 units of a_w and higher than the COMM bar. Regarding water activity Medina et al, (2006) obtained similar values in cereal bars. The differences in water activity in the SSFABs with respect to the COMM bar may be due to the higher proportion of amaranth used in the formulation of these bars. Amaranth is a source of protein that can increase water retention in the product (Medina, 2006).

No differences were found (**Table 6**) for compression force in all amaranth bars. Sucrose bars (SCRO25, SCRO50) and sucralose bars (SCRA50) had a resistance to penetration similar to the COMM bar. The bar formulated with erythritol (ERYT) had the highest penetration resistance value. Amaranth bar formulated with steviol solution (STEV) had the lowest penetration resistance. Regarding to the high variability in the readings of resistance to compression and penetration, this is related to the same structure of the bar, and the position and size of the accessories used for the measurement. Castro and Hombre (2007) mentioned that it is difficult measuring texture using instruments when the property being measured is unknown, as different parameters may arise that can be misinterpreted. Additionally, various factors influence texture measurements such as the gelatinization of starches, the reduction of the moisture content of amaranth bars during baking, the denaturation of proteins and the crystallization of sugar with the baking temperature (Torres et al., 2015; Salazar et al., 2015).

Regarding the color (**Table 7**) in the amaranth bars, lower luminosity values (L^*) were found for the SSFABs compared to the COMM bar with an average difference of 9.56 units. Values for a^* in amaranth bars were similar and were located on the red side of the a^* scale. Values for b^* indicated that the color of the amaranth bars was on the yellow side of the scale and only the SCRO50 and STEV treatment were different from the COMM bar. The result observed in color of amaranth bars may be due to the development of the Maillard reactions that occur when products are baked, these reactions being the ones that induce the formation of melanoidins, causing a visible color change (roasted color) (Quitral et al, 2017). Gupta & Bhattacharya, (2017) evaluated the color in amaranth snacks by finding reddish and brown tones (L^* 36 to 64, a^* 8 to 19 and b^* 17 to 42) due to the drying and baking of the bars, these values are similar to those found in this study.

Table 6. pH, a_w , texture and of amaranth bars

Treatment	pH	a_w	Compression	Pricking
SCRO25	6.56 ± 0.10a	0.72 ± 0.00a	528.30 ± 26.63a	19.37 ± 11.04ab
SCRO50	6.53 ± 0.06a	0.71 ± 0.01a	350.09 ± 100.45a	30.23 ± 7.71ab
ERYT	6.57 ± 0.07a	0.74 ± 0.01a	508.92 ± 62.63a	32.11 ± 3.09a
SCRA	6.49 ± 0.07a	0.74 ± 0.01a	299.38 ± 178.82a	12.84 ± 4.63ab
STEV	6.50 ± 0.11a	0.72 ± 0.01a	489.45 ± 94.87a	11.17 ± 5.22b
COMM	5.15 ± 0.49b	0.46 ± 0.05b	540.05 ± 2.06a	21.44 ± 9.82ab

* Average values ± standard deviation. Different literals in the same row indicate that there is a statistically significant difference between treatments $P < 0.05$ according to the Tukey test. L^* = luminosity, a^* = + indicates red and - is green; b^* = + indicates yellow and - is blue. ERYT = amaranth bar with an erythritol solution, SCRO25 = amaranth bar with a sucrose solution, SCRO50 = amaranth bar with a sucrose solution, STEV50 = amaranth bar with a steviol solution, SCRA50 = amaranth bar with a solution of sucralose and COMM = control amaranth bar.

Table 7. Color amaranth bars

Treatment	L*	a*	b*
SCRO25	56.95 ± 4.46b	6.42 ± 0.88a	26.15 ± 0.71ab
SCRO50	56.87 ± 3.85b	6.46 ± 1.18a	25.52 ± 1.52b
ERYT	58.69 ± 2.48b	6.67 ± 1.21a	26.18 ± 1.90ab
SCRA	57.49 ± 1.70b	6.56 ± 1.13a	26.15 ± 1.72ab
STEV	56.97 ± 3.67b	6.33 ± 0.91a	24.81 ± 1.00b
COMM	66.96 ± 0.49a	5.65 ± 0.35a	28.12 ± 1.45a

* Average values ± standard deviation. Different literals in the same row indicate that there is a statistically significant difference between treatments $P < 0.05$ according to the Tukey test. L * = luminosity, a * = + indicates red and - is green; b * = + indicates yellow and - is blue. ERYT = amaranth bar with an erythritol solution, SCRO25 = amaranth bar with a sucrose solution, SCRO50 = amaranth bar with a sucrose solution, STEV50 = amaranth bar with a steviol solution, SCRA50 = amaranth bar with a solution of sucralose and COMM = control amaranth bar.

2.4.2. Dominant Attributes in Time

In **Figure 1 a 6**, the TDS curves by treatment are presented. Temporal dominance curves allowed to identify the proportion of panelists who chose an attribute as dominant at a given time based on their dominance rate. Amaranth bar SCRO25 (**Figure 1**) was perceived with a dominant Crispy texture from 4 to 15 s ($V_{max} = 42\%$ and $T_{max} = 8.7$ s), and a dominant Amaranth flavor from 16 to 45 s ($V_{max} 46\%$ and $T_{max}=26.5$ s).

