



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
MAESTRÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA
AGROALIMENTARIA

PERCEPCIÓN DE DULZURA EN YOGUR NATURAL Y YOGUR SABORIZADO EDULCORADO CON NEOTAME

T E S I S

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIA Y
TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA

P R E S E N T A :

VICTORIA PIEDRAS CRUZ

Chapingo, Estado de México, Diciembre de 2006



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

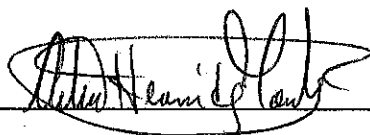


Percepción de dulzura en yogur natural y yogur saborizado edulcorado con Neotame

Tesis realizada por **Victoria Piedras Cruz** bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA

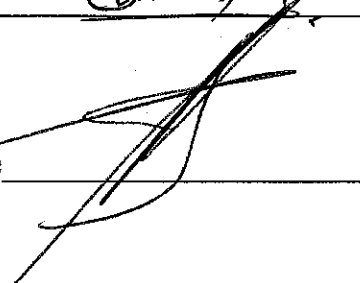
DIRECTOR: Dr. Arturo Hernández Montes



ASESOR: M.C. Armando Santos Moreno



ASESOR: M.C. Abraham Villegas De Gante



Dedicatorias:

A mis papás:

Victoria Cruz Torres y Mateo Piedras Roldán

por apoyarme, comprenderme y por apoyarme incondicionalmente en todo momento de mi vida

A mi hermano:

Jesús Piedras Cruz con mucho cariño

A mis amigas y compañeros

Pilar Romero Castillo y Daylan Izompa Sosa

por su agradable compañía, por todo su apoyo, pero sobre todo por su invaluable amistad durante esta inolvidable experiencia

A mi novio Carlos Herrera y a mis amigos Faby Sánchez, Maricela Flores, Lau Camarillo, David Luna, Vicky Juárez, Cate Flores, Cesar Medel, Arquimides Flores, Ale Velez, Magda Marín, Alicia Hernández, Lucie Stupkova por compartir conmigo esta enorme alegría por concluir esta nueva etapa, pero sobre todo por ser parte de mi vida

Agradecimientos:

A **Dios** por todo su amor acompañándome en cada etapa de mi vida y por otorgarme el valor y la sabiduría necesaria para concluir mis estudios de maestría.

Al **Instituto Tecnológico Agropecuario de Tlaxcala** por formarme como profesionista y proporcionarme los medios necesarios para promover en mí la investigación

A la **Universidad Autónoma Chapingo** y a el **Departamento de Ingeniería Agroindustrial** por abrirme sus puertas para continuar con mi preparación y todos los apoyos recibidos durante mi estancia en la universidad

A el **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)** por patrocinarme económicamente para llevar a cabo mis estudios de posgrado

Al **Dr. Arturo Hernández Montes, M.C. Armando Santos Moreno y M.C. Abraham Villegas De Gante** por sus importantes aportaciones y sobre todo por su valiosa disposición, apoyo, interés y paciencia durante la realización en este trabajo

Al **M.C. David Rubio** y la **Sra. Rosa Carmina** por todo el apoyo y las atenciones brindadas durante mi estancia en la maestría

A **todos los profesores de la Maestría en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria** por compartir generosamente sus valiosos conocimientos y experiencias

A mis amigos y compañeros quienes conformaron el panel de evaluación sensorial: **Alicia Hernández, Daylan Tzompa, Magda Marín, Lucie Stupkova, Sra. Vicky Hernández, Yonatan Moreno, Mauricio Arellano Q., Rogelio y Carlos J. Martínez** por su valioso y desinteresado apoyo para llevar a cabo este trabajo

Al **Dr. Arturo Hernández, M.C. Armando Santos, Sr. Mauricio Arellano Q., Prof. IQ. Adalberto Gómez C. y Mtra. Fabiola** y por el apoyo constante y las facilidades brindadas durante mi estancia en los laboratorios del Departamento de Ingeniería Agroindustrial

DATOS BIBLIOGRÁFICOS

Victoria Piedras Cruz nació el 12 de septiembre de 1981 en Puebla, Puebla. Realizó sus estudios de nivel medio superior en el Centro de Bachillerato Tecnológico industrial y de servicios No. 3 de Tlaxcala, Tlax., en el área químico biológica. Estudió la licenciatura en Ingeniería en Agronomía especialista en Agroindustrias en el Instituto Tecnológico Agropecuario No. 29 del estado de Tlaxcala. Trabajó como analista de calidad en el área de recepción de materia prima y embalaje en la embotelladora Fersan S.A. de C.V. del estado de Puebla, Pue.

PERCEPCIÓN DE DULZURA EN YOGUR NATURAL Y YOGUR SABORIZADO EDULCORADO CON NEOTAME®

EFFECT OF NEOTAME® ON SWEETNESS PERCEPTION IN SKIMMED PLAIN AND FLAVORED YOGURT

Victoria Piedras Cruz¹, Arturo Hernández Montes²

RESUMEN

Yogures bajos en calorías fueron preparados con sustituciones parciales o totales de sacarosa por neotame, en yogur natural (50, 75 y 100 %) y yogur saborizado (25, 50, 75 y 100 %). Todos los tratamientos fueron comparados con un yogur control edulcorado con sacarosa al 10 %. El punto de igualdad subjetiva fue de 1.0508 mg·L⁻¹ de neotame en yogur, dulzura equivalente a un yogur edulcorado con sacarosa al 10 %. En yogur natural, los parámetros tiempo intensidad: intensidad máxima, tiempo total, área total bajo la curva y área total bajo la curva antes de alcanzar la intensidad máxima fueron mayores para las sustituciones al 75 y 100 %. Las pruebas discriminativas sólo encontraron diferencias significativas en el sabor residual para yogur saborizado. En yogur natural el yogur control (0 %) fue el más preferido. Para yogur saborizado, las sustituciones al 0, 25 y 50 % tuvieron la mayor preferencia. El yogur natural mostró diferencias en relación al porcentaje de sustitución para pH, acidez y consistencia, el factor tiempo mostró un incremento para acidez y a_w , y una disminución para el pH. El yogur saborizado mostró diferencias entre tratamientos para pH, acidez, a_w y consistencia. Acidez y consistencia aumentaron, y el pH disminuyó respecto al tiempo.

(Palabras Clave: yogur, tiempo intensidad, neotame)

¹Tesista

²Director

ABSTRACT

Calorie-reduced yogurts were produced with partial and whole substitutions of the sucrose by neotame in plain yogurt (50, 75 and 100 %) and flavored yogurt (25, 50, 75 and 100 %). Treated samples were compared with a control yogurt sweetened with 10 % sucrose. The point of subjective equality found for yogurt sweetened with neotame was 1.0508 mg·L⁻¹ that corresponded to the same sweetness of the yogurt sweetened with 10 % sucrose. Standard Time Intensity (TI) parameters showed differences between treatments. Substitutions of 75 and 100 % of sucrose by neotame in plain yogurt were the most for maximum intensity, total time, area under TI curve, area under TI curve before reaching maximum intensity. Discrimination tests only found significant differences in aftertaste between treatments for flavored yogurt. Treatments with substitutions of 0, 25 and 50 % of sucrose with neotame in flavored yogurt had the best preference. In plain yogurt, treatment factor showed differences for pH, acidity and consistency. The time factor showed an increase for acidity and a_w , and a decrease for pH. In flavored yogurt, treatment factor showed differences for pH, acidity, a_w and consistency. Acidity and consistency increased, and pH decreased over storage time.

(Key words: yogurt, time intensity, neotame)

¹Thesis author

²Thesis director

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
CAPÍTULO 1. Introducción	1
CAPÍTULO 2. Revisión de Literatura	2
1. El Yogur	2
1.1 Valor nutritivo del yogur	3
1.2 Clasificación del yogur	3
1.3 Producción nacional de yogur	5
2. Percepción del sabor	6
2.1 El sabor y las sensaciones sápidas inespecíficas	7
2.2 Bases estructurales del sabor dulce	7
3. Los edulcorantes sintéticos y su importancia	10
3.1 Neotame	12
3.1.1 Propiedades	13
3.1.2 Utilidad	16
4. Efecto, uso y aceptabilidad de los edulcorantes sintéticos en los productos lácteos	17
5.1 Método del estímulo constante	27
5.2 Evaluaciones de curvas tiempo intensidad	29
5.3 Actividad de Agua (a_w)	31
5.4 Estimación y uso de la varianza del valor “d” de las pruebas de diferencia	33
CAPÍTULO 3. Percepción de dulzura en yogur natural y yogur saborizado edulcorado con neotame	36
1. RESUMEN	36
2. ABSTRACT	37
3. INTRODUCCIÓN	38

4. MATERIALES Y MÉTODOS	39
4.1 Elaboración del yogur	39
4.2 Metodología sensorial	40
4.2.1 Punto de Igualdad Subjetiva (PIS)	40
4.2.1.1 Análisis estadístico	41
4.2.2. Mediciones tiempo intensidad	41
4.2.2.1 Análisis estadístico	43
4.2.3 Pruebas discriminativas	44
4.2.3.1 Análisis estadístico	44
4.2.4 Pruebas de preferencia	44
4.2.3.1 Análisis estadístico	45
4.3 Medición de las variables físicas del yogur	45
4.3.1 Desarrollo de la acidez	45
4.3.2 Actividad de agua (a_w)	46
4.3.3 Mediciones de consistencia	46
4.3.4 Análisis estadístico	46
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	47
5.1 Punto de igualdad subjetiva	47
5.2 Mediciones tiempo intensidad (TI)	47
5.3 Pruebas discriminativas	49
5.4 Pruebas de preferencia	51
5.5 Medición de las variables físicas	52
6. CONCLUSIONES	55
7. LITERATURA CITADA	56
BIBLIOGRAFÍA GENERAL	59

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Clasificación de todos los productos del yogur	3
Cuadro 2. Edulcorantes no nutritivos aprobados por la FDA	12
Cuadro 3. Comparación entre las propiedades del aspartame y el neotame	14
Cuadro 4. Sugerencias de uso de neotame en algunas típicas aplicaciones	16
Cuadro 5. Valores de las medias de las variables de las curvas TI de los diferentes tratamientos evaluados en yogur natural	48
Cuadro 6. Valores de las medias de las variables de las curvas T-I de los diferentes tratamientos evaluados en yogur saborizado	48
Cuadro 7. Comparación de los valores "d'" de tratamientos pareados con diferentes porcentajes de sustitución de sacarosa por neotame en yogur saborizado contra un control (sacarosa 10 %)	50
Cuadro 8. Medias de los valores hedónicos de 4 tratamientos de yogur con diferentes porcentajes de sustitución de sacarosa por neotame en yogur natural	51
Cuadro 9. Medias de los valores hedónicos de 5 tratamientos de yogur con diferentes porcentajes de sustitución de sacarosa por neotame en yogur sabor fresa	51
Cuadro 10. Valores de las medias de las variables: pH, acidez, a_w y consistencia para 4 tratamientos de yogur natural, durante los días 0, 2 y 4 de almacenamiento	53
Cuadro 11. Valores de las medias de las variables: pH, acidez, a_w y consistencia para 5 tratamientos de yogur sabor fresa durante los días 0, 2 y 4 de almacenamiento	54
Cuadro 12. Valores de las medias de acidez titulable (mM_{NaOH}) de los 5 tratamientos evaluados en yogur sabor fresa	54

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Esquema generalizado para la clasificación del yogur	4
Figura 2. Representación esquemática que muestra la relación existente entre AH/B y los sitios g de la unidad sávida dulce de β -D-fructopiranososa	9
Figura 3. Fórmula estructural del neotame	13
Figura 4. Conversión metabólica del neotame (a) (>90 %) NTM es convertido el derivado desesterificado y el DMB-Asp-Phe, los cuales son excretados en las heces y en la orina, (b) (<10 %) la porción 3,3 dimetilbutil de DMB-Asp-Phe es oxidada a ácido 3,3 dimetilbutírico, el cual es secretado en la orina como un éster de carnitina	16
Figura 5. Típica Curva TI y parámetros estándar derivados de ella	30

CAPÍTULO 1. Introducción

Los productos bajos en calorías han revolucionado el mercado de los alimentos, por la necesidad de miles de personas conscientes de su estética corporal y su salud. Así, el motivo de este trabajo de investigación fue evaluar física y sensorialmente yogur natural y yogur saborizado edulcorado con neotame en sustitución de la sacarosa. El crecimiento alcanzado por productos que ofrecen menos calorías y más calidad nutricional han contribuido a la entrada de una amplia variedad de edulcorantes bajos en calorías en el mercado mundial. Estos productos son una alternativa que evitan problemas como la caries dental y otros riesgos de la salud asociados con un exceso en el consumo de edulcorantes calóricos. Neotame es un nuevo aditivo alimentario usado como endulcorante y acentuador de sabor en alimentos y bebidas. La potencia de dulzura del neotame cuando es comparada con la sacarosa es de 6,000 a 10,000 veces más dulce que la sacarosa en base al peso, por lo que únicamente se emplean cantidades muy pequeñas en los productos alimenticios.

Mientras que el incremento en la producción de yogur en México de 1996 al 2003 fue de aproximadamente el 158 %, lo que significa que de 151,173 t que se estaban produciendo en 1996 pasaron a 390,442 t en el 2003, las importaciones totales fueron de 739 t en 1999 hasta 1,338 t en el 2003 con un crecimiento del 81 % y las exportaciones totales correspondieron a 237 t en 1999 hasta 538 t en el 2003, lo que representa un crecimiento del 127 % (SAGARPA SIAP, 2004).

CAPÍTULO 2. Revisión de Literatura

1. El Yogur

El gel del yogur es formado por la fermentación de la leche con cultivos de bacterias termofílicas que consisten en una mezcla de *Streptococcus termophilus* y *Lactobacillus delbrueckii* subs. *bulgaricus* (Tamime y Robinson, 2002). En la producción de yogur, la leche es normalmente calentada a altas temperaturas (vg. 85 °C por 30 min), lo cual causa la desnaturalización de las proteínas del suero (eg. β -lactoglobulina). Las proteínas desnaturalizadas del suero interactúan con *k*-caseína en la superficie de las micelas de caseína y ligan proteínas y caseínas del suero (Lee y Lucey, 2004). Hay un incremento de atracción caseína-caseína, así como el pH de la leche disminuye de ~6.6 a ~4.6 durante la fermentación. Lo cual da como resultado una gelificación por la aproximación al punto isoelectrico de las caseínas. La acidificación de la leche que ha sido calentada dirige a la pérdida parcial de la red del gel del yogur debido a la solubilización del fosfato de calcio coloidal (Lucey, 2002). Las propiedades físicas del gel del yogur, incluyen la separación del gel, que juega un papel importante en la calidad y aceptación del yogur. Las propiedades reológicas del yogur son afectadas por diferentes concentraciones de cultivo y diferente temperatura de incubación, lo cual es afectado directamente por la velocidad de acidificación. Durante la fermentación la microestructura del yogur cambia claramente indicando que hay cuantiosos rearrreglos de las redes del yogur a 45.7 °C. Esto demuestra que la velocidad de acidificación, afecta la solubilización del fosfato del calcio coloidal y su pH (Lee y Lucey, 2004).

1.1 Valor nutritivo del yogur

Una de los motivos más importantes por el cual ha sido empleado el yogur como parte de esta investigación es el valor nutricional que ofrece al consumidor. Un vaso de yogur (125 g) aporta de 155 a 210 mg de calcio, es decir el 17 a 24 % de la recomendación de ingesta diaria de un adulto. La presencia de ácido láctico en el yogur, aumenta la asimilación del calcio. El yogur es una importante fuente de proteínas ya que contiene de 4 a 6 g por vaso, lo cual representa el 15 % de la ingesta recomendada en un adulto. La cantidad de lípidos contenida en el yogur es de 0 a 4 %. La cantidad de azúcares varía de 5 a 18 %; donde incluye lactosa, sacarosa y fructosa contenida en la pulpa de las frutas. El yogur contiene vitaminas A, B₂, B₁₂ (Espinosa y Santos, 2000).

