

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, NATURALES Y AMBIENTALES

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

**Desarrollo y aplicación de Olestra y Salatrim como sustitutos en grasa en
la industria alimentaria**

Monografía previa a la obtención del título de Química

ROMINA ANTONELLA BUITRÓN CARRERA

Quito, 2025

CERTIFICACIÓN

Certifico que la Monografía de Química, de la Srta. Romina Antonella Buitrón Carrera ha sido concluida de conformidad con las normas establecidas; por lo tanto, puede ser presentada para la calificación correspondiente.



Firma del tutor de la monografía

Tutor (a) de la monografía

Quito, de julio de 2025

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación, en primer lugar, a Dios, por haber sido mi pilar, mi guía y mi fortaleza a lo largo de estos cuatro años de Universidad. Confío plenamente en que sus planes son siempre para bien.

A mis padres, Xavier y Maggy, gracias por su esfuerzo, apoyo y su amor incondicional. Por los valores que me inculcaron, los cuales llevaré siempre conmigo y por brindarme una educación que ha sido la base fundamental de este logro que también es suyo.

A mis hermanos, Dominique, Gabriel y Anabelle, por ser mi apoyo constante, y por motivarme a seguir adelante en los momentos más difíciles. Se que siempre puedo contar con ustedes.

A mi cuñado Galo Orquera, por su orientación, confianza y apoyo constante a lo largo de estos años y en especial en este trabajo.

A mis abuelitos, Fabián y Elsa, por su amor incondicional, y por enseñarme con su ejemplo el valor de la perseverancia y constancia.

A mis amigos, por acompañarme en este proceso, por su cariño, amistad, apoyo y comprensión que me brindaron en cada etapa.

A mis docentes y mentores, MSc. Gabriela Cueva, MSc. Pablo Pozo, MSc. Amanda Cevallos y Dra. Lenys Fernández, por compartir su conocimiento, por su dedicación y por haberme guiado en el proceso de esta monografía, despertando más mi interés por la ciencia.

Y finalmente, a mí misma, por no rendirme, por confiar en mis capacidades por más difícil que se vea el camino y por demostrarme que cada esfuerzo, por más pequeño que parezca, siempre vale la pena.

Este trabajo es el reflejo del amor, el apoyo y el compromiso de todos ustedes. Gracias.

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|----|
| RESUMEN..... | 6 |
| ABSTRACT..... | 7 |
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 7 |
| 2. Objetivos..... | 10 |
| 2.1. Objetivo general | 10 |
| 2.2. Objetivos específicos | 10 |
| 3. DESARROLLO TEÓRICO | 10 |
| 3.1. Alimentos | 10 |
| 3.1.1. Definición | 10 |
| 3.1.2. Funciones vitales de los alimentos en el cuerpo humano | 11 |
| 3.1.3. Clasificación de los alimentos | 12 |
| 3.2. Lípidos..... | 13 |
| 3.2.1. Concepto de lípidos | 13 |
| 3.2.2. Funciones vitales en el cuerpo humano..... | 14 |
| 3.2.3. Clasificación de los lípidos | 14 |
| 3.2.4. Estructura y composición química de los triglicéridos. | 15 |
| 3.2.5. Función y síntesis de triglicéridos en el cuerpo humano..... | 16 |
| 3.2.6. Aporte calórico de los triglicéridos en los alimentos | 18 |
| 3.2.7. Enfermedades | 19 |
| 3.3. Sustitutos de grasa | 21 |
| 3.3.1. Definición y origen de sustitutos de grasa..... | 21 |
| 3.3.2. Función de sustitutos de grasa y aportación energética..... | 22 |
| 3.3.3. Características químicas de los sustitutos de grasa..... | 23 |
| 3.3.4. Tipos de sustitutos de grasa..... | 25 |
| 3.3.4.1. Sustitutos de grasas a base de carbohidratos..... | 26 |
| 3.3.4.2. Sustitutos de grasas a base de proteínas | 27 |
| 3.3.4.3. Los sustitutos de grasa a base de grasa | 28 |
| 3.3.5. Olestra | 29 |
| 3.3.5.2. Composición y estructura química de Olestra | 29 |
| 3.3.5.3. Síntesis de Olestra | 31 |
| 3.3.5.4. Olestra empleada en la industria alimentaria | 33 |
| 3.3.4.5. Beneficios | 35 |
| 3.3.5.5. Desventajas | 37 |
| 3.3.5.6. Mecanismo bioquímico | 38 |
| 3.3.6. Salatrim | 39 |
| 3.3.6.1. Origen y desarrollo | 39 |

| | | |
|----------|---|----|
| 3.3.6.2. | Composición y estructura química de Salatrim..... | 40 |
| 3.3.6.3. | Síntesis de la Salatrim | 41 |
| 3.3.6.4. | Salatrim en la industria Alimentaria | 42 |
| 3.3.6.5. | Beneficios..... | 44 |
| 3.3.6.6. | Desventajas..... | 45 |
| 3.3.6.7. | Mecanismo bioquímico | 46 |
| 3.3.7. | Técnicas instrumentales para identificar Olestra y Salatrim | 47 |
| 3.3.8. | Comparación entre Olestra y Salatrim..... | 48 |
| 4. | Conclusiones | 50 |
| 4.1. | Recomendaciones | 51 |
| | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 52 |

RESUMEN

El presente trabajo bibliográfico-documental recopila y analiza información sobre el desarrollo, composición y aplicación de sustitutos de grasa a base de lípidos, específicamente Olestra y Salatrim, en la industria alimentaria, como respuesta a los problemas de salud pública asociados al consumo de grasas saturadas y trans. El objetivo principal es evaluar la eficacia de estos compuestos en la reducción del contenido calórico de los alimentos, sin comprometer significativamente su sabor, textura o calidad nutricional. Olestra, un éster de ácidos grasos y sacarosa no es absorbida por el tracto gastrointestinal, lo que permite su incorporación en alimentos procesados como snacks sin aportar calorías; no obstante, puede interferir con la absorción de vitaminas liposolubles y causar molestias gastrointestinales en ciertos consumidores. En cambio, Salatrim es un triglicérido modificado que combina ácidos grasos de cadena corta y larga, logrando una reducción calórica sin afectar negativamente las propiedades organolépticas del alimento, aunque presenta baja estabilidad térmica. Ambos compuestos han sido aprobados por autoridades como la FDA y se utilizan en productos como snacks, lácteos y productos horneados. A pesar de sus beneficios nutricionales y sensoriales, su uso requiere una evaluación de riesgos a largo plazo, la fortificación con micronutrientes esenciales y una adecuada adaptación tecnológica. Este estudio concluye que Olestra y Salatrim representan alternativas viables a las grasas convencionales, siempre que se utilicen con precaución y bajo regulaciones específicas que garanticen su seguridad y eficacia.

Palabras Clave: industria alimentaria, Olestra, reducción calórica, Salatrim, seguridad alimentaria, sustitutos, vitaminas.