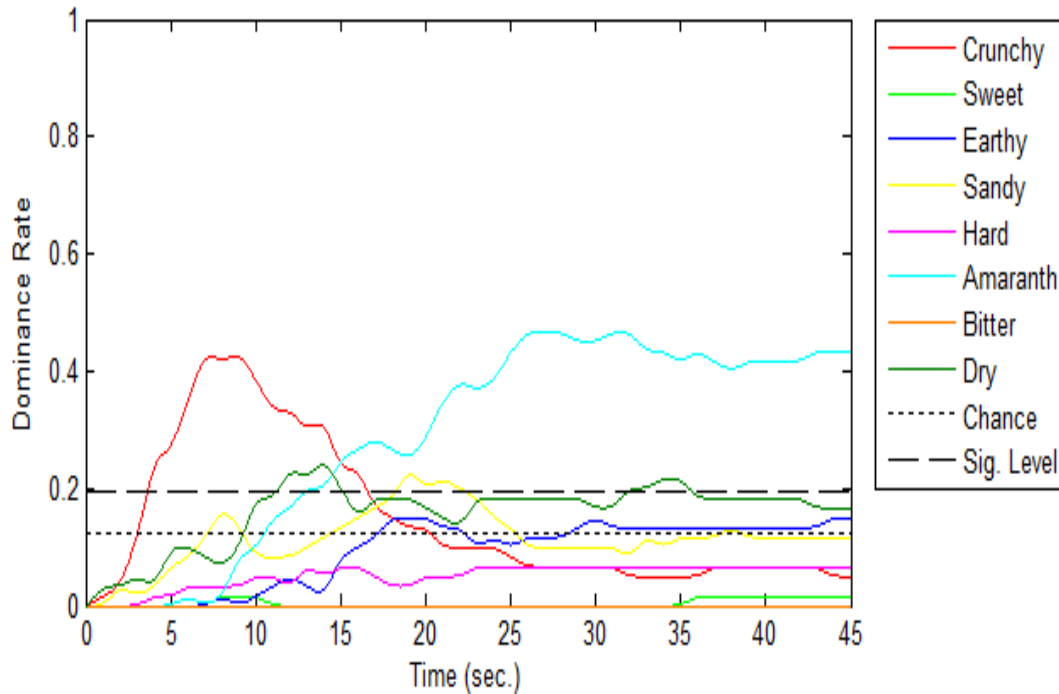


Figure 1. SCRO25 amaranth bar TDS curve. The dominant attributes are: Crunchy and Amaranth. X axis indicates the time in seconds. Y axis indicates the dominance rate. N = 60 evaluations. Opportunity = 0.12 Level of significance = 0.2

The SCRO50 amaranth bar (**Figure 2**) was perceived primarily with a dominant Crunchy texture from 5 to 18 s ($V_{max} = 48\%$ and $T_{max} = 9.3$ s), a dominant Dry texture of 23 s and 38 to 43 s ($V_{max} = 25\%$ and $T_{max} = 41.5$ s) and a dominant Amaranth flavor from 19 to 22 s and from 23 to 39 s ($V_{max} = 39\%$ and $T_{max} = 32.2$ s).

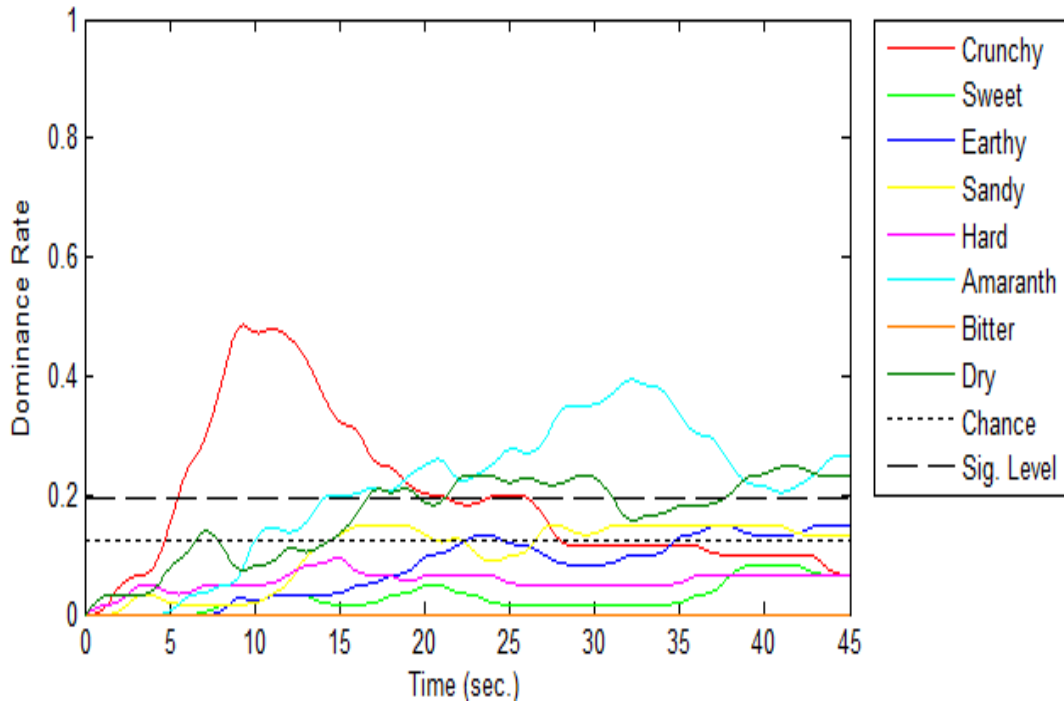


Figure 2. TDS curve of amaranth bar SCRO50. The dominant attributes are: Crispy, Amaranth and Dry. X axis indicates the time in seconds. Y axis indicates the dominance rate. N = 60 evaluations. Opportunity = 0.12 Level of significance = 0.2

The ERYT amaranth bar (**Figure 3**) was perceived primarily with a dominant Crunchy texture from 4 to 15 s ($V_{max} = 19\%$ and $T_{max} = 10.8$ s), a dominant Dry texture from 40 to 45 s ($V_{max} = 5\%$ and $T_{max} = 32.5$ s), a dominant Amaranth flavor at 34 s ($V_{max} = 40\%$ and $T_{max} = 44.5$ s) and a dominant Sweet taste from 16 to 33 s and 35 to 40 s ($V_{max} = 45\%$ and $T_{max} = 9.3$ s).

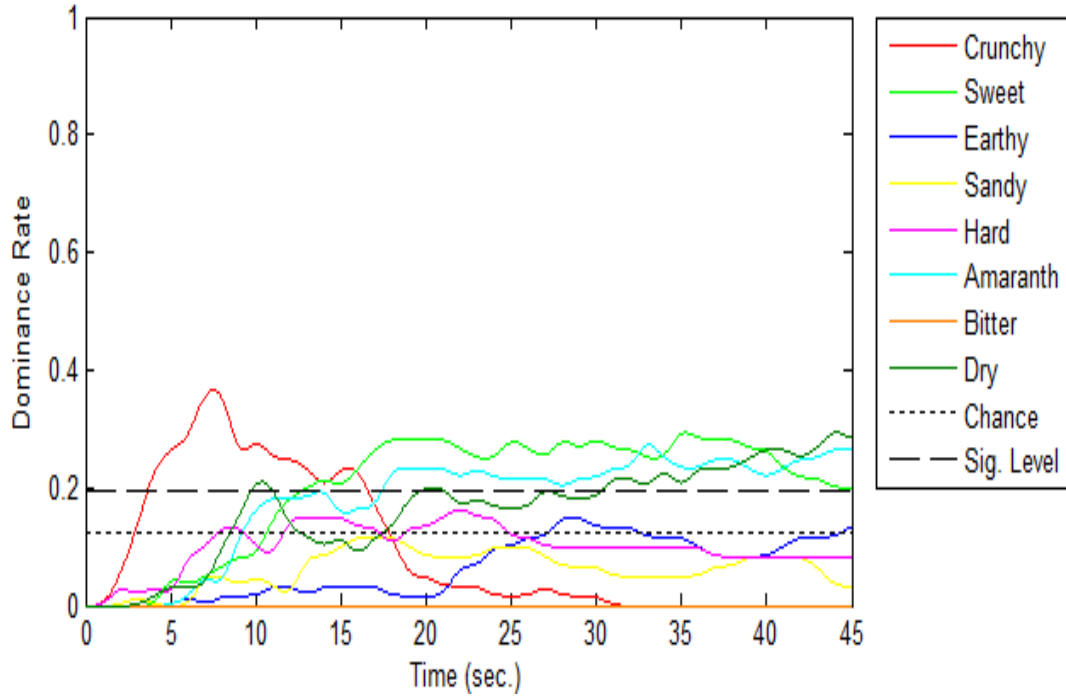


Figure 3. ERYT Amaranth bar TDS curve. The dominant attributes are: Crispy, Sweet, Amaranth and Dry. X axis indicates the time in seconds. Y axis indicates the dominance rate. N = 60 evaluations. Opportunity = 0.12 Level of significance = 0.2