1.2 Clasificación del yogur

Actualmente hay cuantiosos tipos de yogur producidos a lo largo del mundo, para su clasificación, todos los productos del yogur se dividen en cuatro categorías basados en las características físicas del producto (Cuadro 1) (Tamime y Robinson, 2002).

Cuadro 1. Clasificación del todos los productos del yogur.

Categoría	Estado físico	Productos del yogur
I	Líquido/viscoso	Yogur
II	Semi-sólido	Concentrado
III	Sólido	Congelado
IV	Polvo	Seco

Fuente: Tamime y Robinson, 2002.

Sin embargo, estos productos y en particular el yogur son subdivididos en diferentes grupos basados en lo siguiente:

1. Estándares legales para clasificar los productos de acuerdo a su composición química o contenido de grasa (entero, semi-descremado/medio o descremado/bajo en grasa)
2. Naturaleza física del producto (batido, líquido/bebible); el último es considerado yogur batido de baja viscosidad
3. Sabores (simple/natural, frutal o saborizado; los dos últimos son normalmente edulcorados)
4. Procesos de post-fermentación (adición de vitaminas o tratamientos de calentamiento)

La figura 1 muestra un esquema de clasificación del yogur basado en los criterios arriba mencionados (Tamime y Robinson, 2002).

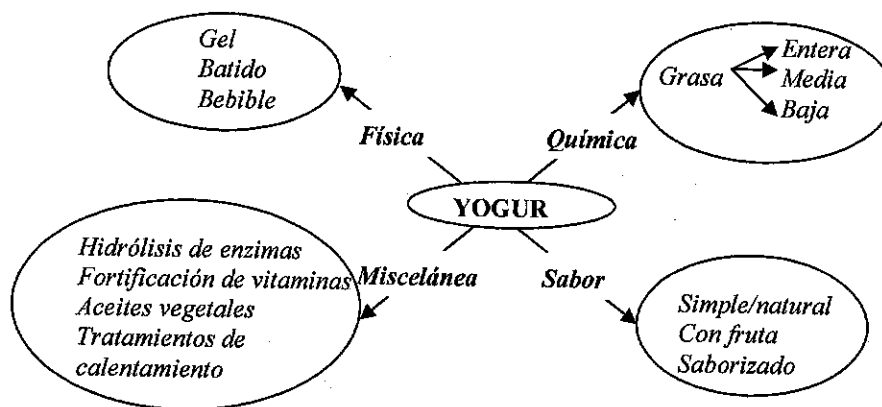


Figura 1. Esquema generalizado para la clasificación del yogur.

1.3 Producción nacional de yogur

La producción de yogur ha mostrado un considerable crecimiento durante los últimos años, de aquí el interés por este alimento, el cual ha sido empleado para evaluar el comportamiento del neotame física y sensorialmente en la presente investigación.

Después de la elaboración de leches industrializadas, la producción industrial de yogur es la actividad que se encuentra más concentrada. Tres empresas participan con más del 60 % de la producción nacional: Danone, Sigma Alimentos Lácteos y Nestlé (Chambourcy). En menos de 6 años, Sigma ha colocado a Yoplait como la segunda marca de yogur en el país. Otras marcas importantes son; Alpura, Lala y Chipilo. El crecimiento que ha tenido este producto sigue sorprendiendo. De 163,000 t que se estaban produciendo en 1994, pasó a 307,000 t en 1999. Un crecimiento total del 88 %, equivalente a una tasa media de crecimiento anual del 13.5 %. Todo esto ha significado un incremento en el consumo *per cápita* nacional anual de 1.8 kg en 1994 a casi 3.2 kg de yogur en 1999 (Castro y Sánchez, 2001)

La producción nacional de yogur para el año 2003 fue de 390,442 t, de las cuales 77,432 t correspondieron a la producción de yogur natural y 313,010 t correspondieron a la producción de yogur con frutas, del año 1996 al 2003 el crecimiento en la producción de yogur fue de aproximadamente el 158 %, de 151,173 t en 1996 hasta 390,442 t en el 2003.

Las importaciones totales fueron de 739 t en 1999 hasta 1,338 t en el 2003, con un crecimiento del 81 %, mientras que las exportaciones totales correspondieron a 237 t en 1999 hasta 538 t en el 2003, lo que representa un crecimiento del 127 % (SAGARPA SIAP, 2004).

2. Percepción del sabor

El proceso de la percepción del sabor contribuye de manera importante para identificar ciertos factores que pueden afectar la percepción de la dulzura durante la aplicación de pruebas sensoriales.

El gusto se percibe por los corpúsculos gustativos que se localizan en las papilas de la lengua. Los corpúsculos gustativos se localizan en el epitelio y sobre las partes de la lengua en las que la comida hace mayor contacto durante la masticación y la deglución. Las papilas fungiformes y los corpúsculos gustativos que contienen, se encuentran sobre la superficie dorsal y hacia el frente de la lengua, igual que las papilas filiformes. Estas últimas no contienen corpúsculos gustativos pero son sensibles al tacto. Las papilas foliadas se encuentran a los lados de la lengua y unas cuantas papilas circunvaladas cruzan el dorso dispuestas en forma de una V. Un corpúsculo gustativo está formado por un número de células agrupadas en un conjunto de protuberancias, de tamaño microscópico, y rodeadas por una depresión llamada "poro" en el que se colecta la saliva. Las células que forman el corpúsculo son de 2 tipos: las células de sostén y las células gustativas. Cada célula gustativa alargada (sensible al gusto), termina en una microvellosidad, una proyección piliforme en el poro. Para percibir el gusto, la sustancia debe disolverse en la saliva y hacer contacto con las microvellosidades. Las fibras nerviosas que hacen contacto con las células gustativas provienen de los nervios craneales séptimo (cuerda timpánica), noveno (glossofaríngeo) y una rama del décimo (vago) (Charley, 2004).

2.1 El sabor y las sensaciones sápidas inespecíficas

El sabor es uno de los factores más importantes de los alimentos para la aceptación del consumidor; ya que se tiene claro el proceso de percepción del sabor, a continuación se describe brevemente el término sabor y las sensaciones sápidas inespecíficas.

Las sustancias responsables del sabor representan un conjunto extremadamente amplio de estructuras químicas derivadas de los principales constituyentes de los alimentos, tienen la característica común de ser “estimulantes de los receptores del gusto o del aroma para producir una respuesta psicológica integrada denominada sabor”. El término sabor implica la percepción global integrada de todos los sentidos que participan en él (olfato, gusto, vista, tacto y sonido) en el momento de la ingestión del alimento. La capacidad de las células especializadas del epitelio olfatorio para detectar cantidades traza de sustancias volátiles da cuenta de las variaciones casi ilimitadas de la intensidad y cualidad de olores y sabores. Las papilas gustativas de la lengua y de la cavidad oral posibilitan a los humanos sentir el dulzor, salinidad, amargor y acidez, estas sensaciones contribuyen al componente gustativo del sabor. Con frecuencia las sustancias responsables, componentes de la percepción del sabor son hidrosolubles y poco volátiles, se encuentran presentes en los alimentos en concentraciones superiores a las de los responsables de los aromas (Fennema, 2000)

2.2 Bases estructurales del sabor dulce

Entre los principales objetivos de esta investigación se evaluaron curvas tiempo intensidad de la dulzura del neotame en yogur, así como el punto de igualdad subjetiva en yogur para determinar la concentración de neotame equivalente a la dulzura de la

sacarosa, pruebas que dependen primordialmente de la percepción de la dulzura, de aquí la importancia de conocer las bases estructurales del sabor dulce y su mecanismo en la percepción.

Fennema (2000) reportó que Shallenberger y Acree propusieron la teoría AH/B de la unidad sávida común para todos los compuestos que causan una sensación dulce. La unidad sávida se consideró inicialmente como una combinación de un protón de hidrógeno de enlace covalente y un orbital electronegativo situado a una distancia de unos 3 Å del protón. De este modo, los átomos electronegativos circundantes de una molécula son esenciales para el dulzor. Además, uno de los átomos tiene que poseer un protón de hidrógeno de enlace. Frecuentemente los átomos de oxígeno, nitrógeno y cloro cumplen con este papel en las moléculas dulces, y los átomos de oxígeno del grupo hidroxilo pueden tener la función AH o B de la molécula.

Requerimientos estereoquímicos también se imponen a los componentes AH/B de la unidad sávida para que se alinien adecuadamente con el sitio receptor. Se considera que la interacción entre los grupos activos de la molécula dulce y el receptor gustativo ocurre mediante enlaces hidrógeno entre los componentes AH/B y estructuras similares en el receptor de sabor. Se ha añadido a la teoría una tercera característica a fin de ampliar su validez a sustancias intensamente dulces. Esta incorpora regiones lipofílicas apropiadas de las moléculas dulces distribuidas estereoquímicamente, designadas por γ , que son atraídas a regiones lipofílicas similares de los receptores de sabor. Las porciones lipofílicas de las moléculas dulces son frecuentemente los grupos metileno ($-\text{CH}_2-$), metilo ($-\text{CH}_3$) o fenilo ($-\text{C}_6\text{H}_5$). La estructura sávida dulce completa se encuentra geométricamente de modo que se establece un contacto triangular entre todas las unidades activas (AH, B y γ) y la molécula receptora para sustancias intensamente

dulces. Esta forma triangular dio nombre a la teoría del dulzor de la estructura tripartita (Figura 2).

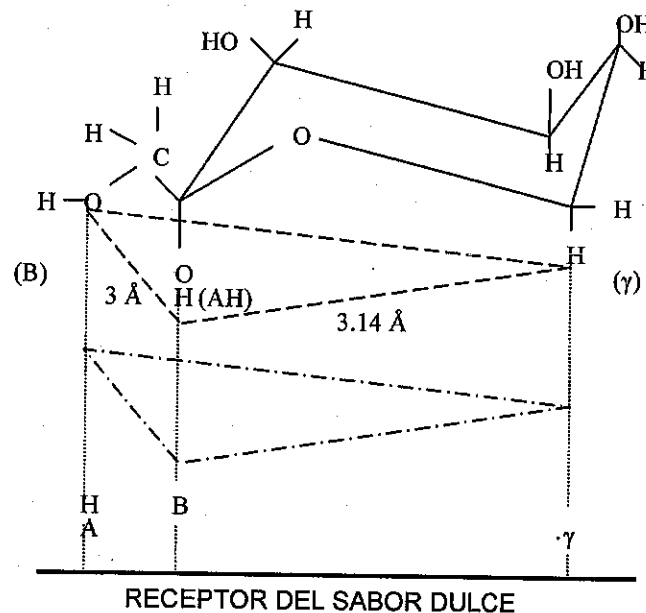


Figura 2. Representación esquemática que muestra la relación existente entre AH/B y los sitios g de la unidad sávida dulce de β-D-fructopiranososa.

El sitio γ es una característica extremadamente importante en las sustancias intensamente dulces. Parece ser que actúa facilitando el acceso de ciertas moléculas al sitio del receptor gustativo y, como tal, afecta a la intensidad del dulzor percibido (Fennema, 2000).

3. Los edulcorantes sintéticos y su importancia

A continuación se describe la relevancia, importancia, ventajas y desventajas de los edulcorantes sintéticos (no nutritivos) aprobados por la FDA (Food and Drug Administration), con la finalidad de justificar el motivo por el cual neotame fue evaluado física y sensorialmente en yogur natural y yogur saborizado.

El sabor dulce es estimulado por una amplia variedad de compuestos: azúcares, alcoholes y dipéptidos. Las propiedades de los alimentos y las bebidas afectan el poder edulcorante de estos compuestos, incluyendo su estado físico, temperatura y presencia de otros sabores. Los compuestos estimulan la sensación de dulzura por interacción con los receptores del gusto en la boca y garganta. A través de un mecanismo de transducción, el mensaje químico de dulzura es cargado al nervio indicado para la percepción del sabor dulce. El sabor dulce puede ser alterado en condiciones que influyen la integridad del sistema del gusto. Estas condiciones pueden elevar el umbral de dulzura, pero podrían disminuir la intensidad de dulzura a concentraciones usuales de consumo o alimentación. El abastecimiento de alimentos ofrece al consumidor un amplio rango de elección en edulcorantes. Las dietas con un alto contenido de edulcorantes nutritivos, por ellos mismos causan un incremento en la obesidad y otras condiciones crónicas (vg. hiperlipidemia, diabetes, caries dental y desórdenes de conducta). Los consumidores quienes gustan de edulcorantes no calóricos podrían seleccionar edulcorantes no nutritivos para ayudar en el control de peso. Los edulcorantes no nutritivos tienen la posibilidad de auxiliar en la salud dental, la calidad de la dieta y control de glucosa en sangre (ADA, 2004).

El uso de edulcorantes nutritivos y no nutritivos se evalúa por diferentes organismos reguladores en el mundo; esto incluye a la FDA de los Estados Unidos de América (EUA) y algunos comités de científicos expertos, tales como el Comité de Científicos en Alimentos (SCF) de la Comisión Europea y la JECFA (Joint Expert Committee of Food Additions), de la Organización de Alimentos y Agricultura de las Naciones Unidas (ADA, 2004).

Los edulcorantes de alta intensidad ofrecen a los consumidores una manera de disfrutar el sabor de la dulzura, con poca o ninguna ingesta de energía o respuesta glucémica. La industria alimentaria valora estos edulcorantes por muchos atributos; entre ellos cualidades sensoriales, seguridad, compatibilidad con otros ingredientes alimentarios y estabilidad en diferentes entornos alimentarios. La tendencia en la industria alimenticia es combinar los edulcorantes de alta intensidad con otros edulcorantes nutritivos y no nutritivos para crear nuevos perfiles de dulzura. Las combinaciones pueden causar sinergia de dulzura (vg. la combinación es más dulce que los componentes individuales), lo que puede reducir la cantidad de edulcorante necesario y puede mejorar el perfil del sabor dulce en general. La FDA ha aprobado y regulado cinco edulcorantes no nutritivos como aditivos alimentarios: sacarina, aspartame, acesulfame K, sucralosa y más recientemente neotame, como se muestra en la cuadro 2

Cuadro 2. Edulcorantes no nutritivos aprobados por la FDA.

Tipo	kcal·g ⁻¹	Categoría regulatoria	Otros nombres	Descripción
Sacarina	0	Aprobado como un edulcorante para bebidas y como endulzante en alimentos con especificaciones de cantidades máximas permitidas	Sweet and low, sweet twin, sweet 'N Low brow, Necta sweet	200-700 veces más dulce que la sacarosa, no es cancerígeno, no produce respuesta glucémica, sinergiza el poder endulzante de edulcorantes nutritivos y no nutritivos, el poder edulcorante no es afectado por el calentamiento
Aspartame	4 ^a	Aprobado como un edulcorante con propósitos en general	Nutrasweet, Equal, Sugar twin, (blue box)	160-220 veces más dulce que la sacarosa, no es cancerígeno y produce limitada respuesta glucémica
Acesulfame K	0	Aprobado como un edulcorante con propósitos en general	Sunett, sweet & safe, sweet one	200 veces más dulce que la sacarosa, no es cancerígeno, no produce respuesta glucémica, sinergiza el poder endulzante de edulcorantes nutritivos y no nutritivos, el poder edulcorante no es afectado por el calentamiento
Sucralosa	0	Aprobado como un edulcorante con propósitos en general	Splenda	600 veces más dulce que la sacarosa, no es cancerígeno, no produce respuesta glucémica, el poder edulcorante no es afectado por el calentamiento
Neotame	0	Aprobado como un edulcorante con propósitos en general	No disponible	8,000 veces más dulce que la sacarosa, no es cancerígeno, no produce respuesta glucémica, el poder edulcorante no es afectado por el calentamiento

^a Este edulcorante provee energía, sin embargo, por la intensidad de la dulzura, la cantidad de energía derivada de este es insignificante

Fuente: American Dietetic Association, 2004

3.1 Neotame

Neotame (NTM) es un edulcorante no nutritivo de alta potencia, NTM es un derivado del aspartame (APM), NTM tiene un sabor dulce limpio, muy cercano al de la sacarosa, sin el sabor residual amargo o metálico indeseable, como ocurre con otros edulcorantes artificiales, y con un buen perfil de sabor. Neotame es de 6000 a 10,000 veces más dulce que la sacarosa y de 30 a 60 veces más dulce que el APM. Neotame es un edulcorante no calórico, no cancerígeno; tiene una extensa vida de anaquel en condiciones secas. En

sistemas acuosos de los alimentos presenta la misma funcionalidad que el APM en medios ácidos, pero es significativamente más estable en medios neutros. Neotame tiene propiedades de potenciador de sabor (Nofre y Tinti, 2000). El costo actual del neotame es de 1000.00 USD/ kg.