ABSTRACT

This bibliographic-documentary study compiles and analyzes information on the development, composition, and application of lipid-based fat substitutes, specifically Olestra and Salatrim, in food industry, as a response to public health concerns associated with the consumption of saturated and trans fats. The main objective is to evaluate the effectiveness of these compounds in reducing the caloric content of foods without significantly compromising their taste, texture, or nutritional quality. Olestra, a sucrose polyester of fatty acids, is not absorbed by the gastrointestinal tract, allowing its inclusion in processed foods such as snacks without contributing calories; however, it may interfere with the absorption of fat-soluble vitamins and cause gastrointestinal discomfort in some consumers. In contrast, Salatrim is a modified triglyceride composed of short- and long-chain fatty acids that achieves caloric reduction without negatively affecting the organoleptic properties of food, although it has low thermal stability. Both compounds have been approved by regulatory agencies such as the FDA and are used in products like snacks, dairy items, and baked goods. Despite their nutritional and sensory benefits, their use requires long-term risk assessment, fortification with essential micronutrients, and appropriate technological adaptation. This study concludes that Olestra and Salatrim are viable alternatives to conventional fats, provided they are used cautiously and under specific regulations to ensure their safety and efficacy.

Key words: caloric reduction, fat-soluble vitamins, fat substitutes, food industry, food safety, Olestra, Salatrim

1. INTRODUCCIÓN

Los sustitutos de grasas son compuestos químicos sintéticos que se utilizan para reemplazar los lípidos y aceites en los alimentos, con el objetivo de reducir el contenido calórico y mejorar el perfil nutricional de los productos alimenticios. Según Bhattacharya (2023), existen varios tipos de sustitutos de grasas, incluyendo: Olestra, Salatrim, gomas, proteínas y almidones.

Los sustitutos de grasas tienen una historia que se remonta a la década de 1950, cuando los científicos comenzaron a buscar alternativas a las grasas y aceites tradicionales para reducir el contenido calórico de los alimentos. Los investigadores en un inicio empezaron a experimentar con sustitutos de grasas, como los ésteres de sacarosa y ácidos grasos. Estos primeros intentos de reemplazo de grasas se centraron en la reducción del contenido calórico de los alimentos, pero no se consideraron adecuados para el consumo humano debido a su sabor y textura desagradables (Perelman,2017). En 1960, un equipo de científicos de la empresa Procter & Gamble desarrolló la Olestra, un éster de sacarosa y ácidos grasos que se utiliza como mimético de grasa en los alimentos. La Olestra se convirtió en el primer sustituto de grasa ampliamente utilizado en la industria alimentaria. Por otra parte, en 1990 la compañía Nabisco sintetizó el Salatrim, un triglicérido sintético, compuesto por ácidos grasos unidos a una molécula de glicerol que se utiliza como sustituto de grasa en los alimentos.

Estos sustitutos se encuentran en gran variedad de alimentos algunos son: los snacks como las papas fritas, doritos y repostería como galletas, pasteles, postres congelados, salsas, productos lácteos y margarinas.

Estudios previos de los sustitutos en grasas como el de Reyes (2002), menciona que el Salatrim se utiliza como alternativa a las grasas hidrogenadas, que pueden contener isómeros trans, cuyo consumo está restringido debido a sus efectos negativos sobre la salud cardiovascular. No obstante, Katan et al. (2003) revelan que la Olestra puede ayudar a reducir los niveles de colesterol en la sangre al inhibir la absorción de colesterol dietético. Esto se debe a que este sustituto no es absorbido por el cuerpo y, por tanto, no contribuye a la formación de colesterol.

El consumo excesivo de grasas, particularmente saturadas y trans, está relacionado con enfermedades como: obesidad, enfermedades cardiovasculares y diabetes tipo 2 (World Health Organization [WHO], 2018).

En Ecuador, estudios recientes indican que en la población adulta en las zonas urbanas de la ciudad de Quito y otras regiones presentan un riesgo significativo de padecer enfermedades cardiovasculares, seguido de la obesidad debido al consumo de grasas trans (Soria, 2021). En contraste, en Estados Unidos la obesidad ha sido un problema de salud pública durante décadas, en parte debido al consumo elevado de grasas trans. Esta situación ha impulsado a empresas norteamericanas a buscar alternativas saludables que reduzcan el contenido calórico de los alimentos sin modificar su sabor y textura. En este contexto, surgieron los sustitutos de grasas como la Olestra y el Salatrim, desarrollados por distintas empresas en 1960 y 1990, respectivamente. Sin embargo, en el Ecuador, la información disponible sobre la implementación de estos sustitutos de grasas en productos alimenticios es limitada. Por otro lado, estudios revelan que el uso de estos sustitutos puede provocar problemas gastrointestinales e impedir la absorción de vitaminas liposolubles (A, D, E y K) y carotenoides esenciales para el cuerpo humano (Valenzuela, 2008).

Por tanto, este análisis bibliográfico - documental recopila y evalúa información sobre el desarrollo, mecanismos bioquímicos de acción, eficacia y posibles riesgos de estas alternativas, con énfasis en su impacto sobre la salud y su aplicación en la industria alimentaria. Este enfoque permite comprender las oportunidades y los desafíos relacionados con el desarrollo de alternativas saludables para la industria alimentaria. El objetivo es proporcionar una visión completa de Olestra y Salatrim como herramientas para abordar los desafíos nutricionales actuales. En última instancia, este estudio contribuirá a una mejor comprensión de los sustitutos de grasas y su papel en la formulación de alimentos, aportando información valiosa para la industria alimentaria, la comunidad científica y los consumidores.

Para desarrollar la investigación el trabajo se estructura de cuatro capítulos. El primer capítulo describe concepto, composición y clasificación de los alimentos. El segundo capítulo se detallan conceptos acerca de los lípidos, seguido de su clasificación, aportación calórica al cuerpo humano y enfermedades. El tercer capítulo se encuentra información sobre generalidades, síntesis aplicaciones y estudios sobre Olestra y Salatrim y el último capítulo son conclusiones y recomendaciones.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Evaluar la eficacia de Olestra y Salatrim como sustitutos de grasas en la reducción del contenido calórico de los alimentos sin comprometer significativamente su sabor, textura o calidad nutricional.

2.2. Objetivos específicos

Comparar aplicaciones y desarrollo de Olestra y Salatrim en la industria alimentaria.

Determinar los efectos metabólicos de Olestra y Salatrim, incluyendo su impacto en la absorción de vitaminas liposolubles (A, D, E y K) y otros nutrientes esenciales.

3. DESARROLLO TEÓRICO

3.1. Alimentos

3.1.1. Definición

La palabra "alimento" tiene su origen en el término latino "**alimentum**", que se deriva del verbo "**alère**", que significa "nutrir" o "alimentar". Según Clavijo (2020), se entiende por alimento a cualquier producto, ya sea sólido o líquido que, al ser consumido

por el cuerpo humano, ya sea en su estado natural o procesado, proporciona los elementos esenciales para su nutrición. En un sentido más amplio, un alimento es toda sustancia que los seres vivos ingieren para satisfacer necesidades nutricionales, así como fines sociales, físicos, de salud y psicológicos.

3.1.2. Funciones vitales de los alimentos en el cuerpo humano

De acuerdo con Guo (2009), los alimentos cumplen tres funciones vitales para el cuerpo humano que son: proporcionar energía en forma de carbohidratos, proteínas y/o lípidos, y nutrición básica, dar placer en cuanto a su aroma, color y sabor agradables y por último tienen beneficios para la salud.