The SCRA amaranth bar (**Figure 4**) was perceived with a dominant Crispy texture from 6 to 15 s ($V_{max} = 33\%$ and $T_{max} = 8.1$ s), a dominant Dry texture from 18 to 30 s ($V_{max} = 26\%$ and $T_{max} = 20.8$ s), a dominant Amaranth flavor from 23 to 45 s ($V_{max} = 30\%$ and $T_{max} = 45$ s) and dominant Sweet taste from 16, 17 and 31 to 35 s ($V_{max} = 25\%$ and $T_{max} = 17.3$ s).

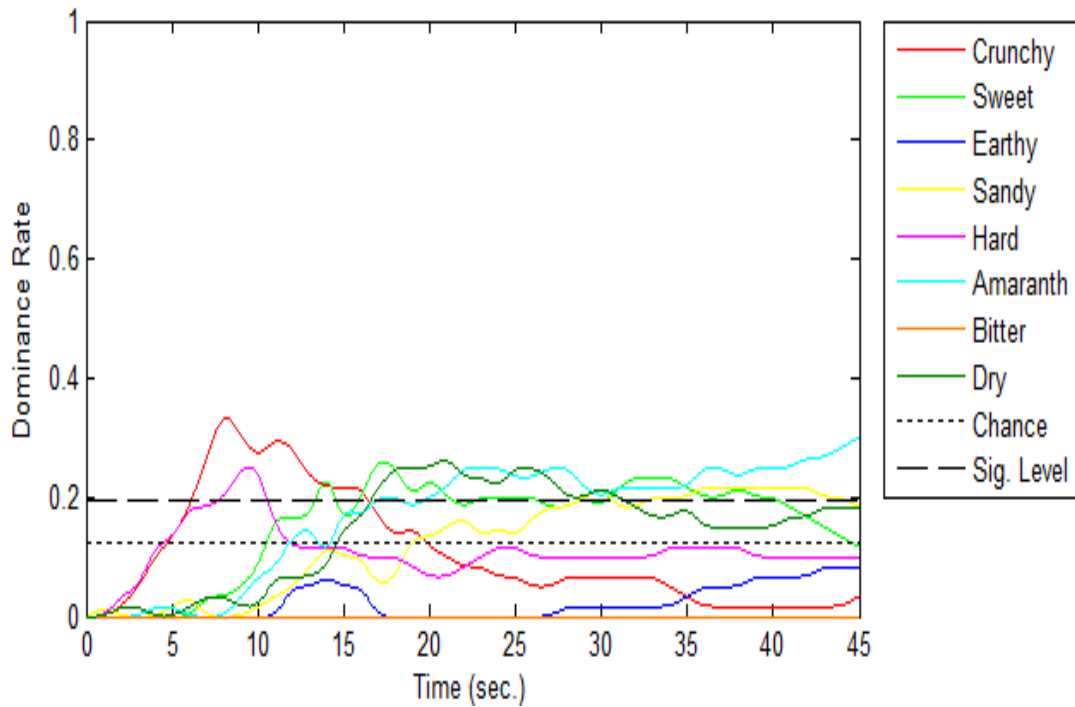


Figure 4. TDS curve of SCRA amaranth bar. The dominant attributes are: Crispy, Sweet, Amaranth and Dry. X axis indicates the time in seconds. Y axis indicates the dominance rate. N = 60 evaluations. Opportunity = 0.12 Level of significance = 0.2

The STEV amaranth bar (**Figure 5**) was perceived with a dominant Crunchy texture from 7 to 13 s ($V_{max} = 28\%$ and $T_{max} = 9.5$ s), a dominant Dry texture from 17 to 45 s ($V_{max} = 29\%$ and $T_{max} = 32$ s) and a dominant Sweet taste from 20 to 28 s ($V_{max} = 26\%$ and $T_{max} = 28.2$ s).

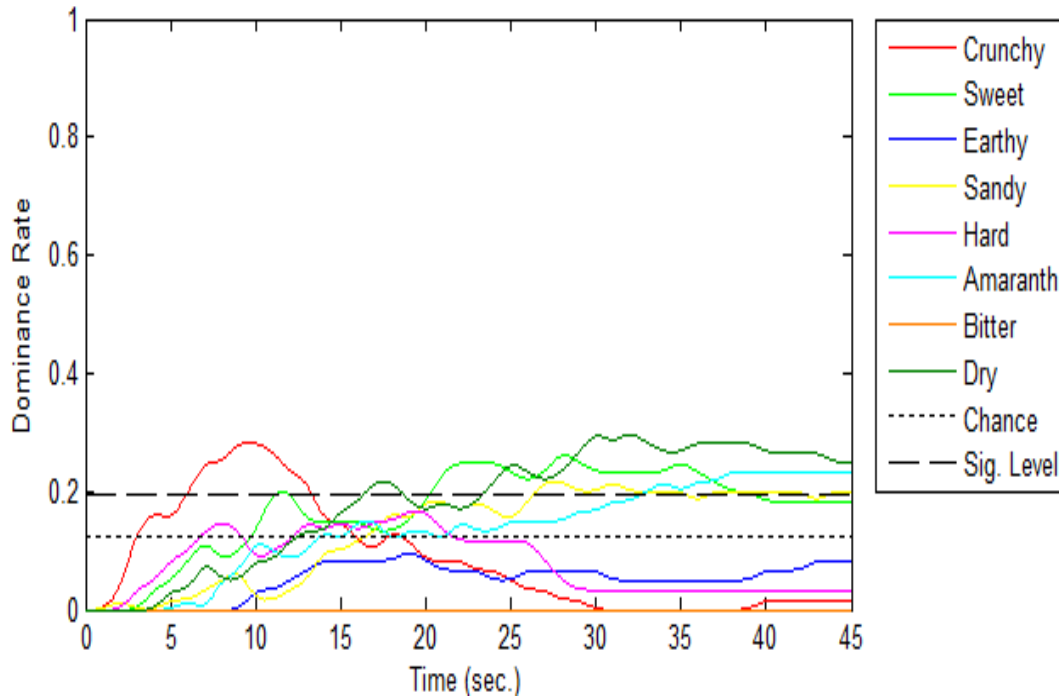


Figure 5. TDS curve of STEV amaranth bar. The dominant attributes are: Crispy, Sweet and Dry. X axis indicates the time in seconds. Y axis indicates the dominance rate. N = 60 evaluations. Opportunity = 0.12 Level of significance = 0.2

The COMM amaranth bar (**Figure 6**) was perceived with a dominant Sweet flavor from 4 to 19 s ($V_{max} = 45\%$ and $T_{max} = 9.3$ s), and a dominant Amaranth flavor from 20 to 45 s ($V_{max} = 40\%$ and $T_{max} = 44.5$ s).