3.1.1 Propiedades

Neotame es el nombre genérico para el 1metil ester N-[N-(3,3-dimetilbutil) -L- α -aspartil]-L-fenilalanina. Su fórmula estructural se muestra en la figura 3

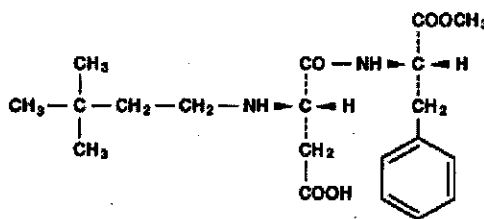


Figura 3. Fórmula estructural del neotame.

Su fórmula molecular condensada es $C_{20}H_{30}N_2O_5$, y su peso molecular de 378.47 daltons. Neotame es un polvo blanco cristalino, inodoro, que puede ser obtenido en forma anhidrica o, más usualmente, como un hidrato. El punto de fusión del neotame hidratado es de 80.9-83.4 °C. El neotame es estable bajo condiciones secas de almacenamiento, en estas condiciones su vida de anaquel estimada, a temperatura ambiente, es de varios años. La comparación de las propiedades entre el NTM y el APM se muestra en el cuadro 3 (Nofre y Tinti, 2000).

Cuadro 3. Comparación entre las propiedades del aspartame y el neotame.

	Aspartame	Neotame
Nombre químico	L- α -aspartil-L-fenilalanina 1-metil ester	N-[N-(3,3-dimetilbutil)-L- α -aspartil]-L-fenilalanina 1-metil ester
Nombre químico simplificado	Aspartilfenilalanina metil ester	Dimetilbutilaspartilfenilalanina metil ester
Abreviación	APM	NTM
Número de registro CAS	[22839-47-0]	[165450-17-9]
Fórmula molecular	$C_{14}H_{18}N_2O_5$	$C_{20}H_{30}N_2O_5$
Peso molecular	294.31	378.47
Fórmula simbólica	Asp-Phe-OMe	DMB-Asp-Phe-OMe
Estado físico	Polvo blanco cristalino, usualmente obtenido como un hemihidrato ($H_2O \sim 2\%$; fórmula empírica $C_{14}H_{18}N_2O_5 \cdot 1/2H_2O$; Peso de la fórmula 303.32)	Polvo blanco cristalino, usualmente obtenido como un monohidrato ($H_2O \sim 4.5\%$; fórmula empírica $C_{20}H_{30}N_2O_5 \cdot H_2O$; Peso de la fórmula 396.48)
Estabilidad química a granel	Estable bajo condiciones secas	Estable bajo condiciones secas
Solubilidad (25°C)	$H_2O: 10g \cdot L^{-1}$; abs. EtOH: $3.7 g \cdot L^{-1}$	$H_2O: 12.6g \cdot L^{-1}$; abs. EtOH: $\sim 950 g \cdot L^{-1}$
MSR 10 % ^a	19	~ 740
Valores de pK _a	pK ₁ 3.1, pK ₂ 7.9; punto isoelectrico: pH 5.5	pK ₁ 3.01, pK ₂ 8.02; punto isoelectrico: pH 5.5
Estabilidad de la solución	Aproximadamente como NTM en rango de pH ácido; menos estable que NTM en rangos de pH neutro	Aproximadamente como APM en rango de pH ácido; más estable que APM en rangos de pH neutro
pH de estabilidad máxima	~ 4.2	~ 4.5
Rutas de degradación	Asp-Phe, cyclo(Asp-Phe) y MeOH (los cuales son metabolizados)	DMB-Asp-Phe(excretado en heces) y MeOH (metabolizado)
Incompatibilidades	Reducción de azúcares (reacción de Maillard), agentes aldehydicos aromatizantes	No reacciona con azúcares reducidos y agentes aldehydicos aromatizantes
Calidad de sabor	Sabor dulce limpio	Sabor dulce limpio cercano al APM
Intensidad de dulzura	$\sim 180-200 \times$ sacarosa en base a peso	$\sim 6000-10\ 000 \times$ sacarosa, $\sim 30-60 \times$ APM en base al peso
Potenciador de sabor	Sabor-propiedades potenciadoras	Sabor-propiedades potenciadoras
Sinergia de sabor	Sinergia con acesulfame K o sacarina	No tiene sinergia con acesulfame K o sacarina
Rutas metabólicas	Asp-Phe y MeOH (los cuales son metabolizados)	DMB-Asp-Phe(excretado en heces y en orina) y MeOH (metabolizado)
Límite de uso	Especificar en la etiqueta para los fenilacetónicos	No es necesario especificar en la etiqueta para los fenilcetónicos
Utilidad	Edulcorante de bajo contenido calórico a nivel de uso, no cancerígeno	Edulcorante de bajo contenido calórico a nivel de uso, no cancerígeno
Valor calórico	$17 kJ \cdot g^{-1}$; $0.085 kJ$ por unit de dulzura	$<1.2 kJ \cdot g^{-1}$; $<0.0002 kJ$ por unit de dulzura
Niveles de uso típico	Edulcorante de mesa: $37 g \cdot unit^{-1}$; bebidas suaves carbonatadas: $525 mg \cdot L^{-1}$	Edulcorante de mesa: $0.9 g \cdot unit^{-1}$; bebidas suaves carbonatadas: $17 mg \cdot L^{-1}$
Costos relativos	Aproximadamente igual que la sacarosa a una dulzura equivalente	Costo relativo esperado debería ser menor que la sacarosa o APM a una dulzura equivalente

^a MSR. Múltiplo de solubilidad requerida para relacionar una intensidad de dulzura de 10 % de sacarosa

Fuente: Nofre y Tinti (2000)

Así como el APM, el NTM intensifica ciertos sabores en alimentos y bebidas, particularmente sabores frutales ácidos (naranja, limón y toronja) y sabor cereza. En los humanos, después de la ingestión de NTM, aproximadamente la mitad de la dosis ingerida es eliminada a través de las heces como 3,3 dimetilbutilaspartilfenilalanina (DMB-Asp-Phe), y aproximadamente la mitad es absorbida como NTM intacto, el cual es después hidrolizado en DMB-Asp-Phe y MeOH; en el proceso predominante, DMB-Asp-Phe es eliminado (en 2 h) en la orina, sin retención significativa en algunos tejidos; sólo una pequeña parte se metaboliza a través de la oxidación de la mitad de 3,3 dimetilbutil en ácido 3,3 dimetilbutírico, que es eliminado en la orina como un éster de carnitina en humanos (menos del 5 % del NTM es ingerido) (Figura 4) (Nofre y Tinti, 2000).

El NTM se formula a concentraciones aproximadamente 40 veces más baja que el APM; el contenido de fenilalanina (Phe) de productos elaborados con neotame es insignificante ($7.08 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ para $17 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de NTM hidratado), mucho más bajo que el contenido de Phe del jugo de frutas. Por lo tanto la cantidad de Phe efectivamente liberada en el cuerpo (17 mg de NTM) a través de las rutas metabólicas es aún más bajo que el APM. En consecuencia, los productos que contienen NTM no requieren ser etiquetados para fenilcetonúricos (Nofre y Tinti, 2000)

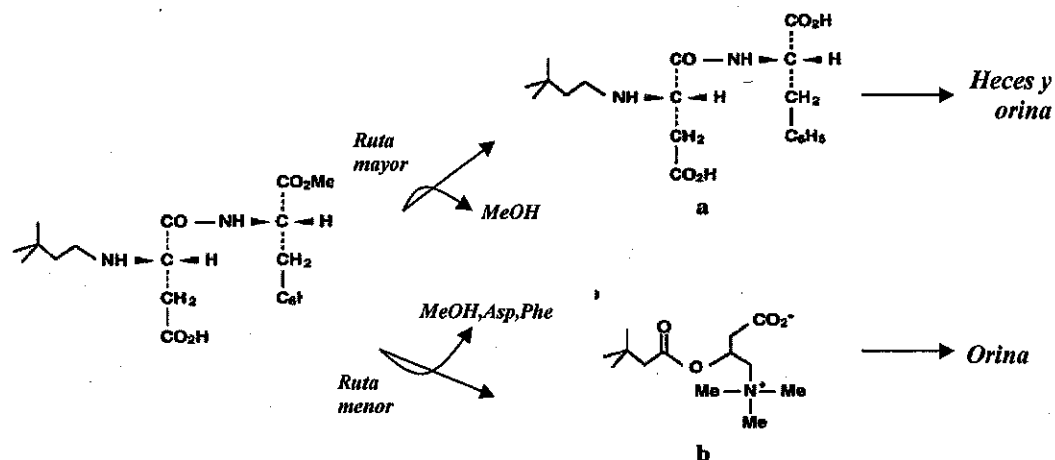


Figura 4. Conversión metabólica del neotame (a) (>90 %) NTM es convertido el derivado desesterificado y el DMB-Asp-Phe, los cuales son excretados en las heces y en la orina, (b) (<10 %) la porción 3,3 dimetilbutil de DMB-Asp-Phe es oxidada a ácido 3,3 dimetilbutírico, el cual es secretado en la orina como un éster de carnitina.

3.1.2 Utilidad

El NTM es un agente edulcorante no nutritivo, no calórico ya que producen $\sim 12 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ ($3 \text{ kcal} \cdot \text{g}^{-1}$). Los microorganismos que están presentes en la boca no son capaces de metabolizar el NTM y producir ácidos que causan la caries dental. El NTM no es cancerígeno. En el cuadro 4 se muestran algunas características en los niveles de uso de NTM en aplicaciones típicas. El NTM es menos estable que el aspartame, sin embargo tiene una excelente estabilidad en yogur. En alimentos de pH neutro el NTM es significativamente más estable.

Cuadro 4. Sugerencias de uso de neotame en algunas típicas aplicaciones.

Aplicación	Nivel de uso
Edulcorante de mesa	$0.9 \text{ mg} \cdot \text{unit}^{-1a}$
Té de limón (empacado caliente)	$8 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$
Yogur	$15 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$
Bebidas suaves en polvo	$16 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1b}$
Bebida suaves carbonatadas	$17 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$
Pastel (Pastel amarillo)	$35 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$
Chicle	$250 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$

^a Equivalente a la dulzura de dos cucharadas de té de azúcar

^b Concentración final en la bebida reconstituida

Fuente: Nofre y Tinti 2000

4. Efecto, uso y aceptabilidad de los edulcorantes sintéticos en los productos lácteos

Este apartado contiene casos de estudios relacionados con el uso de edulcorantes sintéticos, respecto a su comportamiento en los alimentos, aportando hallazgos y resultados de evaluaciones que confirman algunas hipótesis esperadas de esta investigación. Se describen investigaciones enfocadas a la percepción de la intensidad y duración de dulzura de algunos edulcorantes sintéticos, de igual forma se reportan resultados de los efectos de la mezcla de estos edulcorantes en la percepción de los sabores.

La influencia de diferentes edulcorantes en la calidad del yogur, fue estudiada por Hyvöney y Slotte (1983), quienes evaluaron xilitol y sorbitol, antes y después de la incubación del yogur; y fructosa, ciclamato y sacarina después de la incubación del yogur. Se encontró que todos los edulcorantes evaluados fueron apropiados para edulcorar yogur, después de la incubación. La sacarina fue mezclada con el xilitol para cubrir el desagradable sabor amargo residual. Yogures que contenían 15 % de sorbitol retrasaron exageradamente el crecimiento de los cultivos de yogur, ya que no hubo formación de ácido, aroma y coagulación en el producto. Se observó que no es apropiado usar el sorbitol solo en el pre-edulcoramiento del yogur, pues la dulzura que provee es muy ligera, sin embargo, su uso es posible en combinación con la sacarosa. El xilitol probó ser un buen edulcorante de yogur en la etapa de pre-incubación, aunque provocó un ligero retraso sobre el crecimiento del cultivo.

Se han hecho comparaciones de las propiedades sensoriales de la sacarosa y algunos edulcorantes sintéticos, como el estudio realizado por Larson y Pangborn (1978),

quienes evaluaron por el método de comparación pareada, propiedades sensoriales en bebidas y gelatinas que contenían sacarosa o edulcorantes sintéticos (sacarina, ciclamato y aspartame). Se encontró que la intensidad máxima y la duración de dulzura, acidez y amargor de las curvas tiempo intensidad (TI) para aspartame fueron muy parecidas a las de la sacarosa en todos los medios. Sin embargo, ciclamato y sacarina impartieron un sabor amargo persistente, muy marcado en todas las curvas tiempo intensidad. Las muestras de gelatina que contenían 18 % de sacarosa fueron firmes al inicio y tomaron más tiempo, para desintegrarse a líquido en la boca, que las gelatinas que contenían 0.105 % de aspartame, 0.55 % ciclamato ó 0.05 % sacarina.

Frecuentemente se han encontrado casos de sinergia de dulzura al emplear diversas mezclas de edulcorantes, mediante el uso de evaluaciones de las curvas tiempo intensidad (TI), como es el caso de Harrison y Bernhard (1984) quienes estudiaron las características sensoriales TI de la sacarina, xilitol y galactosa, y sus efectos sobre la dulzura de la lactosa en agua purificada. Se observó que la mezcla lactosa-sacarina tuvo efectos de incremento de dulzura. También se encontraron efectos de sinergia de dulzura en el caso de las mezclas de lactosa-xilitol, y efectos de supresión de dulzura en mezclas de lactosa-galactosa. Esta variedad de efectos sólo se encontraron en las mediciones de área bajo la curva TI. Sin embargo, se observó supresión de dulzura en todas las mezclas, cuando solo se interpretaron las mediciones de intensidad de la dulzura inicial y la duración de la dulzura.

Así como los efectos de sinergia en los alimentos, el uso de algunos edulcorantes sintéticos también pueden intensificar y alargar la duración de algunos sabores, como lo señalaron Matysiak y Noble (1991) al evaluar la percepción temporal del sabor frutal en dos sistemas modelo de dulzura: el sistema binario (edulcorante y sabor naranja) y el

sistema terciario (binario + ácido cítrico), con aspartame, una combinación de aspartame + Acesulfame K o sacarosa, por la metodología TI. Se encontraron pequeñas diferencias de inconsistencia por la falta de espesamiento en soluciones edulcoradas ajustadas a la viscosidad de la sacarosa (aspartame y aspartame con acesulfame K). En el sistema binario, el aspartame tuvo la mayor duración en dulzura y sabor frutal. Mientras que en el sistema terciario, el aspartame incrementó su intensidad máxima y duración de sabor frutal, y la sacarosa disminuyó en intensidad máxima de acidez y tuvo una duración relativamente menor al aspartame y la mezcla de aspartame + Acesulfame K. La intensidad máxima del sabor frutal fue percibida después de la dulzura, sin embargo el tiempo de percepción de la dulzura fue más largo que la del sabor frutal.

Otro trabajo asociado con la percepción de la intensidad y la duración del sabor de edulcorantes nutritivos y no nutritivos en agua utilizando evaluaciones de tiempo-intensidad fue realizado por Ott *et al.* (1991) quienes compararon características del sabor dulce y amargo del aspartame, acesulfame K y alitame a niveles equivalentes de dulzura con soluciones de agua al 10 % de sacarosa, usando la técnica TI. Se encontró que el alitame fue comparable con la sacarosa en todas las características de sabor, mientras que aspartame tuvo características de sabor similares a la sacarosa, sin embargo tuvo mayor intensidad de dulzura y más larga duración después de la expectoración de la muestra. El Acesulfame K fue muy diferente de la sacarosa, sus atributos de dulzura aparecieron rápidamente antes de la expectoración de la muestra, seguido de una intensidad moderada y un persistente carácter amargo, que alcanzó su máxima intensidad después de la expectoración de la muestra.