No obstante, Alonso et al. (2006) mencionan que los alimentos deben satisfacer tres tipos de necesidades:

- 1) Energéticas: Los alimentos contienen nutrientes que proporcionan la energía necesaria para realizar actividades de la vida diaria tanto las fundamentales para mantener la vida (respirar, digerir, etc.), como las que implican un trabajo muscular (sentarse, correr, caminar, coger un lápiz, etc.), así como la energía que el cuerpo necesita para mantener la temperatura del cuerpo constante.
- 2) Funcionales: Contienen nutrientes que proporcionan sustancias indispensables para regular el funcionamiento del propio cuerpo.
- 3) Reguladoras: El cuerpo utiliza los alimentos para regular sus funciones y defenderse de enfermedades. Nutrientes clave como proteínas, vitaminas, minerales y agua son esenciales para esta regulación. Las enzimas, que son proteínas, actúan como catalizadores en procesos vitales como la digestión, respiración y metabolismo. Las vitaminas del grupo B y los minerales también contribuyen a la regulación corporal.

3.1.3. Clasificación de los alimentos

Los alimentos están clasificados según sus nutrientes principales en: hidratos de carbono o más conocidos como carbohidratos, lípidos o grasas, proteínas, vitaminas, minerales y agua.

Mudambi & Rajagopal (2007), explican que las plantas verdes producen carbohidratos mediante la fotosíntesis, un proceso que utiliza la energía solar, el agua y dióxido de carbono, convirtiéndolas en la principal fuente de alimento. Los carbohidratos están compuestos por carbono, hidrógeno y oxígeno, en la misma proporción que en el agua. Se clasifican en monosacáridos (azúcares simples como la glucosa), disacáridos (dos azúcares unidos como la sacarosa, lactosa y maltosa) y polisacáridos (cadenas largas de azúcares como el almidón y la celulosa).

Por otro lado, las proteínas están constituidas por largas cadenas de aminoácidos, contienen nitrógeno, un elemento esencial para muchos procesos y funciones biológicas, especialmente el crecimiento y el desarrollo. Existen 9 aminoácidos esenciales que el organismo no es capaz de sintetizar y por tanto deben ser ingeridos con los alimentos. Según Marcus, (2013) se clasifican en dos grupos de origen animal que se encuentran en la carne de res, los productos lácteos, huevos, pescado, cordero, cerdo, aves, mariscos y productos elaborados con estos alimentos y proteínas de origen vegetal son las legumbres como lentejas, frejoles, garbanzo y cereales como quinua y trigo.

Las vitaminas son compuestos orgánicos que principalmente contienen carbono. Se dividen en dos categorías: liposolubles (A, D, E y K) y solubles en agua (vitaminas B y C), se encuentran mayormente en las frutas, vegetales, lácteos, etc. Los minerales son también esenciales para la vida, se conocen unos 20 elementos minerales necesarios para el organismo. De acuerdo con Clavijo (2020), se dividen según las

necesidades que el organismo tiene de estos nutrientes macrominerales como: calcio, fósforo, potasio, azufre, sodio, magnesio y cloro y los microminerales que incluyen: yodo, hierro, zinc, flúor, manganeso y cromo. Finalmente, los lípidos son triglicéridos nutrientes con valor energético más alto y contienen algunas vitaminas (D, E, A).

3.2. Lípidos

3.2.1. Concepto de lípidos

Los lípidos, cuyo nombre deriva del griego "**lipos**" (grasa), son un grupo diverso de compuestos orgánicos. Comúnmente, los lípidos son conocidos como grasas. Su característica principal es que son insolubles en agua, pero se disuelven fácilmente en solventes no polares como el hexano, cloroformo, éter, benceno, acetona y etanol caliente (Gajera et al., 2008).

Estos compuestos están presentes en todos los seres vivos, desde microorganismos y hongos hasta plantas y animales. Sin embargo, los más abundantes provienen de plantas y animales, donde cumplen funciones cruciales como componentes estructurales y de almacenamiento. En animales y plantas, los lípidos estructurales se encuentran en la carne y los vegetales, respectivamente.

Según Gurr et al. (2016), el término "**grasa**" es más familiar y se refiere a sustancias que son claramente grasosas al tacto e inmiscibles con el agua, como la mantequilla y las partes grasas de las carnes. Una distinción importante entre grasas y aceites radica en su estado a temperatura ambiente. Las grasas suelen tener una textura sólida, mientras que los aceites son líquidos. Tanto las grasas como los aceites naturales están compuestos principalmente por ésteres de glicerol (un alcohol de tres carbonos) con ácidos grasos, y a menudo se les denomina lípidos acilados o lípidos complejos.

3.2.2. Funciones vitales en el cuerpo humano

Valenzuela et al. (2008), menciona que los lípidos son la fuente principal de energía para el organismo y juegan un papel fundamental en la creación de las membranas celulares. Además, suministran ácidos grasos esenciales, para la síntesis de eicosanoides y otras moléculas bioactivas. Actúan como transportadores de vitaminas que se disuelven en grasa y, desde el punto de vista de la percepción sensorial, contribuyen al buen gusto y organolépticamente aportan la palatabilidad y el sabor de las comidas. Además de ser los componentes más importantes en la sensación de saciedad después de comer que producen los alimentos.

De igual forma, los lípidos también aportan ácidos grasos esenciales que no se sintetizan en los seres humanos, pero que son cruciales para el crecimiento. Los lípidos son esenciales para la absorción eficaz de las vitaminas liposolubles A, D, E y K en el intestino (Gajera et al., 2008). Además, según Lozano et al. (2005) cumplen funciones reguladoras o señalizadoras, como las que llevan a cabo las hormonas esteroideas, los derivados del ácido araquidónico o las vitaminas, y otros cumplen funciones lubricantes, protectoras, impermeabilizantes, emulsionantes y digestivas.

3.2.3. Clasificación de los lípidos

Los lípidos se clasifican en dos grandes grupos según su estructura y capacidad de reaccionar: saponificables e insaponificables.

Los lípidos insaponificables se derivan del isopreno y no poseen enlaces éster, lo que significa que no contienen ácidos grasos y, por lo tanto, no pueden formar jabones (Lozano et al., 2016). Algunos ejemplos incluyen: terpenos o aromáticos, esteroides, eicosanoides, tocoferoles y poliprenilquinonas.

Por otro lado, los lípidos saponificables sí contienen ácidos grasos, que son cadenas lineales de carbono (entre 4 y 26 átomos) con un grupo carboxilo. La presencia de uno o más grupos éster en su estructura les permite hidrolizarse en presencia de bases, ácidos o enzimas. Esta característica también les permite formar jabones cuando reaccionan con hidróxido de sodio (NaOH) o hidróxido de potasio (KOH). Dentro de este grupo se encuentran los acilglicéridos, ceras, fosfolípidos y glucolípidos.

Los acilglicéridos son lípidos simples formados por la esterificación del glicerol con una, dos o tres moléculas de ácidos grasos, dando lugar a monoglicéridos, diglicéridos o triglicéridos, respectivamente. Su punto de fusión los clasifica como aceites o grasas. A su vez, las grasas se dividen en saturadas e insaturadas.