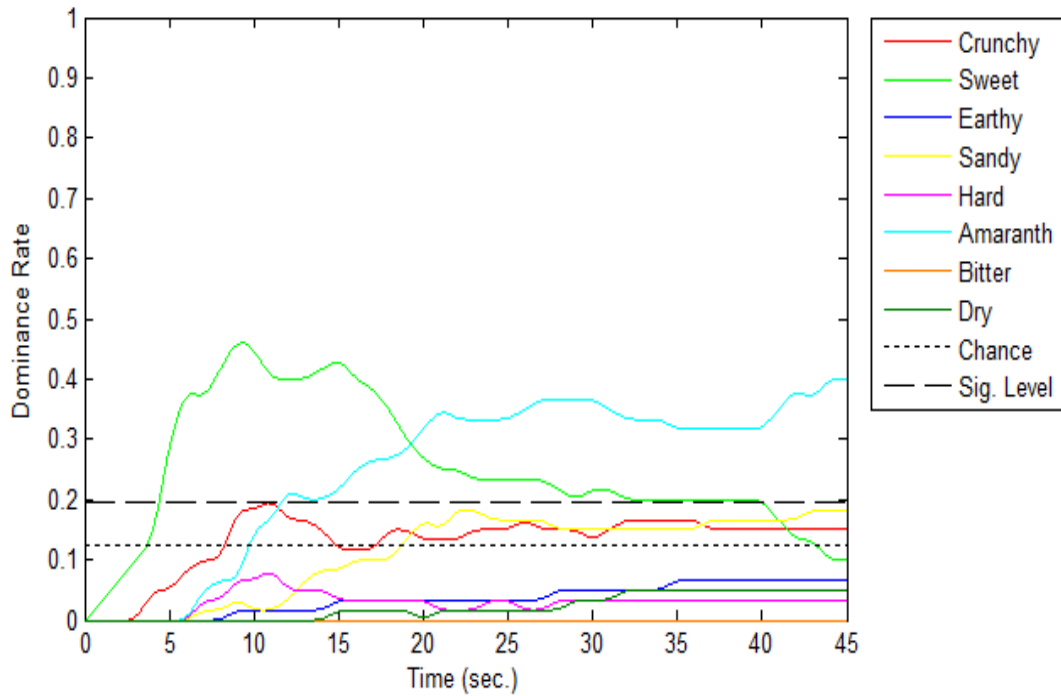


Figure 6. TDS curve of COMM control amaranth bar. The dominant attributes are: Sweet and Amaranth. X axis indicates the time in seconds. Y axis indicates the dominance rate. N = 60 evaluations. Opportunity = 0.12 Level of significance = 0.2

The maximum dominance rate (Vmax) of the attributes of each treatment is observed in **Table 8**. This table concentrates the percentage of panelists who detected each attribute as dominant.

Table 8. Maximum dominance rate (Vmax) of the attributes

Treatment	Crispy	Sweet	Earthy	Sandy	Hard	Amaranth	Dry
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
SCRO25	42	1.6	1.5	22	6.6	46	23
SCRO50	48	8.3	1.5	1.5	9.3	39	25
ERYT	19	45	6.6	18	7.7	40	5
SCRA	33	25	8.3	21	25	30	26
STEV	28	26	9.5	21	16	23	29
COMM	19	45	6.6	1.8	7.7	40	5

The bitter attribute was not included since it was not perceived by the panelists.

Biplot constructed with results from PCA using average Vmax data is presented in **Figure 7**. In this representation, it was observed that there was a positive relationship between the Hard and Sandy attribute. The Crispy attribute had a positive relationship with the Earthy attribute. The Amaranth attribute had a negative relationship with the Hard and Sandy attributes. The Sweet attribute had a negative relationship with the Crispy and Earthy attributes. On the other hand, SCRA and STEV amaranth bars were perceived with higher dominance in the Hard and Sandy attributes. The ERYT and COMM amaranth bars were perceived with higher dominance in the Sweet attribute. The amaranth bars SCRO25 and SCRO50 were perceived with higher dominance in the attributes Crunchy, Earth and Amaranth.