Al evaluar los efectos de edulcorantes alternativos (aspartame, sacarina de calcio, sacarina de sodio, sorbitol, jarabe de alta fructosa de maíz y monoamonio glicirizinato;

sacarosa y monoammonio glicirizinato; acesulfame K y dihidrochalcona) en yogur natural y yogur saborizado con frutas, Keating y White (1990) señalaron que no existieron diferencias en el sabor durante los primeros 28 días de almacenamiento. Tampoco encontraron diferencias entre los valores de cuerpo y textura asignados a las muestras de yogur que contenían edulcorantes alternativos. Sin embargo, los valores para cada sabor disminuyeron con un almacenamiento prolongado. La viscosidad aparente se incrementó a través del tiempo. Se observó que las muestras con fructosa tuvieron una viscosidad significativamente mayor. El tiempo y el tipo de edulcorante fueron afectados significativamente por el crecimiento de los microorganismos.

La aceptabilidad del yogur por parte del consumidor esta asociada con diversas características del mismo, se han realizado varios estudios para determinar los descriptores sensoriales más importantes para la aceptación del consumidor. Investigaciones realizadas para determinar la preferencia de sabor en yogur correlacionaron la evaluación un panel descriptivo y un panel de consumidores, como lo reportaron Barnes *et al.* (1991a) quienes estudiaron la correlación de un panel descriptivo y un panel de consumidores para determinar la preferencia de sabor de yogur batido comercial, sabor fresa y limón. El panel entrenado reveló dos grupos de descriptores: uno, asociado con un carácter frutal y dulce, y el otro, relacionado con un sabor de yogur simple y atributos de acidez. Se encontró que todas las preferencias de los consumidores fueron basadas en el sabor frutal, dulzura y preferencias de acidez en las muestras. La mayor aceptabilidad del consumidor correspondió a características frutales y de dulzura, y la menor aceptabilidad fue para las muestras altas en acidez y con sabor de yogur simple.

Otro estudio realizado por Barnes *et al.* (1991b) fue enfocado a la predicción de la aceptabilidad del consumidor de la dulzura y acidez del yogur a través de metodologías sensoriales y analíticas. Se encontró que todas las preferencias del consumidor fueron significativamente correlacionados con la intensidad de la dulzura, relación dulzura:acidez, y la suma del impacto de dulzura y acidez de yogur, sabor fresa y frambuesa. Sin embargo, la dulzura del yogur fue la más importante para la aceptación de los yogures saborizados por el consumidor. No se encontró relación para ninguna medición analítica y sensorial, en ningún yogur, para predecir los gustos del consumidor. Investigaciones relacionadas en la identificación de los descriptores para la aceptabilidad del yogur natural, fueron realizadas por Harper *et al.* (1991) quienes estudiaron los descriptores sensoriales del yogur natural comercial, realizado por consumidores y por un panel descriptivo. Los consumidores encontraron que la gran mayoría de las muestras fueron demasiado ácidas y no suficientemente dulces. Se encontró que la mayor intensidad de acidez, fue la característica más importante en la descripción del yogur natural. Las muestras más favorables para el consumidor tuvieron las intensidades más bajas en acidez, acetaldehído, salado y astringencia, y las intensidades más altas en dulzura, sabor lácteo y sabor a leche cocida. La acidez titulable y pH fueron correlacionados con muchos descriptores importantes del panel entrenado para la aceptabilidad del consumidor. Se sugirió que un mejor control del pH para procesos de yogur, resultaría en niveles de acidez más favorables, lo cual debería incrementar la aceptabilidad el consumidor.

Los efectos de la sacarosa y el ácido sobre la aceptabilidad del yogur congelado fueron estudiados por Guinard *et al.* (1994) quienes evaluaron el grado de preferencia para nueve muestras de yogur congelado sabor vainilla. Se encontró que las muestras más

preferidas fueron aquellas con menor acidez. Sin embargo, el grado de preferencia fue independiente de la concentración de azúcar. No existieron diferencias significativas para todos los grados de preferencia de yogur congelado. Se observó que hombres y mujeres no difirieron en sus resultados para todas sus preferencias de las muestras de yogur congelado. Los panelistas sugirieron que el yogur congelado debería ser combinado con las propiedades sensoriales del helado (baja acidez) y con las propiedades del yogur (bajo en grasa, cultivos activos).

La estabilidad de los edulcorantes sintéticos en la elaboración de productos lácteos ha sido estudiada para determinar el porcentaje de degradación de estos edulcorantes y en algunos casos la vida de anaquel de estos productos, como lo realizó Fellows *et al.* (1991) quienes evaluaron los efectos de la estabilidad del aspartame durante la fermentación de la leche en la manufactura del yogur con fruta en el fondo (yogur estilo sundae), usando diferentes cultivos directos y temperaturas de incubación. Se encontró que en los yogures producidos usando una incubación de 6 h a 43.3 °C y 13 h a 32.2 °C, el aspartame recuperado fue de 95 o 90 % respectivamente. Este estudio, demuestra que el aspartame tiene una excelente estabilidad en la manufactura del yogur estilo sundae. Sin embargo el aspartame debería ser incorporado en la fruta para conservar su retención.

El estudio efectuado por Keller *et al.* (1991) evaluó la degradación de aspartame en leche con chocolate, relacionándola con las condiciones de proceso y subsecuentes cargas microbianas. Todas las muestras fueron monitoreadas semanalmente para seguir los cambios de pH, porcentaje de acidez, población microbiana y concentración de aspartame. Se encontró que la vida de anaquel del aspartame en leche estéril fue 60 % mayor que la del proceso HTST (High Temperature Short Time), en leche con sabor

chocolate. Mientras que la velocidad de degradación del aspartame en leche con sabor chocolate se encontró relacionado con la carga inicial microbiana y el subsecuente crecimiento.

Otros hallazgos importantes sobre la estabilidad del aspartame fueron aportados por Bell y Labuza (1994) quienes evaluaron la estabilidad del aspartame en bebidas lácteas saborizadas esterilizadas comercialmente. Se observó que el pH y la temperatura de almacenamiento aparecieron como los factores más importantes para una exitosa bebida láctea edulcorada con aspartame. Se encontró que la vida de anaquel fue de 1 a 4 días a 30°C, y de 24 a 58 días a 4°C. La estabilidad del aspartame se duplicó al disminuir el pH de 6.7 a 6.4. Se observó que el aspartame puede ser estabilizado en bebidas lácteas refrigeradas, sólo si el pH es disminuido, por la adición de sales buffer o ácidos en bajas concentraciones, y si la contaminación bacterial inherente es eliminada. Esta investigación confirma que las bebidas lácteas reducidas en calorías que contienen aspartame pueden tener la vida de anaquel necesaria para su distribución, cuando son propiamente formuladas, procesadas y almacenadas.

El contenido calórico que aportan los edulcorantes alternativos es notablemente menor que el aportado por la sacarosa, y además fortalecen las propiedades de textura en el yogur, como lo señala el estudio realizado por Farooq y Haque (1992), quienes evaluaron los efectos de ésteres de azúcar sobre las propiedades de textura en yogur sin grasa, bajo en calorías. El aspartame (200 mg·L⁻¹) fue utilizado para edulcorar una base de yogur de leche descremada que se estabilizó con almidones (0.5 %). Los ésteres de azúcar mejoraron la calidad de yogur. Se encontró que los yogures con ésteres de azúcar, principalmente esterificados con un balance hidrofílico-lípofílico entre 5 a 9, tuvieron mejor cuerpo, textura y sensación bucal comparados con los yogures sin ésteres de

azúcar que fueron clasificados como ásperos y granulosos. Los yogures sin grasa, bajos en calorías edulcorados con aspartame tuvieron 102.5 cal/226.8g (ración) comparados con 203.54 cal/226.8g (ración) de yogures regulares conteniendo 3.25 % de grasa y 4 % de sacarosa. Esta diferencia reflejó una reducción del 50 % en el contenido calórico.

Al estudiar las propiedades físicas y sensoriales de un postre congelado reducido en calorías elaborado con grasa láctea y sustitutos de sacarosa Specter y Setser (1994) señalaron no haber encontrado diferencias significativas en los atributos de textura entre la sacarosa y la povidex-trosa-aspartame en preparaciones frescas de postres congelados, sin embargo se hallaron pequeñas diferencias después del almacenamiento (140 d). Se observaron pocas o ninguna diferencia entre los atributos sensoriales para frialdad y gomosidad en el postre congelado. Las lecturas físicas no fueron altamente correlacionadas con las respuestas sensoriales.

Los efectos de la adición de fibra de avena y edulcorantes alternativos en la manufactura de yogur natural fueron estudiados por Fernández *et al.* (1998) al evaluar yogures bajos en calorías, fortificados con fibra de avena y preparados con lactosa hidrolizada de leche y/o suplementados con sacarosa o fructosa. Se observó que la adición de 5.5 % fructosa retrasó la fermentación en un 60 %, disminuyendo la producción de ácido láctico, pirúvico, acético y propiónico. La lactosa hidrolizada también tuvo un efecto inhibitorio sobre la actividad del cultivo, al inicio y al final de la fermentación. Aparentemente, la viscosidad del yogur aumentó con la adición de edulcorante y fibra. Los yogures que contenían lactosa hidrolizada y fructosa tuvieron los valores más altos de viscosidad. Se encontró que las muestras edulcoradas con sacarosa recibieron los puntajes más altos para sabor. Mientras que la adición de fibra mejoró el cuerpo y la textura de los yogures

no edulcorados, basados en una escala de calidad de 5 puntos (1= menor calidad), la adición de sacarosa disminuyó los valores de cuerpo y textura de los yogures.

En general, los cambios en la percepción de dulzura son más afectados por la concentración de aspartame que por el contenido graso en el yogur, como lo afirman King *et al.* (2000), quienes midieron cambios en el sabor y la percepción de dulzura en yogur elaborado con diferentes concentraciones de aspartame y porcentajes de grasa. Se observó que los cambios de sabor en el yogur fueron asociados con cambios en las concentraciones de aspartame. Mientras que las bajas concentraciones de aspartame resultaron tener un fuerte sabor amargo, ácido, lácteo y sulfuroso. Muestras con un nivel medio y alto de aspartame, resultaron tener un fuerte sabor frutal, notas metálicas y dulzura. Las mediciones TI, sugirieron que el aspartame tuvo un mayor efecto que la grasa sobre la dulzura residual, tomando en cuenta el área bajo la curva, la intensidad máxima y la duración total. Sin embargo, este efecto no fue encontrado en muestras con bajos niveles de aspartame.

Se encontró que al sustituir porcentajes de 37.5 y 50 % de sacarosa por neotame, se incrementó la percepción y la intensidad de dulzura durante más tiempo en yogur natural, como lo afirmaron Hernández *et al.* (2003) al estudiar la percepción de dulzura en yogur natural edulcorado con neotame, quienes evaluaron el efecto del contenido de sacarosa y neotame sobre las características sensoriales y físicas de cuatro formulaciones de yogur (0, 25, 37.5 y 50 %), con una dulzura equivalente al 5 % de sacarosa. Los yogures con 37.5 y 50 % fueron percibidos como los más dulces y de intensidad de dulzura más prolongada. La pruebas discriminativas no mostraron diferencias entre tratamientos en el sabor metálico residual. No existió diferencia en la preferencia entre tratamientos y tampoco se encontraron diferencias en las características físicas.

El aspartame solo o mezclado, no tiene efectos sobre el sabor residual dulce o amargo en el yogur natural, como lo señalaron King *et al.* (2003) al hacer una comparación del aspartame y la sacarosa con respecto a los efectos que tiene sobre el yogur. Se llevaron a cabo pruebas de perfil sensorial en yogur natural; un yogur no edulcorado fue consumido directamente después de un yogur edulcorado con sacarosa, aspartame o mezclas de aspartame + acesulfame K. No hubo evidencia de que el sabor residual dulce o amargo del aspartame, solo o mezclado, fuera percibido en yogur natural, aunque el sabor ácido pareció ser enmascarado. El yogur natural tuvo el sabor residual amargo más alto cuando fue precedido por un yogur que contenía sacarosa, lo cual fue explicado como un efecto de contraste. En pruebas de consumo repetido, yogures saborizados con frutas tuvieron una tendencia a incrementar en dulzura y disminuir en acidez tras series de consumo repetido, independientemente del tipo de edulcorante.

El estudio sobre las características físicas y sensoriales de yogur saborizado, entero y descremado, durante un almacenamiento prolongado, fue realizado por Salvador y Fiszman (2004), quienes compararon periodos de almacenamiento a 20 °C por 21 días y a 30 °C por 3 días. Los yogures fueron evaluados por un panel entrenado y un panel de consumidores. En todos los casos, los valores de pH apenas cambiaron, indicando que las muestras de yogur no desarrollaron acidez bajo ninguna condición de almacenamiento estudiada, después del almacenamiento. Los perfiles de las curvas de textura instrumental correspondieron a un gel firme. Los valores de firmeza de un yogur completo fueron menores que las de un yogur descremado. La viabilidad de los yogures fue adecuada a los diferentes tiempos de almacenamiento y temperaturas estudiadas. La probabilidad de que un yogur entero fuera aceptado después de 91 días de almacenamiento a 10 °C fue de alrededor de 40 %, mientras que para un yogur

descremado fue de sólo 15 %, debido a que presentó un sabor astringente, sinéresis o sensación arenosa en una etapa temprana de almacenamiento.

5.1 Método del estímulo constante

El método de estímulo constante es un método psicofísico enfocado en la determinación de diferencias sensoriales, que permiten conocer el punto de igualdad subjetiva y los umbrales de diferencia. El umbral es considerado una técnica para cuantificar la sensibilidad de sistemas sensoriales. Típicamente, el umbral ha sido definido como el valor del estímulo que es perceptible en el 50 % de los juicios (Geschelder, 1976).

La metodología del estímulo constante ha sido empleada para ubicar en alimentos y bebidas funciones hedónicas de un solo punto, y no han sido restringidas para medios de preferencia. Por ejemplo, un aroma puede ser demasiado fuerte o no suficientemente fuerte, una muestra demasiado caliente o no suficientemente caliente, una textura demasiado suave o no suficientemente suave. Por lo tanto, hay evidencia de que el punto ideal para un estímulo dado es un concepto claramente sostenido (McBride y Booth, 1986). Por lo que estos autores exploraron la viabilidad de usar el método del estímulo constante para determinar la intensidad ideal de sabor percibido por un grupo de jueces.

El método del estímulo constante es tradicionalmente aplicado como sigue: jueces examinan pares de estímulos e indican cuál estímulo les produce una sensación de mayor magnitud; un estímulo del par tiene un valor fijo, llamado estímulo estándar (E_e) y el otro estímulo, llamado estímulo de comparación (E_c), que se cambia de prueba en prueba, algunas veces mayor o menor que el valor del E_e . Se Incluyen 5, 7 o 9 valores del estímulo de comparación, separados por distancias iguales en una escala física, con

un igual número de comparaciones de valores del estímulo que están por arriba y por debajo de los valores del Ee. Cada estímulo se compara por pares, aleatoriamente, varias veces contra el Ee. Los dos estímulos tienen que ser presentados al mismo tiempo en diferentes áreas receptoras, o en las mismas, pero en tiempos diferentes. Cuando se presentan los estímulos al mismo tiempo pero en diferentes áreas, se debe presentar la mitad de las evaluaciones en un área de receptiva y la otra mitad en la otra área receptiva. El error de tiempo puede ocurrir cuando la proporción de respuestas “más intenso” se obtiene para el estímulo que se presenta en segundo lugar, una interpretación, de este error, explica que la imagen del primer estímulo se desvanece de la memoria, y el primer estímulo puede ser juzgado menor que el segundo, aunque las intensidades físicas de los dos estímulos sean iguales. Para eliminar el error de tiempo, la mitad de los juicios son evaluados ubicando en primero lugar al estímulo estándar, y en la otra mitad de juicios el estímulo estándar se evalúa en segundo lugar.