Según Feduchi (2015), las grasas saturadas tienen una cola hidrocarbonada con solo enlaces simples (todos los átomos de carbono están saturados con hidrógeno), mientras que las insaturadas poseen uno o más enlaces dobles. Asimismo, Feduchi (2015) también señala que los ácidos grasos insaturados pueden formar isómeros geométricos. Esto significa que las cadenas de carbono pueden posicionarse del mismo lado del doble enlace (isómero cis) o en lados opuestos (isómero trans). Aunque los isómeros cis son predominantes en los alimentos de forma natural, la hidrogenación de aceites en la fabricación de margarina, manteca vegetal el vanaspati ghee (preparado a partir de aceites vegetales sujetos a un proceso de hidrogenación), alimentos fritos y los productos horneados como galletas saladas, bizcochos y pasteles pueden dar lugar a la formación de algunos isómeros trans.

3.2.4. Estructura y composición química de los triglicéridos.

Los triglicéridos están compuestos por una molécula de glicerol (1,2,3-propanotriol), y tres ácidos grasos. Estos ácidos grasos pueden ser saturados o

de ácidos grasos libres y en el destino metabólico de las lipoproteínas (Karantonis et al., 2009). Es importante destacar que los ácidos grasos poliinsaturados esenciales, presentes en los triglicéridos de la dieta, son precursores vitales de mediadores lipídicos cruciales. Entre estos se encuentran las prostaglandinas y los leucotrienos. Estas sustancias son eicosanoides, derivados de lípidos o grasas que se producen a partir del ácido araquidónico (un ácido graso esencial ubicado en las membranas celulares). Tanto las prostaglandinas como los leucotrienos desempeñan un papel esencial en la regulación de diversas funciones celulares en todo el organismo (Strin, 2014).

El cuerpo procesa los triglicéridos mediante varias vías bioquímicas. Una vez que se consume alguna grasa, se digieren principalmente en el intestino delgado. Este proceso comienza con la acción de las lipasas lingual y gástrica (enzimas digestivas), que hidrolizan parcialmente los triglicéridos en monoglicéridos y ácidos grasos libres (Zakharova & Sugyan, 2019). Después, los monoglicéridos y ácidos grasos libres resultantes son absorbidos por los enterocitos (células intestinales) y reesterificados en triglicéridos. Estos triglicéridos se compactan posteriormente en quilomicrones, que son partículas de lipoproteínas (Horton et al., 2002). Una vez absorbidos o sintetizados, los triglicéridos necesitan ser transportados eficientemente. Este transporte se lleva a cabo principalmente mediante dos tipos de lipoproteínas: los quilomicrones y las VLDL (lipoproteínas de muy baja densidad) (Deng et al., 2022).

Finalmente, los triglicéridos se almacenan en el tejido adiposo en forma de gotitas lipídicas. Este almacenamiento está regulado por la insulina, que promueve la captación y el almacenamiento de triglicéridos.

3.2.6. Aporte calórico de los triglicéridos en los alimentos

Los triglicéridos, al igual que otros lípidos, destacan como el macronutriente con la mayor densidad calórica. Cada gramo de triglicéridos aporta aproximadamente 9 kilocalorías (kcal), una cifra significativamente superior si la comparamos con las 4 kcal por gramo que proporcionan tanto los hidratos de carbono como las proteínas. Esta característica hace que las grasas sean una fuente de energía altamente concentrada para el organismo (Universidad de Navarra, 2025).

No obstante, a pesar de su elevado valor energético, es fundamental moderar su consumo. La Administración de Alimentos y Medicamentos de Estados Unidos [FDA] (2021), recomienda limitar la ingesta total de lípidos a un rango del 35% al 45% de la ingesta energética diaria. Dentro de este total, se enfatiza la importancia de restringir las grasas saturadas (un tipo de triglicérido) a menos del 10% del total calórico, mientras que las grasas monoinsaturadas podrían constituir entre el 10% y el 20%. Adicionalmente, la Organización Mundial de la Salud [OMS] (2024), recomienda que las personas adultas limiten el consumo de grasas *trans* a menos del 1% de la ingesta energética total, lo que supone menos de 2,2 g al día para una dieta de 2000 calorías.

Asimismo, mantener un control sobre los niveles de triglicéridos en la sangre también es crucial para la salud. Se recomienda que los niveles de triglicéridos en adultos se mantengan por debajo de 150 mg/dl, mientras que, en niños y adolescentes, el límite saludable es inferior a 90 mg/dl (Johnson, 2021). Es importante recalcar que, a pesar de estas recomendaciones, eliminar por completo las grasas de la dieta no es aconsejable. Las grasas son componentes esenciales para el buen funcionamiento del organismo, desempeñando roles vitales en la absorción de vitaminas, la producción de hormonas y la protección de órganos.

3.2.7. Enfermedades

Ballesteros et al. (2012) destaca que los ácidos grasos trans (AGT) tienen la característica de ser estables a la rancidez oxidativa lo que les permite tener un tiempo prolongado de conservación, además, tienen un punto de fusión intermedio entre las grasas saturadas y las insaturadas, por esta razón han sido ampliamente utilizadas por la industria de alimentos. Sin embargo, en los últimos años ha surgido una gran cantidad de evidencia epidemiológica y clínica que ha señalado que las grasas trans son un factor de riesgo para sufrir enfermedades cardiovasculares, obesidad y diabetes tipo II. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (2024), cada año se producen en el mundo más de 278000 muertes atribuibles a la ingesta de grasas trans de origen industrial.

Slattery et al. (2001) informaron que los hombres y mujeres mayores de 67 años que no usaban medicamentos antiinflamatorios no esteroideos (AINE) tenían un riesgo 50% mayor de desarrollar cáncer de colon cuando consumían altos niveles de ácidos grasos trans. Otro estudio reveló que los monos alimentados con una dieta de grasas trans aumentaron el 7,2% de su peso corporal, en comparación con el 1,8% de los monos con una dieta de grasas monoinsaturadas (Kavanagh et al., 2007).

Vasconcelos et al. (2006) mencionan en su estudio sobre los ácidos grasos trans y su efecto en la salud que comer muchas grasas trans está directamente relacionado con un mayor riesgo de enfermedades cardíacas. Varios estudios han demostrado que, si se consume muchas de estas grasas, las posibilidades de sufrir un ataque al corazón (infarto de miocardio) aumentan considerablemente. Por ejemplo, un estudio mostró que el riesgo de un ataque al corazón se multiplicaba a medida que las personas consumían más grasas trans. Aquellos en el grupo que comía la mayor cantidad de grasas trans tenían casi tres veces más probabilidades de sufrir un ataque al corazón en comparación con el grupo que comía la menor cantidad (Francesco et al., 2009).

Otro estudio encontró que las grasas trans que provienen de los aceites parcialmente hidrogenados (muy comunes en alimentos procesados) eran especialmente peligrosas. En este caso, las personas que consumían la mayor cantidad de un tipo específico de grasa trans (18:2 trans-FA) tenían más de cinco veces más riesgo de sufrir un ataque al corazón de acuerdo a Bailyn et al. (2003).

Todas estas investigaciones demuestran que el consumo excesivo de grasas trans es perjudicial para la salud, ya que pueden causar varias enfermedades graves para el ser humano. Sin embargo, la grasa en la dieta es el principal macronutriente en la alimentación y no se puede evitar consumir, ya que proporciona ATP (Adenosín Trifosfato) necesario para un correcto funcionamiento del organismo y Marchetti & Andrés (2021) indican que los alimentos bajos en grasa pueden carecer de sabor, sensación en boca y propiedades psicológicas, lo que disminuye la aceptabilidad de los alimentos.