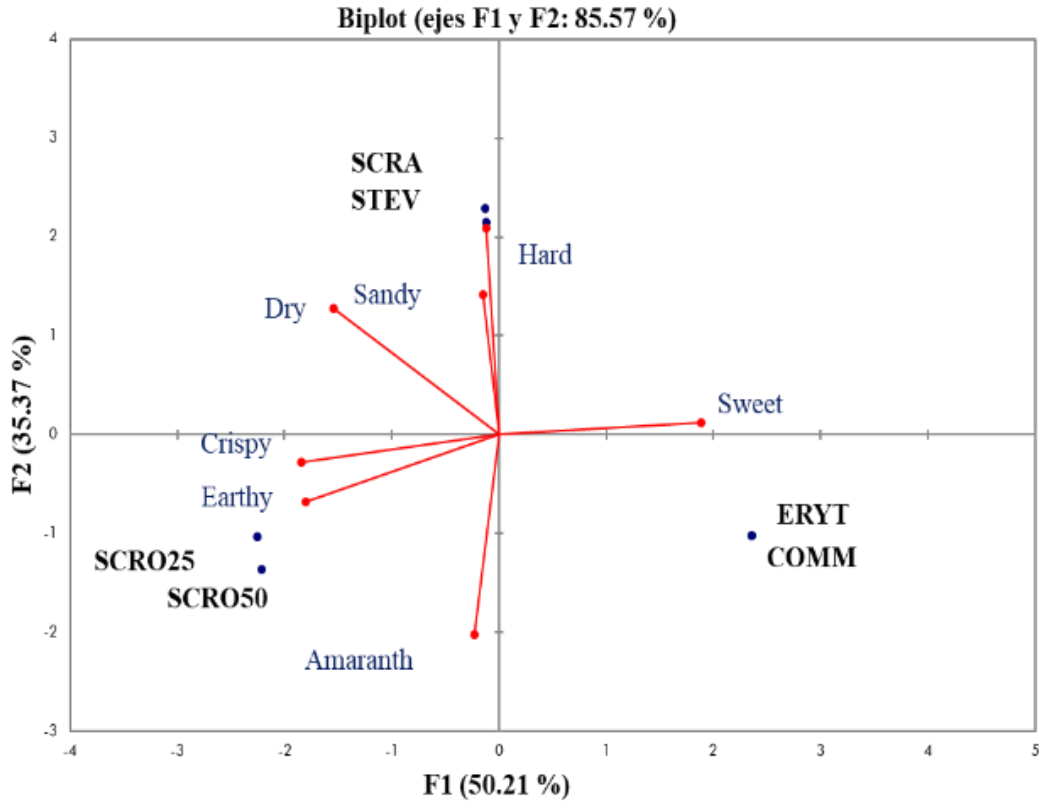


Figure 7. (A) Analysis of main components with Vmax data. SCRO25 = Amaranth bar with a sucrose solution; ERYT = Amaranth bar with an erythritol solution; SCRO50 = Amaranth bar with a sucrose solution; SCRA = Amaranth bar with a sucralose solution; STEV = Amaranth bar with a steviol solution, COMM = Amaranth control bar. Attributes: Crunchy, Sandy, Hard, Dry, Sweet, Bitter, Amaranth and Earth. The bitter attribute was not included since it was not perceived by the panelists

Confidence ellipses (**Figure 8**) showed that all treatments were perceived as different from each other in terms of Vmax. However, STEV and ERYT were located close to each other, as well as, SCRO25 and COMM.

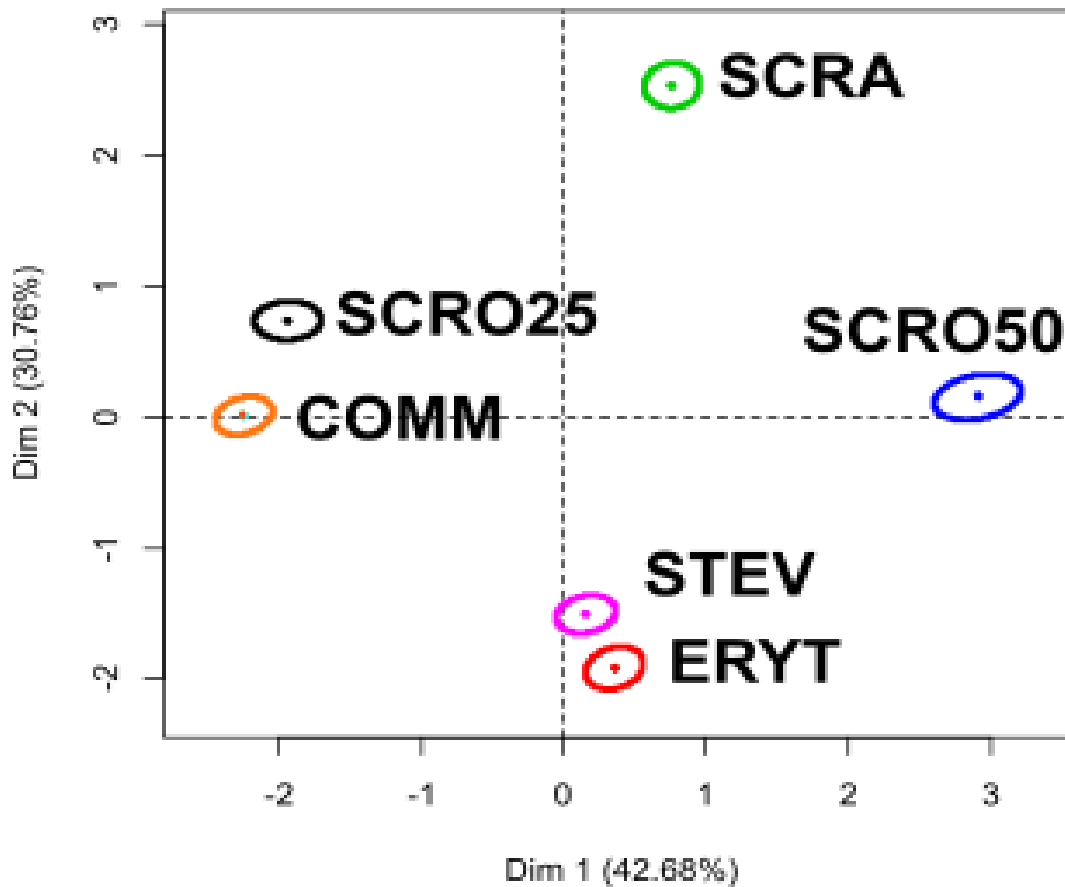


Figure 8. Ellipses of trust. Confidence ellipses (90% and 500 resampling) performed with the 0/1 data. SCRO25 = Amaranth bar with a sucrose solution; ERYT = Amaranth bar with an erythritol solution; SCRO50 = Amaranth bar with a sucrose solution; SCRA = Amaranth bar with a sucralose solution; STEV = Amaranth bar with a steviol solution, COMM = Amaranth control bar.

The results of panel's performance when choosing each attribute in the evaluation of each treatment in time are shown in **Table 9**. The attributes considered for TDS allowed to differentiate the treatments of amaranth bars. There was a significant difference ($p < 0.05$) between panelists when evaluating the attributes in each product over time. Factor time and interaction time x product

demonstrated that attributes were perceived as dominant differently over the course of sample evaluation.

Table 9. Effect of panelists performance

Attribute	Product	Time	Product x Time
Crispy	<0.0001	<0.0001	0.011
Sweet	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Earthy	<0.0001	<0.0001	0.0007
Sandy	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Hard	<0.0001	<0.0001	0.0068
Amaranth	<0.0001	<0.0001	0.0119
Dry	<0.0001	<0.0001	<0.0001

Probability values (Pp) of the ANOVA for the determination of the attributes that allow differentiating the amaranth bar. ERYT = amaranth bar with an erythritol solution, SCRO25 = amaranth bar with a sucrose solution, SCRO50 = amaranth bar with a sucrose solution, STEV = amaranth bar with a steviol solution, SCRA = amaranth bar with a solution of sucralose and COMM = brand control amaranth bar.

The use of sweetener solutions (erythritol, sucralose and sucrose) in the preparation of amaranth bars as substitutes for the traditional binder caused differences in the detection of perceived sensory attributes compared to the COMM amaranth bar. During the oral processing, a solid food is fractured by chewing. The food fragments are covered with saliva and again fragmented or a bolus is formed. In this process the structure of the food changes due to the applied forces, heat and enzymatic effects (Pascua et al., 2013).