El Punto de Igualdad Subjetiva (PIS) representa una falta de discriminación y un valor de respuesta de 0 o 1 es una discriminación perfecta; los puntos de las proporciones correspondientes al 0.25 y al 0.75 son usados para definir el umbral de diferencia. El método aporta la medición de un umbral de diferencia por arriba del PIS y otro por debajo del mismo (Geschelder, 1976).

Investigaciones realizadas en neotame para determinar umbrales de diferencia en soluciones de agua y bebidas de sabor, encontraron que al comparar la dulzura de una solución conteniendo sólo sacarosa al 9.56 %, con otra solución conteniendo 9.56 % de sacarosa y neotame en diferentes concentraciones, el umbral de dulzura de neotame estuvo en un rango de 4.1 mg.L^{-1} . Posteriormente, se comparó una bebida con sabor a fruta endulzada con 9.56 % de sacarosa y neotame a niveles por debajo del umbral de

dulzura, con la misma bebida endulzada solamente con sacarosa. El resultado de la evaluación fue que el neotame intensificó el sabor, por lo menos en $1.0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Los niveles por debajo del umbral endulzante de neotame, varían de acuerdo a la categoría de alimento implicado (Nutrasweet, 2001).

El aumento de $2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de neotame en el yogur de soya mejoró la aceptación del producto en general, sin percibirse cambios en el nivel de dulzura original. El uso de $2.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de neotame en el mismo tipo de yogur de soya, mejoró la aceptación del producto al aumentar el dulzor y la intensidad del sabor a vainilla. Por lo tanto, es posible mejorar el yogur de soya utilizando niveles de neotame por debajo del umbral endulzante o aún con cantidades que aporten dulzor (Nutrasweet, 2001).

5.2 Evaluaciones de curvas tiempo intensidad

Los cambios en la intensidad de la dulzura a través del tiempo en yogur edulcorado, total o parcialmente con neotame, fueron medidos y evaluados mediante la técnica Tiempo Intensidad (TI), por lo cual se presenta una breve descripción de los parámetros más importantes de las curvas TI.

Tiempo-intensidad (TI) es una metodología sensorial que estudia los cambios en las propiedades sensoriales a través del tiempo (Garrido *et al.*, 2001).

La metodología de tiempo intensidad es un método que permite el registro de la percepción de un atributo y sus cambios a través del tiempo mientras un alimento es procesado en la boca. Estas medidas pueden durar de menos de un minuto a varios minutos, dependiendo del tipo de alimento o bebida objeto de estudio. Los valores de los TI ofrecen información que no es generada por los métodos sensoriales tradicionales. El

entrenamiento de los panelistas para una prueba sensorial descriptiva es importante para conseguir un panel consistente, con panelistas con una buena habilidad y sensibilidad discriminatoria, quienes son reproducibles en sus juicios de las mismas muestras y están de acuerdo como un grupo con respecto a su percepción (Peyvieux y Dijksterhuis, 2001). La evaluación TI mide la percepción sensorial de atributos específicos a través del tiempo durante el consumo. El análisis TI permite monitorear los cambios preceptuales de intensidad durante la evaluación de un producto (Hyvönen, *et al.*, 2003).

Las mediciones de TI pueden proveer información de acuerdo al patrón de la liberación del sabor durante el consumo de un parámetro sensorial perceptivo. Sin embargo, los análisis sensoriales solos, no pueden ser usados para determinar los cambios químicos, pues sólo se pueden determinar cambios en la percepción de sabor. Por lo tanto, la combinación del análisis instrumental y sensorial forman una poderosa herramienta para entender el vínculo entre el sabor y su liberación en la boca (Chung *et al.*, 2003).

De las curvas TI pueden ser extraídos varios parámetros para verificar la consistencia del panel y la eficiencia del entrenamiento (Figura 5) (Peyvieux y Dijksterhuis, 2001).

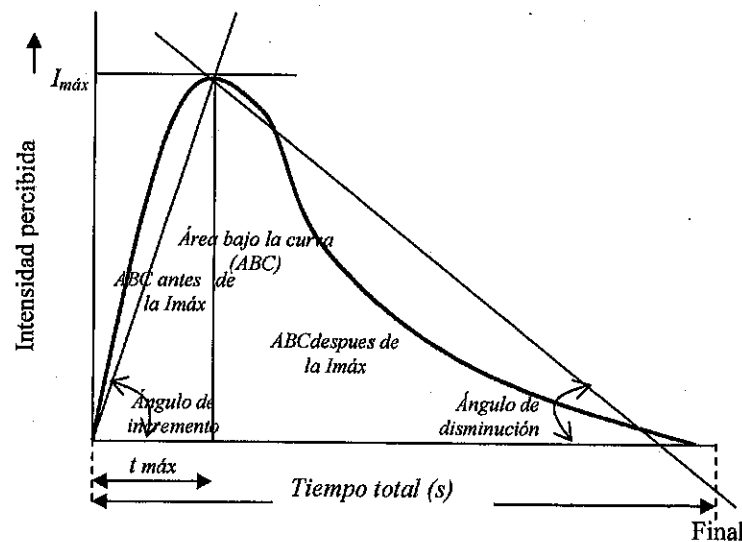


Figura 5. Típica Curva TI y parámetros estándar derivados de ella.

Estudios realizados en edulcorantes sintéticos usando curvas tiempo intensidad, fueron realizados por Swartz (1980) quién evaluó la proyección sensorial de edulcorantes sintéticos, mediante evaluaciones tiempo intensidad. Los panelistas fueron primero entrenados para evaluar conscientemente las propiedades tiempo intensidad para edulcorantes comunes, tales como sacarosa y sacarina. El panel entrenado dio resultados reproducibles en soluciones iguales; diferenciaron varias concentraciones de la misma sustancia, y generaron diferentes curvas tiempo intensidad para compuestos conocidos al variar su sabor al comienzo y la persistencia de regusto.

Un estudio realizado en goma de mascar, mostró que la intensidad de sabor de la goma endulzada con neotame y una reducida cantidad de sabor de menta, era comparable con una goma endulzada con aspartame y una cantidad estándar de menta. La misma intensidad de sabor de la goma endulzada con aspartame, se logró con 17 % menos del sabor de menta, en la goma endulzada con neotame (Nutrasweet, 2001).

En un refresco carbonatado con sabor a cola, los componentes básicos del sabor cola fueron afectados favorablemente por neotame. Se observó que neotame potencia la intensidad y/o calidad del aceite de lima y del aldehído cinámico, al degustarse en soluciones acuosas (Nutrasweet, 2001).

5.3 Actividad de agua (a_w)

La gran mayoría de los microorganismos requiere valores de actividad de agua muy altos para poder crecer. Los valores mínimos de la actividad de agua para diferentes tipos de microorganismos son: para bacterias $a_w = 0.91$, levaduras $a_w = 0.88$ y mohos a_w

= 0.8, por lo tanto, los mohos son capaces de crecer en sustratos con una actividad de agua mucho menor de las que permite el crecimiento de bacterias o de levaduras.

La actividad de agua puede ser considerada una medida indirecta del agua que esta disponible en un producto para participar en diferentes reacciones deteriorativas y en el crecimiento microbiano. Puede ser descrita en su forma más simple como la relación de la presión parcial de vapor de agua del alimento dividido por la presión de vapor del agua pura, ambas medidas a la misma temperatura. Su valor varía entre 0 y 1. En un alimento con alto contenido de humedad, la mayor parte de agua, aproximadamente un 95 % , se comporta de manera similar al agua pura, es decir, se puede congelar, está disponible como solvente y además está en una cantidad tal que facilita diversos tipos de reacciones, así como el crecimiento microbiano. Por lo tanto, en muchos casos, existe una relación estrecha entre la estabilidad del producto y su actividad de agua, ya que muchas reacciones deteriorativas ocurren dependiendo de la a_w .

La mayoría de las reacciones químicas y el crecimiento microbiano se ven reducidos considerablemente cuando se disminuye la actividad e agua.

Las mediciones de a_w mediante el método higrométrico de punto de rocío, se basa en la condensación de vapor de agua (rocío) en la superficie de un espejo que se enfría hasta la temperatura de rocío de una atmósfera generada por la muestra en estudio. El punto de rocío se puede detectar fotoeléctricamente. Este tipo de dispositivos se utiliza para medir la a_w en un intervalo amplio y además permite mediciones a temperaturas muy diferentes (Welti y Vergara, 2002).

5.4 Estimación y uso de la varianza del valor “ d' ” en las pruebas de diferencia

Las pruebas de diferencia de elección forzada usualmente se emplean para determinar si existen diferencias en dos productos, mediante diversas medidas del grado de diferencia. A continuación se presenta la estimación y el uso de la varianza de d' como medidas del grado de diferencia de dos productos al usar las pruebas de diferencia. Comúnmente son usados cuatro métodos de prueba de diferencia: triangular, dúo-trío, 2-EAF y 3-EAF. En el método triangular los sujetos son instruidos para seleccionar el estímulo más diferente de entre 3 estímulos, dos que son iguales. En el método dúo-trío, los sujetos son instruidos para seleccionar el estímulo de dos, que es más similar a uno designado estándar. El estándar es idéntico a uno de los dos estímulos. En el método 2-EAF, los sujetos son instruidos para elegir el más fuerte (o más débil) de dos estímulos sobre un atributo designado. En el método 3-EAF, los sujetos son instruidos para seleccionar el más fuerte o más débil de tres estímulos, dos de los cuales son idénticos. Estas pruebas son generalmente analizadas usando la distribución binomial la cual da la probabilidad de obtener el nivel observado de interpretación por posibilidad o suposición. Si tales probabilidades son bajas (<5 %), entonces los productos son declarados significativamente diferentes (Bi y Ennis, 1997).

El valor δ es definido como la diferencia entre las medias de las distribuciones de intensidad para dos productos medidos en desviación estándar perceptual. Las dos distribuciones perceptuales son asumidas a ser normales y tienen la misma varianza. La diferencia entre las poblaciones es referida como δ , y la estimación entre muestras como d' . Ennis (1993) publicó las tablas de δ que corresponden a las proporciones de las

respuestas correctas para los métodos triangular, dúo-trío, 2-EAF y 3-EAF. La estimación de δ de la proporción de las pruebas correctas será más precisa cuando el tamaño de muestra sea mayor. Otra forma de decir esto es que es la varianza de d' será más pequeña cuando el tamaño de muestra sea mayor (número de muestras). Las varianzas de los valores d' son necesarias si se desea conocer si existe diferencia significativa o no (Bi y Ennis, 1997).

Determinación de la varianza de d' . Las tablas publicadas en Ennis (1993) dan los valores de δ para una proporción dada de pruebas correctas para los métodos triangular, dúo-trío, 2-EAF y 3-EAF. Las tablas publicadas por Bi y Ennis (1997) dan los valores B para un δ dado para los mismos métodos. Teniendo el valor B, este se divide por el número de pruebas usadas para obtener el valor d' (N), y este da la varianza de d' ($S^2_{d'}$) (Bi y Ennis, 1997).

Determinación de diferencias significativas entre dos valores d' . Hay una fórmula para probar si hay diferencia significativa entre dos valores d' . La fórmula da un valor z, el cual puede entonces ser usado con una distribución normal de tablas para calcular la probabilidad de obtener esta cantidad de diferencia entre dos valores d' basados en la hipótesis nula a partir de la ecuación 1 (Bi y Ennis, 1997).

$$Z = \frac{|d'_A - d'_B|}{\sqrt{S^2_A + S^2_B}} \quad (1)$$

Determinación de diferencias significativas entre múltiples valores d' . Es posible probar si muchos valores d' son diferentes, usando la ecuación 2. Donde s^2_n es la varianza de d' , d'_n es el valor d' observado y d'_{esp} es el valor esperado de d' (Bi y Ennis, 1997).

$$d'_{esp} = \frac{\frac{d'_A}{S_A^2} + \frac{d'_B}{S_B^2} + \frac{d'_C}{S_C^2} + \dots}{\frac{1}{S_A^2} + \frac{1}{S_B^2} + \frac{1}{S_C^2} + \dots} \quad (2)$$

Finalmente se calcula el valor de χ^2 para comprobar la hipótesis nula o la hipótesis alternativa a partir de la ecuación 3 (Bi y Ennis, 1997) .

$$\chi^2 = \frac{(d'_A - d'_{esp})^2}{S_A^2} + \frac{(d'_B - d'_{esp})^2}{S_B^2} + \frac{(d'_C - d'_{esp})^2}{S_C^2} + \dots \quad (3)$$

CAPÍTULO 3. Percepción de dulzura en yogur natural y yogur saborizado edulcorado con Neotame

Victoria Piedras Cruz¹, Arturo Hernández Montes², Armando Santos Moreno²,

Abraham Villegas De Gante²

1. RESUMEN

Yogures bajos en calorías fueron preparados con sustituciones parciales o totales de sacarosa por neotame, en yogur natural (50, 75 y 100 %) y yogur saborizado (25, 50, 75 y 100 %). Todos los tratamientos fueron comparados con un yogur control edulcorado con sacarosa al 10 %. El punto de igualdad subjetiva fue de 1.0508 mg·L⁻¹ de neotame en yogur, dulzura equivalente a un yogur edulcorado con sacarosa al 10 %. En yogur natural, los parámetros de tiempo intensidad: intensidad máxima, tiempo total, área total bajo la curva y área total bajo la curva antes de alcanzar la intensidad máxima fueron mayores para las sustituciones al 75 y 100 %. Las pruebas discriminativas mostraron diferencias significativas en el sabor residual sólo en el yogur saborizado. En yogur natural el yogur control (0 %) fue el preferido. Para yogur saborizado, las sustituciones al 0, 25 y 50 % tuvieron la mayor preferencia. En yogur natural el factor tratamiento mostró diferencias para pH, acidez y consistencia, el factor tiempo mostró un incremento para acidez y a_w , y una disminución para el pH. En yogur saborizado el factor tratamiento mostró diferencias para pH, acidez, a_w y consistencia. La acidez y la consistencia aumentaron, y el pH disminuyó respecto al factor tiempo.

(Palabras Clave: yogur, tiempo intensidad, neotame)

¹Estudiante de la Maestría en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, ²Profesor investigador de la Maestría en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria. Universidad Autónoma Chapingo.

Effect of neotame on sweetness perception in skimmed plain and flavored yogurt

Victoria Piedras Cruz¹, Arturo Hernández Montes², Armando Santos Moreno², Abraham Villegas De Gante²

2. ABSTRACT

Calorie-reduced yogurts were produced with partial and whole substitutions of the sucrose by neotame in plain yogurt (50, 75 and 100 %) and flavored yogurt (25, 50, 75 and 100 %). Treated samples were compared with a control yogurt sweetened with 10 % sucrose. The point of subjective equality found for yogurt sweetened with neotame was $1.0508 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ that corresponded to the same sweetness of the yogurt sweetened with 10 % sucrose. Standard Time Intensity (TI) parameters showed differences between treatments. Substitutions of 75 and 100 % of sucrose by neotame in plain yogurt were the most for maximum intensity, total time, area under TI curve, area under TI curve before reaching maximum intensity. Discrimination tests only found significant differences in aftertaste between treatments only for flavored yogurt. Treatments with substitutions of 0, 25 and 50 % of sucrose with neotame in flavored yogurt had the best preference. In plain yogurt, treatment factor showed differences for pH, acidity and consistency. The time factor showed an increase for acidity and a_w , and a decrease for pH. In flavored yogurt, treatment factor showed differences for pH, acidity, a_w and consistency. Acidity and consistency increased, and pH decreased over storage time.