Los nutricionistas a nivel mundial consistentemente sugieren que la clave para una salud óptima reside en una dieta balanceada, que debe ser rica en grasas insaturadas, las cuales son conocidas por sus múltiples beneficios cardiovasculares y la salud cerebral. Fuentes excelentes de estas grasas saludables incluyen el aguacate, un superalimento versátil; las almendras, que además aportan fibra y proteína; el salmón y el atún, pescados azules ricos en Omega-3; y diversos aceites vegetales como el de oliva o canola, fundamentales en la cocina diaria.

No obstante, el enfoque no solo recae en las grasas insaturadas. También se reconoce la importancia de una ingesta moderada de grasas saturadas, presentes principalmente en alimentos de origen animal. Aquí se incluyen la carne roja, el puerco, la mantequilla y el queso, entre otros productos lácteos y cárnicos. La moderación es esencial, ya que el consumo excesivo de estas grasas puede tener implicaciones para la salud.

Adicionalmente, en la búsqueda de opciones más saludables y conscientes, también existe otra alternativa en el mercado alimentario: los sustitutos de grasa. Estos productos innovadores ofrecen una manera de reducir el contenido de grasa en los alimentos sin sacrificar la textura o el sabor, brindando a los consumidores una gama más amplia de opciones para mantener una dieta equilibrada.

3.3. Sustitutos de grasa

3.3.1. Definición y origen de sustitutos de grasa

Los sustitutos de grasa son definidos por la Asociación Dietética Americana como "un ingrediente que puede ser usado para proporcionar algunas o todas las funciones de la grasa, produciendo menos calorías que la grasa".

O'Sullivan (2017), los define como materiales diseñados para replicar las características físicas y químicas de las grasas y aceites, lo que permite su uso como reemplazo directo en igual proporción. Estos compuestos, a menudo, conservan las propiedades de manipulación de las grasas tradicionales, siendo adecuados para aplicaciones como la repostería y la fritura. Básicamente, su estructura es similar a la de una grasa o un triglicérido, pero se les aplica una modificación para lograr una reducción en el contenido calórico del producto final.

Asimismo, Eminike et al. (2023) menciona que un sustituto de grasa es un ingrediente alimentario que puede reemplazar las grasas tradicionales en los productos alimenticios para reducir el contenido general de grasa y, al mismo tiempo, mantener las propiedades físicas y de textura, como la retención de forma, la suavidad y la resistencia al derretimiento.

Los miméticos de grasa han emergido como una respuesta innovadora y crucial ante la creciente preocupación global por los efectos adversos del consumo excesivo de grasas en la salud humana. Este consumo desmedido ha sido consistentemente vinculado con una serie de afecciones crónicas y debilitantes, incluyendo la epidemia de obesidad, el alarmante incremento de enfermedades cardiovasculares y la diabetes tipo 2 (Subroto et al., 2020).

Estos avances tecnológicos en la alimentación están diseñados meticulosamente para replicar fielmente las propiedades físicas, químicas y funcionales de las grasas y aceites tradicionales que conocemos y utilizamos a diario. Sin embargo, su característica distintiva y más valiosa radica en su contenido calórico significativamente reducido.

La historia del desarrollo de estos sustitutos se origina a lo largo del siglo XX, un período de intensa investigación y experimentación en la ciencia de los alimentos. Desde entonces, han continuado evolucionando, ofreciendo a los consumidores y a la industria alimentaria una herramienta valiosa para crear productos más saludables sin comprometer la textura, el sabor o la palatabilidad. El primer sustituto de grasa aprobado para su uso en alimentos fue Olestra (también conocido como Olean), desarrollado por Procter & Gamble en 1968.

3.3.2. Función de sustitutos de grasa y aportación energética

La función principal de los sustitutos de grasa no es aportar una gran cantidad de calorías o energía o casi nada al cuerpo humano a través del consumo de alimentos. En cambio, su valor radica en otros aspectos clave para la salud y la industria alimentaria.

Según Syan (2022), estos compuestos cumplen dos funciones esenciales en la alimentación moderna. La primera es reducir el contenido calórico y la cantidad de grasa empleada en la preparación de una amplia gama de productos alimenticios. Esto permite a los consumidores disfrutar de sus comidas favoritas con un perfil nutricional más saludable. La segunda función es proporcionar propiedades sensoriales y funcionales similares a las de la grasa tradicional.

Por otra parte, Valenzuela (2008), menciona que los imitadores de grasa idealmente deben cumplir 4 funciones: tener analogía funcional con las grasas que reemplazan, estar libres de efectos tóxicos, no pueden ser metabolizables o producir metabolitos diferentes a los producidos por las grasas y deben ser complemente excretados por el organismo.

Muraglio (1995) añade que sus valores energéticos son significativamente menores, oscilando entre 0 y 38 kJ/g (lo que equivale a 0-9 kcal/g), a diferencia de las grasas tradicionales que aportan aproximadamente 38 kJ/g (9 kcal/g). Esta diferencia calórica es fundamental para la formulación de productos con un menor aporte energético.

3.3.3. Características químicas de los sustitos de grasa

Valenzuela (2008), explica que los sustitutos de grasa se desarrollan, en su mayoría, modificando la estructura de moléculas que se parecen a los triacilglicéridos (la forma principal de grasa en la dieta). La clave de estas innovaciones es que, aunque lucen similares, estas moléculas alteradas no pueden ser hidrolizadas eficientemente por las lipasas digestivas, las enzimas encargadas de descomponer las grasas.

Esto se debe a que estos lípidos modificados son "sustratos poco adecuados" para estas enzimas, lo que significa que el cuerpo no los digiere por completo o casi

nada. Estas modificaciones químicas se pueden lograr de varias maneras. Una estrategia es reemplazar el glicerol (el alcohol de tres carbonos que forma la base de un triacilglicérido) por un polialcohol alternativo. Este nuevo polialcohol forma enlaces éster con los ácidos grasos que son resistentes a la acción de las lipasas. Otra opción es sustituir los ácidos grasos comunes por ácidos carboxílicos ramificados. La estructura ramificada de estos ácidos grasos crea un impedimento estérico significativo, dificultando físicamente que las lipasas puedan acceder y romper los enlaces.

Una técnica más sofisticada consiste en "invertir" la estructura del enlace éster. En lugar de un glicerol que esterifica a tres ácidos grasos, se forma una estructura donde un triácido (no un alcohol) esterifica a tres alcoholes de cadena larga. Este "triacilglicérido al revés" mantiene las mismas características físicas, químicas y organolépticas que una grasa normal, pero no es reconocido por las lipasas digestivas. Una cuarta alternativa es transformar el tradicional enlace éster (ácido + alcohol) por un enlace éter (aldehído o anhídrido + alcohol). Esto crea una molécula con propiedades muy similares a un triacilglicérido, pero que no es un sustrato para las lipasas intestinales. En resumen, todas estas modificaciones tienen un objetivo común: crear moléculas con las propiedades deseables de la grasa, pero que "engañen" a nuestro sistema digestivo para que no las descomponga ni las absorba completamente, reduciendo así su aporte calórico. La **figura 2** ilustra visualmente estas transformaciones estructurales.