In the study by Fiszman & Tárrega (2017) carried out with solid products and analyzed with TDS, the hard, soft, firm and crunchy attributes were found as dominant in the first third of the time (0

to 15 s) and for the evaluation of products with Amaranth, the hard and crunchy attribute have been dominant (Ramos-Diaz, Rinnan, & Jouppila, 2019). In this study, the Crunchy attribute was the one that was observed as dominant in the first third of the time as amaranth bars are solid products where the crunchy attribute is a characteristic attribute. According to Chen (2015) after the first chewing stage, solid foods (such as cookies or nuts) tend to undergo a high breakage. Regarding the perception of the dry dominant attribute, this agrees with Fiszman & Tárrega (2017) who mentioned that in dry foods one of the main attributes is dry since dry foods require the addition of enough saliva to swallow them (Fiszman & Tárrega, 2017).

Cardoso & Bolini (2008); DuBois & Prakash (2012); Kinghorn et al. (2010) and Pawar et al. (2013), mention that the steviol sweetener has a characteristic bitter taste. However, this flavor was not perceived by the panelists in any TDS curve of the SSFABs. Furthermore, taking into account the dominance of the sensory characteristics evaluated in TDS, the ERYT amaranth bar was the closest to the COMM bar in terms of the maximum dominance rate. Amaranth flavor was not masked by the taste of sweeteners, rather it was perceived by panelists.

The pattern of evolution of the trajectories was different between the treatments. The trajectory graphs show the route the sample follows throughout the sensory space from the first bite (0%) to swallowing (100%) (Lenfant et al., 2009). These results coincide with the study conducted by Le Calvé et al. (2019), who found differences in the trajectories of temporal perception in biscuits. The first two components of trajectory PCA accounted for 59.21% of the total variance observed among samples (**Figure 9**). The treatments could be divided into three groups. The first group included SCRO25 and SCRO50 treatments that followed similar trajectories going from crunchy to Earthy and Amaranth. The second group included SCRA, ERYT and STEV treatments that followed similar trajectories going from crunchy to Hard, Sweet, Dry and Sandy. COMM followed a different trajectory from the others. The COMM bar went from Hard, Sweet, Earth and Amaranth.

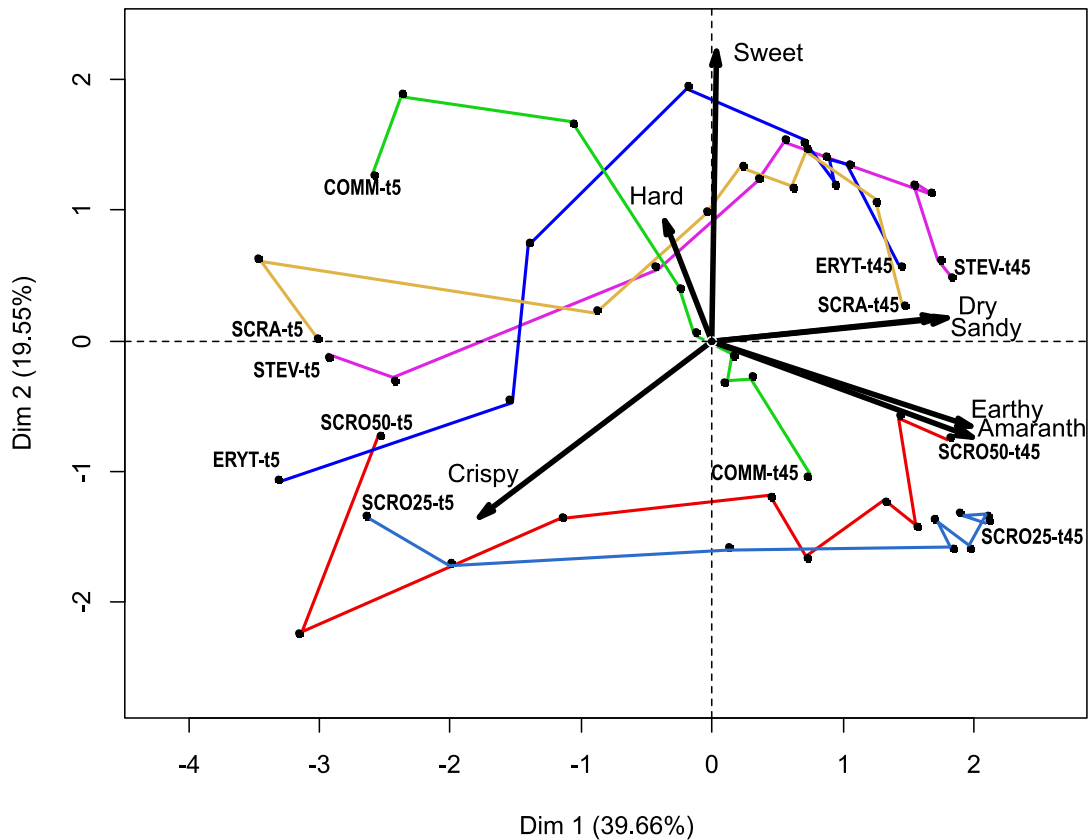


Figure 9. PCA with trajectory of dominance rates from time t5 (5 s) to time t45 (45 s) of amaranth bars. SCRO25 = Amaranth bar with a sucrose solution; ERYT = Amaranth bar with an erythritol solution; SCRO50 = Amaranth bar with a sucrose solution; SCRA = Amaranth bar with a sucralose solution; STEV = Amaranth bar with a steviol solution, COMM = Amaranth control bar. t5 = 5 seconds and t45 = 45 seconds.

According to Pineau et al., (2012) the panelists chose specific attributes at specific stages of the chewing process during the evaluations. Two sensory modalities were included for this investigation: texture and flavor. It was found that texture attributes appeared in the first third of the evaluation, given that the crispy attribute was found dominant. In the last third of the evaluation time the flavor attributes appeared where the Amaranth flavor was dominant. This trend was also presented in the research of Lenfant et al. (2009), Le Calvé et al. (2019) and Beaton & Meyners (2018), in which they mention that the attributes belonging to the texture modality were perceived

in the first third of the evaluations, and the attributes belonging to the flavor and smell modality are perceived in the second and third of the evaluation.

2.5. CONCLUSION

The use of sweetener solutions for the formulation of amaranth bars impacted the physical, chemical characteristics and the generation of dominant attributes. In the proximal analysis, amaranth bars met the standards established by NOM-247-SSA1-2008 and even the amount of fat and carbohydrates was reduced. Based on the results of the dominance rates over time, the bar prepared with erythritol was more similar to the commercial bar. The dominant attributes in time were crispy, dry, sweet and amaranth. The use of sweetener solutions allowed to obtain amaranth bars with higher protein content and lower sugar content that may be suitable for consumers who require products with lower caloric content.