(Key words: yogurt, time intensity, neotame)

3. INTRODUCCIÓN

Los productos dietéticos y los “light” han revolucionado el mercado de los alimentos en los últimos años. Las investigaciones se han intensificado en esta categoría de alimentos para mantener el sabor lo más cercano posible al de los alimentos convencionales. Los edulcorantes de alta intensidad ofrecen a los consumidores una manera de disfrutar el sabor de la dulzura con poca o ninguna ingesta de energía o respuesta glucémica. Además, pueden contribuir al control del peso o de la glucosa en sangre y a la prevención de las caries dentales (ADA, 2004). El neotame como edulcorante de alta intensidad, ofrece mayores ventajas, ya que tiene un sabor dulce y puro como la sacarosa y es aproximadamente de 6,000 a 10, 000 veces más dulce que la sacarosa en base al peso, por lo que únicamente se necesitan cantidades muy pequeñas en los productos, y su ingesta es segura para el consumidor (Nofre y Tinti, 2000). El yogur es un alimento muy saludable por las características nutricionales que ofrece al consumidor, en el año 2003 la producción nacional fue 390,442 t, las importaciones totales correspondieron a 1,338 t, mientras que las exportaciones totales correspondieron a 538 t (SAGARPA SIAP, 2004). Las metodologías tiempo intensidad han sido exploradas para caracterizar las propiedades temporales de dulzor de los edulcorantes sintéticos (Larson y Pangborn, 1978; Swartz, 1980; Harrison y Bernhard, 1984; Matysiak y Noble, 1991; Ott *et al.*, 1991). También se han realizado investigaciones para evaluar la estabilidad de este tipo de edulcorantes en los productos lácteos, y adicionalmente los efectos que tienen sobre las propiedades físicas y sensoriales de los mismos (Keller *et al.*, 1991; Bell y Labuza, 1994; Specter y Setter, 1994). Asimismo, en yogur se han evaluado los diversos efectos de los edulcorantes sintéticos sobre las propiedades físicas y la percepción de dulzura,

con la finalidad de determinar la factibilidad de estos productos (Keating y White, 1990; Fellows *et al.*, 1991; Farooq y Haque, 1992; Fernández *et al.*, 1998; King *et al.*, 2000; King *et al.*, 2003; Hernández *et al.*, 2003). Por lo cual el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del neotame sobre las características físicas y sensoriales de la percepción de dulzura en yogur natural y yogur saborizado.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Elaboración de yogur

El yogur fue preparado con leche fluida de vaca de la Unidad de Tecnología Lechera, de la Universidad Autónoma Chapingo; leche descremada en polvo La Suiza (Pasteurizada Jersey del Noroeste S.A., Tijuana BC, México); azúcar refinada (Producto envasado por Profcan, S.A. de C.V. para Gigante, S.A. de C.V., bajo licencia de Automercados, S.A. de C.V., México, D.F.); estabilizante (amilopectina, gelatina kosher, pectina y sulfato de calcio) CC-76223 (Continental Custoom Ingredients, Chicago, IL, E.E.U.U.); cultivos lácticos concentrados liofilizados para siembra directa en leche de cepa MY800 con *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* y *Streptococcus salivarius* ssp. *thermophilus* (Ezal DANISCO, Francia) y neotame (The nutrasweet Co. México). El yogur fue elaborado de acuerdo con el método descrito por Santos (2001), con las siguientes especificaciones: dulzura equivalente al 10 % de sacarosa, 2 % de grasa butírica, 10 % de sólidos no grasos (SNG) y 1 % de estabilizante. El contenido de grasa y los SNG se determinaron con el analizador de leche Ekomilk-M (Bultheh 2000Ltd, Bulgaria). Las muestras de yogur fueron elaboradas dos días antes de cada sesión de panel. El yogur fue incubado a 45 °C en vasos de precipitados de 500 mL

cubiertos con película plástica, cuando alcanzó una acidez de 45 °D (49.99 mM_{NaOH}) se almacenó a 4 °C y la acidez final fue de 69 °D (76.65 mM_{NaOH}). Se elaboraron 3 tratamientos con diferentes porcentajes de sustitución (50, 75 y 100 %) de sacarosa por neotame y un yogur control (sacarosa 10 %) para yogur natural. Para yogur saborizado, se elaboró un control (sacarosa al 10 %) y 4 tratamientos con las proporciones 25, 50, 75 y 100 % de sustitución de sacarosa por neotame.

Un día antes de cada prueba, el neotame fue adicionado durante el batido del yogur. Para el caso de los yogures sustituidos parcialmente con neotame, se preparó una solución de neotame en agua tridestilada, de la cual se midió y se adicionó con una micropipeta (Acura 821, Socorex Isba S.A. Suiza) el volumen necesario para igualar la dulzura equivalente al 10 % de sacarosa para cada tratamiento. El concentrado sabor fresa Línea D-15 (Dectan S.A. de C.V., bajo licencia de Deiman, S.A. de C.V., México) fue agregado en el momento de la adición del neotame en la etapa de batido en la preparación de yogur saborizado.

4.2 Metodología Sensorial

4.2.1 Punto de Igualdad Subjetiva (PIS)

Se empleó el método del estímulo constante usado por McBride y Booth (1986) para determinar el punto de igualdad subjetiva y umbrales de diferencia. La prueba fue aplicada a 100 personas, que evaluaron 5 concentraciones de neotame en yogur, separadas por distancias iguales en la escala física 0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2 mg·L⁻¹. El estímulo estándar que se empleó fue un yogur elaborado con sacarosa al 10 %. Cada juez examinó pares de estímulos e indicó cuál estímulo le produjo una sensación de mayor magnitud, especificando en la hoja de respuesta después de cada evaluación si el

sabor fue “demasiado dulce” o “no suficientemente dulce”. Un estímulo del par tuvo un valor fijo y fue llamado estímulo estándar (Ee) (sacarosa). El valor del otro estímulo, llamado estímulo de comparación (Ec) fue cambiado de prueba en prueba, siendo algunas veces mayor o menor que el valor del estímulo de referencia. La mitad de las personas recibió primero el Ee y la otra mitad recibió primero el Ec. Las muestras de yogur se presentaron en vasos de plástico de 30 mL, codificados y aleatorizados con números de 3 dígitos, con el mayor número de permutaciones posibles. Todo el material estuvo libre de olores y sabores.

4.2.1.1 Análisis estadístico

De los 100 juicios emitidos por cada par de las 5 concentraciones, se hizo un conteo de juicios correspondientes a “demasiado dulce”, se les calculó la proporción respecto al número total de juicios, la cual fue transformada en valores z y graficada contra concentraciones de los estímulos de comparación, ajustando una línea mediante una regresión lineal simple, obteniendo así la ecuación de la línea y el coeficiente de determinación (R^2). El 50 % de los juicios correspondientes a “demasiado dulce”, es llamado el punto de igualdad subjetiva, y la diferencia entre los estímulos de las concentraciones de los estímulos de comparación que evocaron respectivamente al 75 y 25 % de juicios emitidos como “demasiado dulce” fueron promediados, y son conocidos como umbrales de diferencia o diferencia apenas detectable.

4.2.2 Mediciones tiempo intensidad

Formación del panel. Nueve personas, 5 mujeres y 4 hombres, con edades de 25 a 49 años, estudiantes y trabajadores de la Universidad Autónoma Chapingo fueron seleccionados mediante un análisis secuencial de juicios emitidos de series de pruebas

triangulares. El entrenamiento del panel fue basado en la técnica de tiempo intensidad (TI) descrita por Swatz (1980).

Las sesiones de práctica se mantuvieron dos veces por semana para familiarizar al panelista con el procedimiento de la prueba, así como para dar al panelista conocimiento de diversas intensidades y grados de persistencia de diferentes muestras.

Instalaciones y material de la prueba. La prueba sensorial se realizó en un área aislada. Los panelistas fueron provistos con agua para enjugarse la boca entre muestras. Todos los panelistas recibieron una muestra que sirvió como calentamiento previo para su respectiva evaluación.

Las muestras de yogur a evaluar fueron servidas en vasos de plástico de 30 mL, codificados y aleatorizados con números de tres dígitos. Las respuestas fueron ubicadas en una hoja de registros, donde la abscisa fue el tiempo con intervalos de 4 segundos con una duración máxima de 120 s, y la ordenada fue la percepción de la intensidad en una escala de 0 a 10.

Entrenamiento del panel. Se emplearon soluciones de sacarosa al 4, 7 y 10 % para obtener curvas TI. Posteriormente, se emplearon cuatro soluciones con una dulzura equivalente al 10 % de sacarosa con diferentes porcentajes de sustitución de neotame por sacarosa. Así mismo, se entrenó al panel con los yogures naturales y saborizados con la sacarosa sustituida para obtener las curvas TI. Después de 48 horas de entrenamiento, la mayoría de los panelistas fueron considerados suficientemente entrenados para evaluar dulzura en yogur. Las sesiones de práctica fueron continuadas dos veces por semana, para mantener el panel en un aceptable nivel de desempeño.

Procedimiento de la prueba. El panel entrenado desarrolló curvas de tiempo intensidad para cada uno de los tratamientos de yogur, 4 (0, 50, 75 y 100 %) en yogur natural y 5 (0, 25, 50, 75 y 100 %) en yogur saborizado, usando una hoja de respuesta. Para cada evaluación el panelista consumió media cucharada cafetera (3 mL) de muestra, la introdujo a la boca al tiempo cero y la mantuvo en la lengua, a los 12 s comenzó a mover la muestra en toda la boca, y a los 20 s deglutió la muestra por completo. En cada evaluación el panelista registró la dulzura al momento de introducir la muestra a su boca a partir del tiempo cero, cada 4 segundos, hasta su extinción. Los panelistas descansaron 5 minutos o más, cuando fue necesario, entre la evaluación de las muestras. Todos los yogures fueron evaluados al tercer día de su elaboración, a una temperatura de 12 °C.

Los parámetros estándar TI calculados de las curvas fueron: Intensidad máxima del estímulo, duración total del estímulo desde la ingestión hasta la extinción, tiempo necesario para alcanzar la intensidad máxima, área total bajo la curva, área bajo la curva antes de la intensidad máxima y área bajo la curva después de la intensidad máxima.

4.2.2.1 Análisis estadístico

Los valores obtenidos de los parámetros de las curvas TI fueron analizados mediante un diseño de bloques completos al azar, cada persona del panel fue considerada un bloque, se tuvieron 4 tratamientos en yogur natural y 5 tratamientos en yogur saborizado, con 3 repeticiones por cada tratamiento. Se aplicó un análisis de varianza ($P < 0.05$) a todos los parámetros TI. Cuando existió diferencia significativa entre tratamientos, se hizo la comparación entre medias empleando la Diferencia Mínima Significativa (LSD). Los resultados obtenidos fueron analizados estadísticamente usando SAS (V8, SAS Inst., Inc., Cary, NC, USA).

4.2.3 Pruebas discriminativas

Un grupo de 60 personas entre 18 y 49 años evaluaron mediante pruebas 3-EAF, la percepción de sabor residual en yogur. Para el yogur natural se compararon 3 tratamientos con diferentes porcentajes de sustitución (50, 75 y 100 %) de sacarosa por neotame contra un tratamiento control edulcorado con sacarosa al 10 %. En yogur saborizado se compararon 4 tratamientos con diferentes porcentajes de sustitución (25, 50, 75 y 100 %) de sacarosa por neotame en yogur sabor fresa contra un yogur control edulcorado con sacarosa al 10 %. La presentación de los tratamientos fue balanceada y aleatorizada. Las muestras fueron presentadas en vasos de plástico, los cuales fueron codificados con números de tres dígitos.

4.2.3.1 Análisis estadístico

Se calculó el porcentaje de las respuestas que seleccionaron las muestras con mayor sabor residual para cada triada (dos tratamientos), y se obtuvieron los valores d' de tablas de Ennis (1993). A cada uno de estos valores se le calculó la varianza para determinar si existió diferencia significativa entre los mismos, mediante la χ^2 . Para probar la $H_0 (d_1' = d_2' = d_3' = d_n')$ y la $H_0 (d_1' = d_2')$, se utilizó el procedimiento descrito por Bi y Ennis (1997).

4.2.4 Pruebas de preferencia

Dos grupos de 50 personas, consumidores de yogur (25 hombres y 25 mujeres, en cada grupo) cuyas edades oscilaron entre 16 y 54 años, participaron en el estudio. Un grupo evaluó 4 tratamientos (0, 50, 75 y 100 %) para el yogur natural. Y el otro grupo evaluó 5

tratamientos (0, 25, 50, 75 y 100 %) para el yogur saborizado. Se llevaron a cabo 2 repeticiones por un mismo panel, para cada tratamiento, haciendo un total de 400 juicios para yogur natural y 500 juicios para yogur saborizado. Todas las muestras fueron presentadas en vasos de plástico, aleatorizadas y codificadas con números de tres dígitos. Los consumidores midieron la preferencia por cada muestra, usando una escala hedónica de nueve puntos (1 = me gusta extremadamente, 5 = ni me gusta ni me disgusta, 9 = me disgusta extremadamente).

4.2.4.1 Análisis estadístico

Los datos obtenidos de cada prueba de preferencia fueron analizados mediante un diseño de bloques completos al azar, con 5 tratamientos para yogur saborizado, y 4 tratamientos para yogur natural, con dos repeticiones. Se realizó un análisis de varianza ($\alpha < 0.05$) y una comparación de medias LSD utilizando el paquete SAS (V8, SAS Inst., Inc., Cary, NC, USA).

4.3 Medición de las variables físicas del yogur

4.3.1 Desarrollo de la acidez

Las determinaciones de pH en yogur fueron conducidas al día 0, 2 y 4, usando un potenciómetro modelo pH120 (Conductronic S.A., Puebla, México), calibrado con dos puntos, a una solución buffer pH 7 (J.T. Baker, México) y otra solución buffer pH 4 (J.T. Baker, México).

La acidez titulable en las muestras de yogur se determinó por el método de titulación directa. Para lo cual se midieron 9 mL de yogur, y se agregó 1 mL de fenolftaleína, se

agitó y tituló con hidróxido de sodio al 0.1 N con agitación continua, hasta obtener un vire a un color rosado pálido en la muestra. Las mediciones de todos los tratamientos de yogur fueron realizadas en los días 0, 2 y 4. La acidez titulable fue reportada como mili Moles de NaOH (mM_{NaOH}).

4.3.2 Actividad de agua (a_w)

Las mediciones de actividad acuosa en todos los tratamientos de yogur fueron hechas con un medidor de actividad acuosa Aqualab (Decagon, WA, E.E.U.U.), a una temperatura de 25°C. Las mediciones de todos los tratamientos de yogur fueron hechas en los días 0, 2 y 4.

4.3.3 Mediciones de consistencia

La consistencia del yogur fue medida utilizando un texturómetro TA-XT2i (Stable Micro Systems, Surrey, England). Se emplearon 100 g de muestra de cada tratamiento de yogur, en recipientes cilíndricos de 7.5 cm de altura y 6 cm de diámetro, a una temperatura 12 °C, para medir la fuerza de compresión, por el procedimiento de extrusión hacia atrás, usando un disco de acrílico de 35 mm de diámetro, con velocidades de pre-ensayo, ensayo y post-ensayo de 1.0 mm s⁻¹, penetrando una distancia de 30 mm y empleando una celda de 5 kg.

4.3.4 Análisis estadístico

Las lecturas hechas al día 0, 2 y 4, de las mediciones analíticas para las variables físicas correspondientes al pH, acidez, actividad acuosa y consistencia, fueron analizadas mediante un diseño completamente al azar con arreglo factorial, en yogur natural (4*3) y en yogur saborizado (5*3). Se realizó un análisis de varianza ($\alpha=0.05$) y la comparación de medias LSD usando el paquete SAS (V8, SAS Inst., Inc., Cary, NC, USA).

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Punto de igualdad subjetiva

El punto de igualdad subjetiva (PIS) encontrado para yogur natural edulcorado con neotame fue de $1.05 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, con un coeficiente de determinación de 0.85, mientras que el umbral de diferencia o también llamado diferencia apenas detectable, fue de $0.223 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, lo que quiere decir que el juez podrá percibir diferencias en concentraciones de pares de estímulos, cuando la diferencia sea igual o mayor $0.223 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (arriba del PIS) o cuando la diferencia sea igual o mayor de $0.223 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ hacia abajo del PIS. Estos valores fueron empleados para realizar los cálculos de equivalencia de dulzura para las pruebas sensoriales y físicas llevadas a cabo en este estudio.