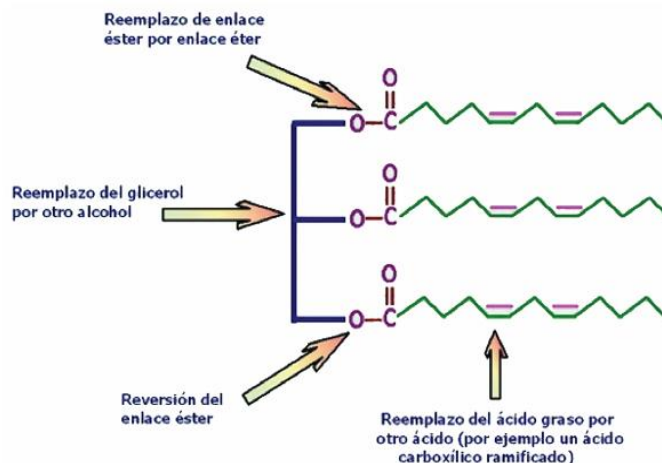


Figura 2. Modificaciones químicas aplicables a los triacilglicéridos.
 Autor: Valenzuela (2008). Lípidos Estructurados.

3.3.4. Tipos de sustitos de grasa

El término "sustituto de grasa" es un concepto amplio y genérico que engloba una diversidad de materiales, los cuales se clasifican según su origen y composición química. Tal como se detalla en la **tabla 1**, estos sustitutos provienen de distintas fuentes, incluyendo almidones, proteínas, emulsionantes, hidrocoloides, fibras y lípidos. Esta vasta categoría de ingredientes permite a la industria alimentaria desarrollar productos con perfiles nutricionales modificados, reduciendo el contenido de grasa y calorías, sin sacrificar las características sensoriales y funcionales que la grasa tradicional aporta a los alimentos. La elección del sustituto adecuado depende de las propiedades deseadas en el producto final, ya sea textura, cremosidad, estabilidad o capacidad para soportar procesos de cocción.

Tabla 1. Clasificación de sustitutos de grasa por fuente de nutrientes, densidad energética, aplicación específica y propiedades funcionales.

| Fuente de origen | Tipo de sustituto de grasa | Fuente de nutrientes | Densidad energética | Aplicación específica | Propiedades funcionales |
|--|----------------------------|--|----------------------------|--|--|
| Sustituto de grasa a base de lípidos | Olestra/Olean | Poliéster de sacarosa de ácidos grasos (6-8) | No calórico (no absorbido) | Botanas saladas, papas fritas, productos lácteos | Texturiza, proporciona sabor y crocancia, conduce el calor |
| | Caprenina | Triacilglicerol de caprocaprilobehénico | 5 kcal/g | Dulces blandos, coberturas de confitería | Simula propiedades de la manteca de cacao (emulsifica, texturiza) |
| | Salatrim/Benefat | Molécula de triglicérido de ácidos grasos cortos y largos | 5 kcal/g | Coberturas sabor chocolate, caramelos y toffees, rellenos e inclusiones para confitería, crema de cacahuete, productos horneados, rellenos e inclusiones para productos horneados; aderezos salados, dips, salsas; postres lácteos, quesos | Rangos de puntos de fusión, dureza, Emulsifica, proporciona cohesión, ablanda, transporta sabor, reemplaza manteca, previene el envejecimiento, retrasa retrodegradación del almidón |
| Sustituto de grasa a base de proteínas | Simplese | Proteína de huevo, proteína de leche | 4 kcal/g | Yogurt, queso, crema agria, productos horneados, postres congelados | Estabiliza, emulsifica y texturiza |
| | Simplese100 | Proteína de suero | 4 kcal/g | Betunes, aderezos, mayonesa, margarina, salsas, sopas | Proporciona sensación en boca, texturiza, proporciona sensación en boca |
| | LITA | Zein | 1-4 kcal/g | Productos horneados | Texturiza |
| | Trailblazer | Proteína de huevo, proteína de suero mezclada con goma xantana | | Productos lácteos, sopas, salsas | Estabiliza, emulsifica, texturiza |
| | N-Flate | Leche descremada, gomas, emulsionantes y almidón modificado | | Aderezos, glaseados, postres, helado, carne molida | Texturiza, proporciona sensación en boca, estabiliza, retención de agua |
| Sustituto de grasa a base de carbohidratos | Goma guar | Galactomanano extraído de semillas de leguminosas | No calórico | Productos horneados | Retiene humedad, retrasa el envejecimiento |
| | Xantano | Polisacárido microbiano producido por fermentación de <i>Xanthomonas campestris</i> | | Aderezos | Aumenta viscosidad, proporciona sensación en boca, texturiza |
| | Goma de algarrobo | Extraído de semillas del árbol <i>Ceratonia siliqua</i> | | | Proporciona sensación en boca, texturiza |
| | Carragenina | Polisacáridos sulfatados extraídos de algas rojas (<i>Rhodophyta</i>) | | | |
| | Goma arábica | Exudado seco del árbol Acacia | | | Salsas |
| | Pectinas | Polisacáridos extraídos de pulpa de manzana, cáscara de cítricos, pulpa de remolacha azucarera, cabezas de girasol | | | |

Autor: Ognean & Ognean (2006). Sustitutos en grasa- Revisión.

Son sustitutos de grasa usados en alimentos, clasificados según su origen (lípidos, proteínas, carbohidratos), detallando sus calorías, dónde se aplican y qué propiedades (textura, sabor) aportan. Es una guía para entender las alternativas a las grasas tradicionales.

3.3.4.1. Sustitutos de grasas a base de carbohidratos

Principalmente son macromoléculas que le otorgan a los productos sin grasa cualidades físicas y sensoriales distintivas, como la viscosidad y la espesura (Lim et al. 2010). Además, los carbohidratos, ya sea de forma natural o por medio de procesamiento, crean micropartículas que se asemejan a los glóbulos de grasa y las gotitas de emulsión, logrando así imitar la sensación de la grasa (Peng & Yao 2017). Los miméticos de grasas a base de carbohidratos incluyen almidones modificados,

celulosa, dextrinas, gomas y pectina. Una de sus características es que retienen agua, aportan una textura cremosa y posee una forma y estructura similares a las de la grasa. No se pueden usar para cocinar ni freír (Marcus, 2013). Generalmente, se utilizan para reemplazar la grasa en productos horneados, mezclas para pasteles y galletas, productos lácteos, glaseados, postres congelados y aderezos para ensaladas.

3.3.4.2. Sustitutos de grasas a base de proteínas

Los sustitutos de grasa a base de proteínas son ingredientes desarrollados para replicar la textura y sensación en boca de las grasas, pero con un contenido calórico significativamente menor. Se obtienen principalmente de proteínas como las de la leche, el huevo o la soja, las cuales son sometidas a un proceso de microparticulación. Este tratamiento transforma las proteínas en micropartículas esféricas que simulan la estructura de las gotas de grasa, proporcionando una textura suave y cremosa, tal como lo menciona Nourmohammadi (2013).

Estos sustitutos no solo contribuyen a la reducción de calorías y grasas en los productos alimenticios, sino que también incrementan su valor nutricional al aumentar el contenido proteico. Esto los convierte en una opción atractiva para formulaciones de alimentos más saludables.