2.6. ACKNOWLEDGMENTS

Authors like to acknowledge to Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) for the M. Sc. scholarship awarded to the first author and Colegio de Postgraduados, for financing this research. Authors have no conflicts of interest to disclose.

2.7. REFERENCES

- A.O.A.C. (1980). Official Methods of Analysis of the A.O.A.C. International. Washington D.C., USA: Association of official Analytical Chemists. Obtenido de Association of Official Analytical chemists.
- A.O.A.C. (2000). Official Methods of Analysis of the A.O.A.C. International. Maryland, USA: Association of official analytical Chemists.
- Albert, A., Salvador, A., Schlich, P., & Fiszman, S. (2012). Comparison between temporal dominance of sensations (TDS) and kye-attribute sensory profiling for evaluating solid food with constrasting textural layers: Fish sticks. *Food Quality and Preference*, 24, 111-118.
- Alves M & Finco A. (2008). Preparation of a cereal bar with the addition of sweet potato flour. *Brasil*. ISSN 16760018.
- Aramouni, F. M., & Abu-Ghoush, M. H. (2010). Physicochemical and sensory characteristics of no-bake wheat-soy snack bars. *Journal Sci Food Agric*.
- ASTM, (2011). Standard Practice for Determination of Odor and Taste Thresholds. Standard Designation. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Beaton, D. & Meyners M. (2018). Powerful visualization of product-attribute associations for temporal data. *Food Quality and Preference.*, <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2018.09.002>
- Cardoso, J. M. (2008). Descriptive profile of peach nectar sweetened with sucrose and different sweeteners. *Journal of Sensory Studies*, 804-816.

- Casaubon-Garcín, P., Lamshing-Salinas, P., Isoard-Acosta, F., Lemen-Meyer, S., Delgado-Franco, Dagoberto & Pérez-Lizaur, A. Food pH: A tool for the management of patients with gastroesophageal reflux ?. *Mexican Journal of Pediatrics*, 89-94.
- Castro, E. & Hombre R. (2007). Mechanical parameters and food texture.
- Chen, J. (2015). Food oral processing: Mechanisms and implications of food oral destruction. *Trends in Food Science & Technology*, 222-228.
- DuBois, G. E., & Prakash, I. (2012). Non-caloric sweeteners, sweetness modulators, and sweetener enhancers. *Annual Reviews of Food Science and Technology*, 3, 353–380.
- Dúran A., S., Córdon A., K., & Rodríguez N., M. P. (2013). Non-nutritive sweeteners, risks, appetite and weight gain. *Chilean Journal of Nutrition*, 40(3).
- Equipo RStudio. (2018). RStudio: Integrated development for R. Obtained from RStudio, Inc.
- Fizman, S., & Tárrega, A. (2017). The dynamics of texture perception of hard solid food: A review of the contribution of the temporal dominance of sensations technique. *Journal of Texture Studies*, 202-212. doi: 10.1021/bk-2015-1191.ch011
- Gupta, Monika & Bhattacharya, Sila. (2017). Effect of ingredients on the quality characteristics of gluten free snacks. *Journal Food Sci Technol*, 54(12), 3989-3999.
- ISO (International Organization for standardization) ISO 10399:2004: Sensory Analysis- Methodology- Duo-Trio test. Geneva, Switzerland.
- ISO (International Organization for standardization) ISO 16820:2004: Sensory Analysis- Methodology-Sequential analysis. Geneva, Switzerland.

- ISO (International Organization for standardization) ISO 4120:2004: Sensory Analysis- Methodology- Triangle test. Geneva, Switzerland.
- Jacobsen, A., Baú, T., & Alves da cunha, M. A. (2010). High protein bar: formulation, characterization and sensorial evaluation. *Journal of Agroindustrial Technology*, 42-51.
- Kinghorn, A. D., Chin, Y.-W., Pan, L., & Jia, Z. (2010). Natural products as sweeteners and sweetness modifiers. In H.-W. Liu & L. Mander (Eds.), *Comprehensive natural products II*, 269–315.
- Lawless, H., & Heymann, H. (2010). *Sensory Evaluation of Food, Principles and Practices*. New York.
- Le Calvé, B., Saint-Léger, C., Gaudreau, N., & Cayeux, I. (2019). Capturing key sensory moments during biscuit consumption: Using TDS to evaluate several concurrent sensory modalities. *Journal of Sensory Studies*.
- Lenfant, F., Loret, C., Pineau, N., Hartmann, C. & Martin, N. (2009). Perception of oral food breakdown: The concept of sensory trajectory. *Appetite*, **52**, 659–667.
- Medina H., Margory D., López Julio, Bueso Francisco, Moncada Edward. (2006). Development of a nutritional bar based on granola and red beans (*Phaseolus vulgaris*).
- NOM (Official Mexican Standard). (2008). NOM-247-SSA1: Foods based on: cereals, edible seeds, flour, semolina or semolina or their mixtures. Mexico.
- NOM (Official Mexican Standard). 2009. NOM-251-SSA1: Hygiene practices for the process of food, beverages or nutritional supplements. Mexico.

- World Health Organization. (2016). WHO recommends applying measures worldwide to reduce the consumption of sugary drinks and their consequences for health. World Health Organization.
- World Health Organization. (2018). Data and numbers. World Health Organization.
- Palacio, E., hurtado, J., Arroyave, J., Cardona M., & Martínez-Girón, J. (2017). Natural sweeteners used to make chocolates. *Biotechnology in the Agricultural and Agroindustrial Sector*, 15(2), 142-152.
- Pascua, Y., Koç, H., & Foegeding, E. (2013). Food structure: Roles of mechanical properties and oral processing in determining sensory texture of soft materials. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 18 (4), 324-333. <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2013.03.009>.
- Pawar, R. S., Krynitsky, A. J., & Rader, J. I. (2013). Sweeteners from plants—with emphasis on *Stevia rebaudiana* (Bertoni) and *Siraitia grosvenorii* (Swingle). *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 405, 4397–4407.
- Pineau, N., De Bouillé, A., Lepage, M., Lenfant, F., Schlich, P., Martín, N., & Rytz, A. (2012). Temporal Dominance of Sensations: What is good attribute list? *Food Quality and Preference*, 26(2), 159-16.
- Pineau, N., Schlich, P., Cordelle, S., Mathonnière, C., Issanchou, S., Imbert, A., Rogeaux, M., Etiévant, P. & Köster, E. (2009). Temporal dominance of Sensations: Construction of the TDS curves and comparison with time- intensity. *Food Quality and Preference*, 20 (6), 450-455.
- Pinheiro, A. C. M., Nunes, C. A., & Vietoris, V. (2013). SensoMaker: a tool for sensorial characterization of food products. *Ciencia e Agrotecnología*, 37(3), 199-201.