5.2 Mediciones tiempo intensidad (TI)

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) aplicado a todas las variables de las curvas TI para cada tratamiento de yogur natural mostraron que sí existieron diferencias significativas entre tratamientos [$P < 0.05$]. La prueba de comparación de medias LSD mostró diferencias significativas para las variables: intensidad máxima, área total bajo la curva y área bajo la curva después de alcanzar la intensidad máxima, donde los tratamientos B (75 %) y C (100 %) tuvieron los valores más altos (Cuadro 5). Estos resultados son similares con los obtenidos por King *et al.* (2000) quienes determinaron que altas concentraciones de aspartame en yogur incrementan el sabor frutal, metálico, dulce (sacarosa), dulce (aspartame) y residual del aspartame.

Cuadro 5. Valores de las medias de las variables de las curvas TI de los diferentes tratamientos evaluados en yogur natural.

Porcentaje de sustitución	Intensidad máxima (Imáx)	Tiempo total (s)	Tiempo necesario para alcanzar la Imáx (s)	Área total bajo la curva (Abc)	Abc antes de alcanzar la Imáx	Abc después de alcanzar la Imáx
A (50 %)	6.34 ^b	51.55 ^{bc}	20.74 ^a	208.36 ^b	95.76 ^a	112.59 ^b
B (75 %)	6.78 ^a	52.66 ^{ab}	20.29 ^a	235.21 ^a	103.63 ^a	131.57 ^a
C (100 %)	6.92 ^a	55.70 ^a	20.44 ^a	251.54 ^a	103.78 ^a	147.75 ^a
D (0 %)	6.09 ^b	48.63 ^c	20.00 ^a	195.78 ^b	96.01 ^a	99.76 ^b

^{a, b, c} Medias en cada columna no seguidas por la misma letra son significativamente diferentes [P<0.05]

Los tratamientos C (100 %) y B (75 %) tuvieron el mayor tiempo total, mientras que el tratamiento A (50 %) fue considerado aquel con el menor tiempo total de duración de dulzor. Lo que cual es silmilar a los reportado por King *et al.* (2000) quienes afirmaron que las muestras con concentraciones altas y medias de aspartame fueron similares en los parámetros TI, con un mayor impacto de regusto (área), así como la mayor duración. No se observaron diferencias significativas entre tratamientos con respecto al tiempo necesario para alcanzar la intensidad máxima y el área bajo la curva antes de alcanzar la intensidad máxima.

Para el yogur saborizado, se observó que el ANAVA y la prueba de comparación de medias LSD, confirmaron que no existieron diferencias significativas para las variables TI estudiadas, entre los 5 tratamientos [P<0.05] (ver cuadro 6).

Cuadro 6. Valores de las medias de las variables de las curvas T-I de los diferentes tratamientos evaluados en yogur saborizado.

% de sustitución	Intensidad máxima (Imáx)	Tiempo total (s)	Tiempo necesario para alcanzar la Imáx (s)	Área total bajo la curva (Abc)	Abc antes de alcanzar la Imáx	Abc después de alcanzar la Imáx
A (25 %)	6.52 ^a	51.40 ^a	21.77 ^a	218.17 ^a	100.80 ^a	117.37 ^a
B (50 %)	6.50 ^a	50.96 ^a	20.74 ^a	212.01 ^a	94.41 ^a	117.60 ^a
C (75 %)	6.62 ^a	51.70 ^a	21.03 ^a	219.52 ^a	101.35 ^a	118.17 ^a
D (100 %)	6.65 ^a	52.00 ^a	21.03 ^a	222.44 ^a	99.37 ^a	123.06 ^a
E (0 %)	6.37 ^a	50.07 ^a	21.48 ^a	207.23 ^a	97.59 ^a	109.63 ^a

^a Medias en cada columna no seguidas por la misma letra son significativamente diferentes [P<0.05]

Los diferentes porcentajes de sustitución de sacarosa por neotame en yogur sabor fresa fueron considerados estadísticamente iguales para todos los parámetros estándar de las curvas TI; este resultado fue el esperado debido a que el concentrado frutal empleado en la elaboración de yogur enmascaró las pequeñas diferencias encontradas en la evaluación de yogur natural. Así lo reportó Barnes *et al.* (1991^a) quienes afirmaron que el yogur saborizado debe tener aparentemente la suficiente intensidad de sabor para enmascarar total o parcialmente la base del yogur natural. King *et al.* (2000) encontraron que el aspartame en yogur tiene un gran efecto sobre las características del sabor y la dulzura residual, incrementando el sabor frutal y disminuyendo el sabor lácteo, ácido, sulfuroso y amargo.

5.3 Pruebas discriminativas

Para yogur natural, no se encontraron diferencias significativas entre los diferentes pares evaluados (0 - 50 %, 0 - 75 % y 0 - 100 % de sustitución de sacarosa por neotame en yogur natural). Los valores d para cada comparación fueron: A (0 - 50 %) = 0.58, B (0 - 75 %) = 2.11 y C (0 - 100 %) = 1.91. El valor de χ^2 calculado fue 2.217 ($\alpha = 0.05$), mientras que el valor χ^2 de tablas fue 5.99 con un nivel de significancia del 5 %. El χ^2 calculado fue $< \chi^2$ de tablas, por lo tanto no existieron diferencias significativas entre valores d de las comparaciones hechas entre los tratamientos y el control. Los resultados de esta prueba corresponden al los reportados por Hernández *et al.* (2003), quienes tampoco encontraron diferencias entre los valores d' del sabor residual en yogur natural edulcorado con neotame de tres pares de concentraciones (0 - 25 %, 0 - 37 %, 0 - 50 %).

Para evaluar el yogur saborizado, se hicieron 4 comparaciones de diferentes porcentajes de sustitución de sacarosa por neotame, contra un yogur control edulcorado con sacarosa al 10 %. Los valores d para cada comparación fueron A (0 – 25 %) = 0.4, B (0 -50 %) = 1.06, C (0 – 75 %) = 1.66 y D (0 – 100 %) = 1.58. Los resultados obtenidos en esta prueba mostraron diferencias significativas entre los valores d' de las comparaciones hechas entre los tratamientos y el control, χ^2 calculado fue $20.57 > \chi^2$ de tablas de 7.81, con 3 grados de libertad y 5 % del nivel de significancia. Los valores z calculados de las diferentes comparaciones de los valores d' entre tratamientos comparadas con los valores z de tablas mostraron diferencias significativas (Cuadro 7)

Cuadro 7. Comparación de los valores “ d' ” de tratamientos pareados con diferentes porcentajes de sustitución de sacarosa por neotame en yogur saborizado contra un control (sacarosa 10 %).

Comparación de los valores d	Valor z calculado	Valor z tablas [$\alpha/2$]
A-B	-2.189 ^a	1.96
B-C	-1.846	1.96
C-D	0.235	1.96
D-A	3.725 ^a	1.96
A-C	-3.930 ^a	1.96
B-D	-1.619	1.96

^a Los valores de d de las comparaciones de los tratamientos son significativamente diferentes con un $\alpha/2$

En general, los resultados de esta prueba muestran que el valor d de la comparación A (0 – 25 %) fue diferente del resto de los valores d' , debido a que el uso de bajas concentraciones de edulcorantes sintéticos en yogur tienen un menor impacto en el sabor residual, mientras que incremento en la concentración de los mismos tiene un aumento en el sabor residual, como lo reportaron King *et al.* (2000) al evaluar edulcorantes alternativos en yogur. King *et al.* (2003) afirmaron que no hubo evidencia de que el sabor residual dulce o amargo del aspartame, solo o mezclado, fuera percibido en yogur natural, aunque el sabor ácido pareció ser enmascarado.

5.4 Pruebas de preferencia

Para yogur natural, el ANAVA aplicado a los valores hedónicos de los 4 tratamientos evaluados, mostró diferencias significativas. La prueba de comparación de medias LSD sólo mostró diferencia significativa para el tratamiento D (0 %), el cual fue el más preferido de todos los tratamientos de yogur, mientras que el resto de los tratamientos fueron considerados estadísticamente iguales (Cuadro 8). Los resultados de esta prueba confirmaron lo sugerido por las pruebas discriminativas, pues las sustituciones de 50, 75 y 100 % son igualmente preferidas en términos estadísticos.

Cuadro 8. Medias de los valores hedónicos de 4 tratamientos de yogur con diferentes porcentajes de sustitución de sacarosa por neotame en yogur natural.

Tratamientos	Preferencia
A (50 %)	4.14 ^b
B (75 %)	4.44 ^b
C (100 %)	4.20 ^b
D (0 %)	3.74 ^a

^{a, b} Medias no seguidas por la misma letra son significativamente diferentes [P<0.05]

El yogur saborizado mostró diferencias significativas en la preferencia, para los tratamientos A (25 %), B (50 %) y E (0 %) tal como se observa en el cuadro 9.

Cuadro 9. Medias de los valores hedónicos de 5 tratamientos de yogur con diferentes porcentajes de sustitución de sacarosa por neotame en yogur sabor fresa.

Tratamientos	Preferencia
A (25 %)	3.79 ^a
B (50 %)	3.74 ^a
C (75 %)	4.52 ^b
D (100 %)	4.87 ^b
E (0 %)	3.46 ^a

^{a, b} Medias no seguidas por la misma letra son significativamente diferentes [P<0.05]

Los tratamientos A (25 %) y B (50 %) fueron igualmente preferidos que el tratamiento edulcorado únicamente con sacarosa (E), por lo tanto la sustitución del 50 % de neotame por sacarosa en yogur sabor fresa no afecta la preferencia del producto, estos resultados

son similares a los obtenidos por Keating y White (1990), quienes encontraron que el yogur control edulcorado con sacarosa fue el más preferido seguido del aspartame, mientras que el consumidor describió al yogur edulcorado con acesulfame K como aquel con mayor sabor residual, el cual tuvo la menor preferencia. Barnes *et al.* (1991a) informaron que todas las preferencias del consumidor se basan en el sabor frutal, dulzura, acidez y balance dulzura-acidez del yogur, y la menor aceptabilidad correspondió a yogures altos en acidez y con sabor de yogur simple, como se ha reportado en varios estudios relacionados con la identificación de los descriptores sensoriales para la aceptación del yogur (Barnes *et al.*, 1991b; Harper *et al.*, 1991; Guinard *et al.*, 1994).

5.5 Medición de las variables físicas

Para yogur natural, el factor tratamiento (sustituciones) sólo mostró diferencias significativas para las variables: pH, acidez y consistencia. El tratamiento C (100 %) mostró tener el menor valor de pH, respecto al resto de los tratamientos. Sin embargo, fue el más favorecido para la consistencia. Fernández *et al.* (1998) afirmaron que un incremento en las concentraciones de sacarosa y fructosa en yogur (arriba del 3.6 %) disminuye la velocidad de producción del ácido láctico y alenta la reducción de pH durante la fermentación. Por otra parte, el tratamiento D (0 %) tuvo la mayor acidez titulable al igual que el tratamiento B (75 %). La a_w no mostró diferencias entre tratamientos. Hernández *et al.* (2003) afirmaron que no existieron diferencias significativas en el a_w al sustituir un 50 % de la sacarosa por neotame en yogur natural durante los primeros 6 días de almacenamiento. Respecto al factor tiempo, se observó un incremento significativo conforme aumentó el tiempo de almacenamiento para: acidez y

a_w , mientras que para el pH se observó una pequeña disminución (Cuadro 10). La tendencia del incremento en los valores de acidez titulable al aumentar el tiempo de almacenamiento, fue también encontrada en otros estudios realizados en yogur (Farooq y Haque, 1992; Fernández. *et al.*, 1998; Salvador y Fiszman, 2004). La consistencia no mostró diferencias en los distintos periodos de evaluación.

Cuadro 10. Valores de las medias de las variables: pH, acidez, a_w y consistencia para 4 tratamientos de yogur natural, durante los días 0, 2 y 4 de almacenamiento.

Variables	Tratamientos				Tiempo		
	A(50 %)	B(75 %)	C(100 %)	D(0 %)	0	2	4
pH	4.55 ^a	4.50 ^{ab}	4.42 ^b	4.52 ^a	4.58 ^a	4.47 ^b	4.44 ^b
Acidez	79.99 ^a	76.41 ^{ab}	80.48 ^a	74.56 ^b	73.51 ^c	77.95 ^b	82.12 ^a
a_w	0.992 ^a	0.991 ^a	0.992 ^a	0.990 ^a	0.990 ^b	0.991 ^a	0.992 ^a
Consistencia	25.68 ^b	29.92 ^{ab}	33.98 ^a	28.24 ^b	28.02 ^a	29.97 ^a	30.38 ^a

^{a, b, c} Medias en cada renglón no seguidas por la misma letra son significativamente diferentes [P<0.05]

Para yogur saborizado se encontraron diferencias para el factor tratamiento (sustituciones) para todas las variables estudiadas: pH, acidez, a_w y consistencia. El tratamiento A (25 %) resultó tener el menor valor de pH respecto al resto de los tratamientos. Keating y White (1990), encontraron que yogures que fueron edulcorados con sacarosa, aspartame y sorbitol tuvieron los menores valores en pH. Sin embargo, se observó que el tratamiento E (0 %) tuvo la menor acidez y los tratamientos B (50 %) y C (75 %) la mayor. Es posible que una alta presión osmótica causada por los monosacáridos de la sacarosa (10 %) pudiera afectar la actividad del cultivo. El tratamiento D (100 %) mostró tener la mayor a_w , mientras que el tratamiento E (0 %) tuvo el menor valor. Los tratamientos más favorecidos para consistencia fueron el A (25 %) y B (50 %) (Cuadro 11). Keating y White (1990) mencionaron que al emplear edulcorantes alternativos en yogur sabor fresa bajo en grasa, estos afectaron el cuerpo y la textura del mismo, al incrementar el cuerpo del yogur durante los primeros 14 días de almacenamiento, mientras que a los 28 y 42 días se observó una ligera disminución.

Respecto al factor tiempo, se observó un incremento significativo para consistencia y acidez, y una disminución para los valores de pH cuando aumentó el tiempo de almacenamiento. Fernández *et al.* (1998) encontraron una disminución del pH en yogur al incrementar el tiempo de almacenamiento. Un comportamiento similar de los valores de pH fue encontrado por otros estudios realizados en yogur (Farooq y Haque, 1992; Fernández *et al.*, 1998).

Cuadro 11. Valores de las medias de las variables: pH, acidez, a_w y consistencia para 5 tratamientos de yogur sabor fresa durante los días 0, 2 y 4 de almacenamiento.

Variables	Tratamientos					Tiempo		
	A(25 %)	B(50 %)	C(75 %)	D(100 %)	E(0 %)	0	2	4
pH	4.57 ^c	4.63 ^b	4.77 ^a	4.77 ^a	4.76 ^a	4.75 ^a	4.70 ^b	4.64 ^c
Acidez	81.96 ^b	84.55 ^a	84.43 ^a	82.58 ^b	79.12 ^c	78.95 ^c	82.73 ^b	85.91 ^a
a_w	0.988 ^{bc}	0.990 ^{ab}	0.991 ^{ab}	0.992 ^a	0.987 ^c	0.989 ^a	0.990 ^a	0.991 ^a
Consistencia	25.13 ^a	24.28 ^a	18.03 ^b	19.58 ^b	18.41 ^b	19.32 ^b	20.64 ^b	23.31 ^a

^{a, b, c} Medias en cada renglón no seguidas por la misma letra son significativamente diferentes [P<0.05]

Para la variable acidez se encontró una interacción para el factor tratamiento y tiempo de almacenamiento, la comparación de medias se muestran en el cuadro 12.

Cuadro 12. Valores de las medias de acidez titulable (mM_{NaOH}) de los 5 tratamientos evaluados en yogur sabor fresa.

Tratamientos	Día 0	Día 2	Día 4
A (25 %)	79.25 ^{b,x}	82.21 ^{a,y}	84.43 ^{a,y}
B (50 %)	82.21 ^{a,x}	84.43 ^{a,xy}	87.02 ^{a,y}
C (75 %)	81.47 ^{ab,x}	83.32 ^{a,x}	88.51 ^{a,y}
D (100 %)	79.99 ^{ab,x}	82.58 ^{a,xy}	85.17 ^{a,y}
E (0 %)	71.84 ^{c,x}	81.10 ^{a,y}	84.43 ^{a,z}

^{a, b, c} Medias en cada columna no seguidas por la misma letra son significativamente diferentes [P<0.05]

^{x, y, z} Medias en cada renglón no seguidas por la misma letra son significativamente diferentes [P<0.05], comparación de medias para un mismo tratamiento.