Sin embargo, su uso tiene limitaciones importantes, según Marcus (2013), no son aptos para métodos de cocción a altas temperaturas, como hornear o freír. El calor excesivo provoca una desnaturalización de las proteínas, lo que resulta en una gelificación del producto y la consiguiente pérdida de su cremosidad deseada. Por lo tanto, su aplicación es más adecuada en productos que no requieren cocción intensa, como productos horneados, mantequilla, queso, productos lácteos, helados, mayonesa, aderezos para ensaladas y crema agria.

3.3.4.3. Los sustitutos de grasa a base de grasa

Los sustitutos de grasa a base de lípidos se desarrollan principalmente a partir de la modificación de triglicéridos presentes en aceites vegetales. Estos procesos, ya sean químicos o enzimáticos, se implementan para alterar la estructura original de los lípidos y, con ello, su comportamiento tanto en los alimentos como en el organismo. Según Guo et al. (2023) estos sustitutos son ampliamente utilizados en diversos productos alimenticios con el objetivo de reducir su contenido calórico, mientras se mantienen las características sensoriales deseables como la textura, la sensación en boca y la estabilidad. Son particularmente valiosos en aplicaciones que requieren estabilidad al calor, como la repostería, las frituras y los productos cárnicos.

Estas modificaciones estructurales se logran a través de varias técnicas innovadoras. Valenzuela (2008) explica las modificaciones, una de ellas es la esterificación de ácidos grasos con azúcares o alcoholes de azúcar, cuyo ejemplo más conocido es la Olestra. En este caso, los ácidos grasos se unen a moléculas de azúcar, creando un compuesto que el cuerpo humano no puede digerir ni absorber completamente, lo que resulta en un aporte calórico significativamente reducido. Otra técnica implica la creación de triglicéridos de cadena corta o media (TCM), donde algunas grasas modificadas contienen predominantemente ácidos grasos con cadenas más cortas. Los TCM, por ejemplo, se metabolizan de forma diferente y más rápidamente que los ácidos grasos de cadena larga, aportando así menos calorías por gramo. En esta categoría también encontramos el Salatrim, que combina ácidos grasos de cadena corta y larga.

Finalmente, se pueden desarrollar nuevas moléculas de lípidos a partir de combinaciones de ácidos grasos específicos. Estas combinaciones incluyen ácidos grasos que se absorben menos eficientemente (como el ácido behénico, que solo se absorbe parcialmente) o que intrínsecamente tienen un menor valor calórico, como la

Caprenina, una grasa sintética diseñada con este propósito (Astiasarán & Martínez, 2003). Estos avances permiten a la industria alimentaria crear productos más saludables sin comprometer significativamente la experiencia del consumidor.

3.3.5. Olestra

3.3.5.1. Origen y desarrollo de Olestra

La Olestra u Olean es un imitador de grasa a base de lípidos o más bien de fructosa y glucosa, pero se lo incluye en lípidos, es inodora, de sabor suave, no volátil y de color amarillo dorado brillante. En 1960 la Empresa Procter y Gamble no tenían como objetivo desarrollar un sustituto de grasa, sino que estudiaban la digestión de las grasas en bebés prematuros, su principal propósito era encontrar una grasa que fuera más fácil de digerir para los bebés, lo que los llevó a identificar una sustancia que el cuerpo no podía digerir ni absorber, similar a la grasa, pero sin calorías (Universidad de Minnesota, 2012). De modo que, el 24 de enero de 1996, tras revisar la evidencia presentada por la empresa, las opiniones de expertos, las actas del Comité Asesor de Alimentos de la FDA y el debate público, la FDA concluyó que la Olestra era segura para su uso en refrigerios salados como papas fritas y totopos de maíz. La FDA determinó que la Olestra no es tóxica, cancerígena, genotóxica ni teratogénica, y que no se absorbe ni se metaboliza en el organismo (Prince & Welschenbach, 1998).

3.3.5.2. Composición y estructura química de Olestra

La **figura 3** muestra que, a diferencia de un lípido convencional, la Olestra constituye una compleja combinación de hexa-, hepta- y octaésteres. Estos compuestos se forman a partir de la esterificación de la sacarosa con ácidos grasos, tanto saturados como insaturados, los cuales poseen una longitud de cadena igual o superior a 12 átomos de carbono (O'Connor & O'Brien, 2011). A temperatura ambiente, la Olestra es

un líquido de color brillante cuando se deriva estructuralmente de una pequeña cantidad de cadenas laterales de ácidos grasos poliinsaturados.

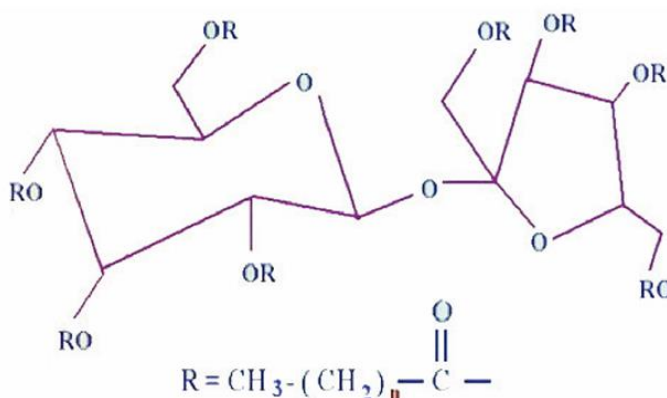


Figura 3. Estructura molecular de Olestra.

Autor: Valenzuela (2008). Lípidos Estructurados

En cuanto a sus características físicas, se presenta en forma sólida de color opaco cuando se deriva de una gran cantidad de ácidos grasos saturados (Allgood et al., 1997).

Según la descripción de Thomson et al. (1998), este sustituto de la grasa es estructuralmente análogo a los triglicéridos. Sin embargo, la Olestra se distingue fundamentalmente por tener un núcleo de sacarosa en lugar de glicerol, al que se unen entre seis y ocho cadenas de ácidos grasos, en contraste con las tres que caracterizan a los triglicéridos. Es importante destacar que su particular conformación molecular la hace resistente a la descomposición por parte de las enzimas digestivas del organismo.

Por otro lado, Rattagool (1999), explica que la Olestra es un poliéster de ácidos grasos de carbohidratos con un alto grado de sustitución (DS), lo que significa que muchos de sus grupos hidroxilo se han reemplazado por grupos éster. Esto la convierte en una molécula lipofílica, no digerible y no absorbible, con propiedades similares a las

grasas y aceites naturales, lo que la hace útil como sustituto de grasas sin calorías. Adicionalmente, de acuerdo con Akoh & Min (2002) la Olestra comercial tiene un peso molecular medio de 2400 daltons.

3.3.5.3. Síntesis de Olestra

O'Connor & O'Brien (2011) menciona que la Olestra se sintetiza a partir de grasas y aceites comestibles, de los cuales se preparan ésteres metílicos de ácidos grasos, conocidos como Fatty Acid Methyl Esters (FAME). Estos FAME se someten a una de dos transformaciones químicas. La primera es la transesterificación, un proceso reversible donde los FAME reaccionan con sacarosa, intercambiando la porción alcohólica del éster original por la de la sacarosa para formar un nuevo éster y un nuevo alcohol. La segunda es la interesterificación, que implica una reorganización de los ácidos grasos tanto dentro como entre las moléculas de triglicéridos. Ambos procesos, ya sea transesterificación o interesterificación, se realizan para obtener octaacetato de sacarosa, utilizando catálisis con metales alcalinos en un entorno anhidro y al vacío.