- Quitral, Vilma, González, Ma. Angélica, Carrera, Constanza, Gallo, Gabriela, Moyano, Paola, Salinas, Julieta, & Jiménez, Paula. (2017). Effect of non-caloric sweeteners on the sensory acceptability of a baked product. *Chilean Journal Nutrition*, 44(2), 137-143. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182017000200004>.
- R Core Team. (2016). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical computing.
- Ramos-Diaz, J. M., Rinnan, A., & Jouppila, K. (2019). Application of NIR imaging to the study of expanded snacks containing amaranth, quinoa and kañiwa. *LWT*, 102, 8-14.
- Salazar, D. M., Acurio, L. P., Pérez, L. V., Valencia, A. F., & Peñafiel, J. P. (2015). Effect of the use of emulsifiers on the texture of amaranth energy bars. *Journal of Food Today*, 23(36).
- SHCP. (2014). Non-basic food tax with high caloric density. Secretariat of Finance and Public Credit.
- SHCP. (2019). Special tax on production and services. Secretariat of Finance and Public Credit..
- Torres, J. D., Torres, R., Acevedo, D., & Gallo-García, L. (2015). Instrumental evaluation of the texture parameters of lemon cookies. *Journal Vector* , 10, 14-25.
- Valencia, F. G., Millan, L. C., & Ramirez, N. H. (2008). Evaluation of the effects on the physicochemical, sensory and textural properties of polydextrose, fructose and sorbitol as sugar substitutes in the production of arequipe. *Journal of Research Lasallian*.
- Zenteno, S. (2014). Energy cereal bars and enriched with other plant sources. *Journal of Research University*.

CONCLUSIONES GENERALES

Fue posible elaborar barras de amaranto con soluciones de edulcorantes como sustituto del aglomerante tradicional como alternativa para la elaboración de barras de amaranto bajas en calorías, logrando un menor porcentaje de grasa, carbohidratos y un mayor porcentaje de proteína en el análisis proximal, además, las barras de amaranto cumplieron con los estándares establecidos por NOM-247-SSA1-2008. También, se obtuvieron resultados similares con respecto a investigaciones previas de otros autores en cuanto al tipo de atributos percibidos por los panelistas en las evaluaciones, estos fueron crujiente en la primera etapa del proceso de masticación como textura, dulce y amaranto, los cuales fueron percibidos en la segunda y tercera etapa de masticación como atributos de sabor. La técnica de Dominancia Temporal de las Sensaciones (TDS) fue de gran utilidad en este estudio para verificar que los panelistas no percibieran el sabor amargo que suelen dejar los edulcorantes. Las barras de amaranto formuladas con soluciones de edulcorantes lograron preservar sus características básicas de crujiente y sabor a amaranto, con base en los resultados de las tasas de dominancia a lo largo del tiempo, la barra preparada con eritritol fue más similar a la barra comercial. Esta innovación se recomienda ser implementada por los productores de barras de amaranto que requieran de hacer mejoras en sus productos para llegar a nuevos segmentos de mercado.

ANEXOS

Registro de Software TDSCC-V1

CERTIFICADO

Registro Público del Derecho de Autor

Para los efectos de los artículos 13, 162, 163 fracción I, 164 fracción I, 168, 169, 209 fracción III y demás relativos de la Ley Federal del Derecho de Autor, se hace constar que la **OBRA** cuyas especificaciones aparecen a continuación, ha quedado inscrita en el Registro Público del Derecho de Autor, con los siguientes datos:

AUTORES: LOPEZ ESPINDOLA MIRNA
HERRERA CORREDOR JOSE ANDRES
MARTINEZ GARCIA NAYELI
RAMIREZ RIVERA EMMANUEL DE JESUS

TITULO: TDSCC-V1

RAMA: PROGRAMAS DE COMPUTACION

TITULAR: COLEGIO DE POSTGRADUADOS (CON FUNDAMENTO EN EL ARTICULO 83 DE LA L.F.D.A. EN RELACION CON EL ARTICULO 46 DEL R.L.F.D.A.)

Con fundamento en lo establecido por el artículo 168 de la Ley Federal del Derecho de Autor, las inscripciones en el registro establecen la presunción de ser ciertos los hechos y actos que en ellas consten, salvo prueba en contrario. Toda inscripción deja a salvo los derechos de terceros. Si surge controversia, los efectos de la inscripción quedarán suspendidos en tanto se pronuncie resolución firme por autoridad competente.

Con fundamento en los artículos 2, 208, 209 fracción III y 211 de la Ley Federal del Derecho de Autor; artículos 64, 103 fracción IV y 104 del Reglamento de la Ley Federal del Derecho de Autor; artículos 1, 3 fracción I, 4, 8 fracción I y 9 del Reglamento Interior del Instituto Nacional del Derecho de Autor, se expide el presente certificado.

Número de Registro: 03-2019-061812164700-01

México D.F., a 18 de junio de 2019

EL DIRECTOR DEL REGISTRO PÚBLICO DEL DERECHO DE AUTOR

JESUS PARETS GOMEZ



Software TDSCC-V1 para captura de datos de la Evaluación de Dominancia Temporal de las Sensaciones.



Colegio de Postgraduados
Campus Córdoba



Laboratorio de Análisis Sensorial



ITSZ
INGENIEROS
INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE ZONGOLICA
Instituto Tecnológico Superior de Zongolica

Sistema de Captura de Datos para la Metodología Dominancia Temporal de Sensaciones

Ingrese los datos que se solicitan

Panelista:

Código :

Sesión :

Tiempo de espera:

Tiempo Total :

Datos registrados en software TDSCC-V1.

Gracias por su Evaluación Panelista 1
Sesión 1

Estos son los datos registrados

Código	Segundo	Atributo 1	Atributo 2	Atributo 3	Atributo 4	Atributo 5	Atributo 6	Atributo 7	Atributo 8
Producto 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Producto 3	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Producto 3	2	1	0	0	0	0	0	0	0
Producto 3	3	1	0	0	0	0	0	0	0
Producto 3	4	0	0	1	0	0	0	0	0
Producto 3	5	0	0	1	0	0	0	0	0
Producto 3	6	0	0	0	0	0	0	0	1
Producto 3	7	0	0	0	0	0	0	0	1
Producto 3	8	0	0	0	0	0	0	0	1
Producto 3	9	0	0	0	0	0	0	0	1
Producto 3	10	0	0	0	0	0	0	0	1

Regresar al Inicio