Sólo se encontraron diferencias entre tratamientos para el día 0 de almacenamiento, donde se observó que el tratamiento B (50 %) fue el más alto y el tratamiento E (0 %) el más bajo. Respecto al factor tiempo, se observó un incremento general significativo de la acidez para cada periodo de almacenamiento.

6. CONCLUSIONES

Las evaluaciones TI llevadas a cabo en yogur natural mostraron pequeñas pero significativas diferencias en los parámetros: intensidad máxima, tiempo total, área total bajo la curva y área total bajo la curva antes de alcanzar la intensidad máxima, sin embargo, no fue encontrado lo mismo para yogur saborizado pues este efecto pudo ser enmascarado por el concentrado frutal empleado para la elaboración del yogur. No se encontraron diferencias significativas en el sabor residual en yogur natural para ningún tratamiento, mientras que para el yogur saborizado sí las hubo, donde el valor d' de la comparación de los tratamientos 0 - 25 %, fue diferente del resto de los valores d' (0 - 50 %, 0 - 75 % y 0 - 100 %), ya que presentó un menor sabor residual debido a que el porcentaje de sustitución de la sacarosa por neotame fue menor, disminuyendo así el impacto en el sabor residual. En el yogur natural, los consumidores mostraron tener la misma preferencia sobre las sustituciones al 50, 75 y 100 %, sin embargo, el tratamiento con mayor preferencia fue el control edulcorado únicamente con sacarosa. Por otro lado, la preferencia en yogur saborizado con sustituciones de 25 y 50 % fueron igualmente preferidas que el control, con respecto al resto de las sustituciones (75 y 100 %). En yogur natural, se observó que la acidez y la consistencia tuvieron un incremento significativo cuando aumentó el tiempo de almacenamiento, sin embargo, se encontró una disminución en el pH. El tratamiento C (100 %) tuvo el menor valor de pH, pero la mayor consistencia del resto de los tratamientos. El tratamiento D (0 %) tuvo la mayor acidez titulable al igual que el tratamiento B (75 %). El yogur saborizado mostró diferencias para todas las variables estudiadas. Sí bien, se encontró un aumento significativo para consistencia y acidez, también se observó una disminución para el pH

durante el periodo de evaluación. El tratamiento A (25 %) tuvo el menor valor de pH, no obstante, los tratamientos B (50 %) y C (75 %) tuvieron la mayor acidez, mientras que el tratamiento E (0 %) tuvo la menor. Los valores más altos de a_w fueron encontrados para el tratamiento D (100 %) y los más bajos para el tratamiento E (0 %). Los tratamientos con mayor consistencia fueron el A (25 %) y el B (50 %). De acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación se concluye que en el yogur natural la sustitución parcial o total de sacarosa por neotame tiene efectos sobre la preferencia del producto, sin embargo no afecta el sabor residual del mismo. En el yogur saborizado la sacarosa puede ser sustituida por neotame hasta un 50 % sin afectar la preferencia del producto, no obstante se observaron cambios en la percepción del sabor residual arriba del 25 % de sustitución. Lo cual pudo ser atribuido a un considerable enmascaramiento por parte del concentrado frutal empleado para la elaboración del yogur saborizado.

7. LITERATURA CITADA

- American Dietetic Association (ADA). 2004. Position of the American dietetic association: Use of the nutritive and nonnutritive sweeteners. J. American Dietetic Association 104:255-275
- Barnes L., Harper J., Bodyfelt W. y MacDaniel R. 1991a. Correlation of descriptive and consumer panel flavor ratings for commercial prestirred and lemon yogurts. J. Dairy Science 74:2089-2099
- Barnes L., Harper J., Bodyfelt W. y MacDaniel R. 1991b. Prediction of consumer acceptability of yogurt by sensory and analytical measures of sweetness and sourness. J. Dairy Science. 74: 3746-3754
- Bell N. y Labuza P. 1994 Aspartame stability in commercially sterilized flavored dairy beverages J. Food Science. 77: 34-38

- Bi J. y Ennis D. 1997. How to estimate and use the variance of d' from difference tests. *J. Sensory Studies*. 12:87-104
- Ennis D. 1993. The power of the sensory discrimination methods. *J. Sensory Studies* 8: 353-370
- Farooq K. y Haque U. 1992. Effect of sugar esters on the textural properties of nonfat low calorie yogurt. *J. Dairy Science* 75:2676-2680
- Fellows W., Chang W. y Keller E. 1991. Effect of sundae-style yogurt fermentation on the aspartame stability in fruit preparation. *J. Dairy Science* 74:3345-3347
- Fernández G., McGregor J. y Traylor S. 1998 The addition of oat fiber and natural alternative sweeteners in the manufacture of plain yogurt. *J. Dairy Science* 81:655-633
- Guinard X., Little C., Marty C. y Palchak R. 1994. Effect of sugar and acid on the acceptability of frozen yogurt to a student population. *J. Dairy Science*. 77:1232-1238
- Harper J., Barnes L., Bodyfelt W. y McDaniel R. 1991. Sensory ratings of commercial plain yogurts by consumer and descriptive panels. *J. Dairy Science*. 74:2927-2935
- Harrison K. y Bernhard A. 1984. Time-intensity sensory characteristics of saccharin, xylitol and galactose and their effect on the sweetness of lactose. *J. Food Science*. 49:780 -786.
- Hernández M., Hernández M. y Villegas DG. 2003 Percepción de dulzura en yogur natural edulcorado con neotame. Tesis Profesional. Departamento de Ingeniería Agroindustrial. Universidad Autónoma Chapingo, México. 76p.
- Keating R. y White H. 1990. Effect of alternative sweeteners in plain and fruit-flavored yogurts. *J. Dairy Science*. 73:54-62
- Keller E., Nash C., Newberg S. y Shazer H. 1991 The degradation of aspartame in chocolate milk related to processing conditions and subsequent microbial load. *J. Dairy Science*. 74:1214-1217
- King C., Lawler J. y Adams K. 2000. Effect of aspartame and fat on sweetness perception in yogurt. *J. Food Science*. 65: 1056 -1059.
- King M., Arents P. y Duineveld A. 2003. A comparison of aspartame and sucrose with respect to carryover effects in yogurt. Abstract. *J. Food Quality and Preference*. 14:75-81

- Larson P. y Pangborn R. 1978. Paired comparison and time intensity measurements of the sensory properties of beverages and gelatins containing sucrose or synthetic sweeteners. *J. Food Science*. 43: 41 – 46
- Matysiak L. y Noble C. 1991. Comparison of temporal perception of fruitiness in model systems sweetened with aspartame, an aspartame + acesulfame K blend, or sucrose. *J Food Science*. 56: 823 -826.
- McBride L. y Booth A. 1986. Using classical psychophysics to determine ideal flavour intensity. *J Food Technology* 21: 775-780
- Nofre C. y Tinti J. 2000. Neotame: discovery, properties, utility. *Food Chemistry* 69: 245-267
- Nutrasweet Property Holdings, Inc. 2001. Neotame como acentuador de sabor (en línea). Estados Unidos de América. Consultado el 28 de octubre 2004. Disponible en http://www.neotame.com.mx/pdf/netame_acentuador_MX.pdf
- Ott B., Edwards L. y Palmer J. 1991. Perceived taste Intensity and duration of nutritive and non-nutritive sweeteners in water using time-intensity (T-I) evaluations. *J. Food Science*. 56: 535 -542.
- SAGARPA SIAP (Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera). Boletín de la leche. (en línea) Consultado el 6 de Noviembre del 2004. Disponible en: <http://www.agricultura.com.mx/CGI-BIN/descargas/SIAP/FINBL-Mar-04-int.doc>
- Salvador A. y Fizman M. 2004. Textural and sensory characteristics of whole and skimmed flavored set-type yogurt during long storage. *J. Dairy Science* 87:4033-4041
- Santos M. 2001. Manual de elaboración de productos lácteos. Departamento de Ingeniería Agroindustrial. Programa Universitario de Investigación de Alimentos. Universidad Autónoma Chapingo. México. pp: 113-126.
- Swartz M. 1980. Sensory screen of synthetic sweeteners using time-intensity evaluations. *J. Food Science*. 45: 577 - 581.
- Specter E. y Setser S. 1994. Sensory and physical properties of a reduced-calorie frozen dessert system made with milk fat and sucrose substitutes. *J. Dairy Science* 77: 708-717
- Welti CH. y Vergara B. 2002. Temas en tecnología de alimentos. México CYTED. Instituto Politécnico Nacional, Ed. Alfaomega Grupo Editor. Vol. 1, 11-40p.

BIBLIOGRAFÍA GENERAL

- American Dietetic Association (ADA). 2004. Position of the American dietetic association: Use of the nutritive and nonnutritive sweeteners. J American Dietetic Association. 104:255-275
- Barnes L., Harper J., Bodyfelt W. y MacDaniel R. 1991a. Correlation of descriptive and consumer panel flavor ratings for commercial prestirred and lemon yogurts. J. Dairy Science. 74:2089-2099
- Barnes L., Harper J., Bodyfelt W. y MacDaniel R. 1991b. Prediction of consumer acceptability of yogurt by sensory and analytical measures of sweetness and sourness. J. Dairy Science 74: 3746-3754
- Bell N. y Labuza P. 1994. Aspartame stability in commercially sterilized flavored dairy beverages. J. Food Science. 77: 34-38
- Bi J. y Ennis, D. 1997. How to estimate and use the variance of d' from difference tests. J. Sensory Studies. 12:87-104
- Castro L., y Sánchez R. 2001. Tendencias y oportunidades de desarrollo de la red leche en México, Producción de Yogur. FIRA, Boletín Informativo. 9ª Época Num. 317 Vol. XXXIII
- Charley H. 2004. Tecnología de alimentos, Procesos químicos y físicos en la preparación de alimentos. Evaluación de los alimentos. 11ª edición. Editorial Limusa. México. pp: 20-25.
- Chung J., Heymann H. y Grün U. 2003. Temporal release of flavor compounds from low-fat and high-fat ice cream during eating. J. Food Science. 68:2150-2156
- Ennis D. 1993. The power of the sensory discrimination methods. J. Sensory Studies. 8: 353-370
- Espinosa S. y Santos M. 2000. Yogur su elaboración. Departamento de Ingeniería Agronómica, Universidad Autónoma Chapingo. México. pp: 11-21.
- Farooq K. y Haque U. 1992. Effect of sugar esters on the textural properties of nonfat low calorie yogurt. J. Dairy Science. 75:2676-2680
- Fellows W., Chang W. y Keller E. 1991. Effect of sundae-style yogurt fermentation on the aspartame stability in fruit preparation. J. Dairy Science. 74:3345-3347

- Fennema R. 2000. Química de los alimentos, Flavores. 2ª Edición, Editorial Acirbia S.A. España. pp: 855-862.
- Fernández G., McGregor J. y Traylor S. 1998. The addition of oat fiber and natural alternative sweeteners in the manufacture of plain yogurt. *J. Dairy Science*. 81:655-633
- Garrido D., Calviño A. y Hough G. 2001. A parametric model to average time-intensity taste data. *J. Food Quality and Preference*. 12:1-8
- Geschelder A. 1976. Psychophysics method and theory. The Hamilton College. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale. New Jersey. pp: 21-38.
- Guinard X., Little C., Marty C. y Palchak R. 1994. Effect of sugar and acid on the acceptability of frozen yogurt to a student population. *J. Dairy Science*. 77:1232-1238
- Harper J., Barnes L., Bodyfelt W. y McDaniel R. 1991. Sensory ratings of commercial plain yogurts by consumer and descriptive panels. *J. Dairy Science*. 74:2927-2935
- Harrison K. y Bernhard A. 1984. Time-intensity sensory characteristics of saccharin, xylitol and galactose and their effect on the sweetness of lactose. *J. Food Science*. 49:780 -786.
- Hernández M., Hernández M., y Villegas DG. 2003 Percepción de dulzura en yogur natural edulcorado con neotame. Tesis Profesional. Departamento de Ingeniería Agroindustrial. Universidad Autónoma Chapingo, México. 76p.
- Hyvönen L. y Slotte M. 1983. Alternative sweetening of yoghurt. *J. Food Technology* 18:97-112
- Hyvönen L., Linna M. y Tuorila H. Dijksterhuis G. 2003. Perception of melting and flavor release of ice cream containing different types and contents of fat. *J. Dairy Science*. 86:1130-1138
- Keating R. y White H. 1990. Effect of alternative sweeteners in plain and fruit-flavored yogurts. *J. Dairy Science*. 73:54-62
- Keller E., Nash C., Newberg S. y Shazer H. 1991. The degradation of aspartame in chocolate milk related to processing conditions and subsequent microbial load. *J. Dairy Science*. 74: 1214-1217
- King C., Lawler J. y Adams K. 2000. Effect of aspartame and fat on sweetness perception in yogurt. *J. Food Science*. 65: 1056 -1059.

- King M., Arents P. y Duineveld A. 2003. A comparison of aspartame and sucrose with respect to carryover effects in yogurt. *Abstract. J. Food Quality and Preference*. 14:75-81
- Larson P. y Pangborn R. 1978. Paired comparison and time intensity measurements of the sensory properties of beverages and gelatins containing sucrose or synthetic sweeteners. *J. Food Science*. 43: 41 – 46
- Lee J. y Lucey A. 2004. Structure and physical properties of yogurt gels: Effect of inoculation rate and incubation temperature. *J. Dairy Science*. 87:3153-3164
- Lucey A. 2002. Formation y physical properties of milk proteins gel. *J. Dairy Science*. 85:281-294
- Matysiak L. y Noble C. 1991. Comparison of temporal perception of fruitiness in model systems sweetened with aspartame, an aspartame + acesulfame K blend, or sucrose. *J. Food Science*. 56: 823 -826
- McBride L. y Booth A. 1986. Using classical psychophysics to determine ideal flavour intensity. *J. Food Technology*. 21: 775-780
- Nofre C. y Tinti J. 2000. Neotame: discovery, properties, utility. *Food Chemistry* 69: 245-267
- Nutrasweet Property Holdings, Inc. 2001. Neotame como acentuador de sabor (en línea). Estados Unidos de América. Consultado el 28 de octubre 2004. Disponible en http://www.neotame.com.mx/pdf/netame_acentuador_MX.pdf
- Ott B., Edwards L. y Palmer J. 1991. Perceived taste intensity and duration of nutritive and non-nutritive sweeteners in water using time-intensity (T-I) Evaluations. *J. Food Science*. 56: 535 -542
- Peyvieux C. y Dijksterhuis G. 2001. Training a sensory panel for TI: a case study. *J. Food Quality and Preference*. 12:19- 28
- SAGARPA SIAP (Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera). Boletín de la leche. (en línea) Consultado el 6 de Noviembre del 2004. Disponible en: <http://www.agricultura.com.mx/CGI-BIN/descargas/SIAP/FINBL-Mar-04-int.doc>
- Salvador A. y Fizman M. 2004. Textural and sensory characteristics of whole and skimmed flavored set-type yogurt during long storage. *J. Dairy Science* 87:4033-4041

- Santos M. 2001. Manual de elaboración de productos lácteos. Departamento de Ingeniería Agroindustrial. Programa Universitario de Investigación de Alimentos. Universidad Autónoma Chapingo. México. pp: 113-126.
- Swartz M. 1980. Sensory screen of synthetic sweeteners using time-intensity evaluations. J. Food Science. 45:577-581.
- Specter E. y Setser S. 1994. Sensory and physical properties of a reduced-calorie frozen dessert system made with milk fat and sucrose substitutes. J. Dairy Science 77: 708-717
- Tamime Y. y Robinson K. 2002. Yoghurt. Science and technology. 2da ed. CRC Press Boca Raton, FL. Cambridge, Inglaterra. 587p.
- Welti CH. y Vergara B. 2002. Temas en tecnología de alimentos. CYTED, Instituto Politécnico Nacional, Ed. Alfaomega Grupo Editor. México Vol. 1 11-40p.