El producto crudo resultante de estas reacciones es posteriormente procesado. Este procesamiento es crucial para eliminar impurezas como los ácidos grasos libres, los FAME que no reaccionaron, los olores desagradables y cualquier éster de sacarosa que contenga menos de seis ácidos grasos. La mezcla pura que se obtiene al final, compuesta por hexa-, hepta- y octaésteres, es lo que se conoce como Olestra

Rattagool (1999) explica que la síntesis de esta molécula se puede hacer mediante interesterificación, este método inicial implicaba mezclar sacarosa fundida con ésteres metílicos de ácidos grasos de cadena larga a altas temperaturas (170-187 °C) en presencia de jabones como catalizadores. Sin embargo, presentaba limitaciones significativas: la sacarosa se carameliza a 185 °C, lo que dificulta el control de la

reacción a su velocidad máxima y se requerían solventes tóxicos (dimetilacetamida o dimetilformamida) para lograr una mezcla homogénea y altos rendimientos. Por tanto, estos problemas han hecho que la interesterificación sea de valor muy limitado para la industria alimentaria.

Otro método que se puede emplear es el denominado "Agentes Acilantes Reactivos" que consiste en preparar poliésteres de sacarosa con un DS (grado de sustitución, indica el número de hidroxilos grupos reemplazados por grupos éster en el compuesto) de 4 a 8 utilizando agentes acilantes altamente reactivos como cloruros de ácido, anhídridos o ésteres arílicos. A medida que el DS aumenta más de 3, la lipólisis (descomposición por lipasas intestinales) disminuye.

Sin embargo, Rizzi & Taylor (1976) proponen un método sin solventes, el cual busca evitar los solventes tóxicos y consta de dos etapas:

La primera etapa del proceso consiste en mezclar ácido graso metílico, como los derivados de aceites vegetales, con sacarosa en una proporción molar de aproximadamente 3:1. Esta mezcla se realiza en presencia de potasa (jabón de potasio) o hidróxido de potasio. La reacción se mantiene a temperaturas entre 130 y 150 °C por un lapso de 2 a 3.5 horas, resultando principalmente en la formación de ésteres de sacarosa de bajo DS (1-3), es decir que solo una a tres de las ocho posiciones posibles en la sacarosa está esterificadas con cadenas de ácidos grasos, y una fase homogénea de ésteres.

La segunda etapa, se incorpora un exceso de ésteres metílicos o ácidos grasos adicionales junto con más potasa o hidróxidos metálicos. La reacción prosigue por seis horas a temperaturas similares (130-150 °C). Esta fase final es crucial para alcanzar una mayor sustitución, generando el producto deseado con un DS de 7 a 8, significa que 7 a 8 de los 8 grupos hidroxilo de cada molécula de sacarosa han sido sustituidos por ácidos grasos durante el proceso y con rendimientos cercanos al 90%.

Aunque evita solventes tóxicos, este proceso tiene desventajas: requiere tiempos de reacción prolongados (8-9 horas), necesita una relación molar no económica de 16:1 de ésteres metílicos de ácidos grasos a sacarosa. La Olestra sintetizada por este método de Rizzi y Taylor se compone principalmente de octa- y hepta-ésteres (99.7%), con una composición específica de ácidos grasos.

Hamm (1984), modificó el método de Rizzi y Taylor agregando metil oleato e hidruros de sodio al inicio de la reacción y luego la sacarosa en pequeños incrementos. Con esta modificación, se lograron rendimientos teóricos del 100% de poliésteres de sacarosa con un DS de 4-8.

Entonces, la síntesis de Olestra, un sustituto de grasa no calórico se ha explorado a través de varios métodos químicos, siendo el proceso de dos etapas sin solvente de Rizzi y Taylor (y sus modificaciones) el más relevante para la producción de poliésteres de sacarosa con un alto grado de sustitución, crucial para sus propiedades no digeribles. Se debe considerar que un DS más alto la molécula se vuelve mucho más lipofílica (compatible con las grasas) y, crucialmente, su tamaño y estructura tridimensional hacen que sea difícil o imposible para las lipasas intestinales descomponerla (lipólisis).

3.3.5.4. Olestra empleada en la industria alimentaria

En enero de 1996, la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (FDA) aprobó el uso de Olestra como un sustituto completo del aceite vegetal en la elaboración de refrigerios salados. Esta aprobación abarcó una amplia gama de productos, incluyendo papas fritas, chips de maíz y tortilla, bolitas y rizos de queso, y galletas saladas (Thomson et al., 1998). La Olestra es particularmente adecuada para estos productos debido a su resistencia al calor y sus propiedades sensoriales similares a las del aceite natural. A diferencia de los sustitutos de grasa

derivados de proteínas y carbohidratos, este mimético puede emplearse en aplicaciones de alta temperatura (177-185 °C), como la cocción y la fritura. Durante estos procesos, la viscosidad de Olestra aumenta ligeramente debido a la formación de estructuras poliméricas (Akoh & Min, 2002).

Diversos estudios han confirmado la aceptación sensorial de este sustituto. Çakmak & Çalicioğlu (2021) reportan que Olestra tiene un buen sabor y tuvo una buena aceptación por los consumidores. Además, Jandacek (2012) señala que Olestra posee propiedades hedónicas (se refiere a que puede replicar las cualidades placenteras y sensoriales que experimentamos al consumir grasas tradicionales) similares a las de las grasas de triacilglicerol, lo que le permite imitar eficazmente el sabor de las grasas tradicionales. Su naturaleza no absorbible no altera significativamente el sabor de los alimentos, manteniendo así el perfil deseado en productos ricos en grasa (Bimal & Guonong, 2006). En cuanto a la textura y la sensación en boca, los alimentos preparados con Olestra son comparables a los elaborados con grasas tradicionales, asegurando una experiencia sensorial prácticamente inalterada, lo que significa que podrían no notar una diferencia en el sabor (Jandacek, 2012).

Vazqu ez (2020) explica que la Olestra se incorpora en los alimentos durante la etapa de mezclado de ingredientes, cuando se sustituyen total o parcialmente las grasas convencionales por este sustituto de grasa en productos como snacks, papas fritas y otros alimentos ultraprocesados. Este proceso ocurre antes del formado y cocinado del producto final, asegurando que la Olestra quede integrada en la matriz alimentaria y cumpla su función como reemplazo de grasa.

Actualmente, en Estados Unidos, la Olestra se comercializa bajo la marca Olean y se utiliza principalmente como sustituto de grasa en ciertos snacks salados, como las papas fritas Lay's Light, Doritos Light Snack Chips, Pringles Light y Ruffles Light, así como las tortillas Tostitos Light (Owens, 2021). A finales de 2008, la FDA otorgó a Olean

el estatus de "generalmente reconocido como seguro" (GRAS) para su uso en la producción de galletas preenvasadas y listas para comer con Olean BakeLean. Los productos BakeLean son mezclas patentadas de Olean y aceites vegetales que actúan como sustitutos de la mantequilla, la margarina y la manteca vegetal en productos horneados. Esta aplicación permite reducir el contenido calórico y graso del producto final en un 75%.

3.3.4.5. Beneficios

El desarrollo y aplicación de Olestra en la industria alimentaria trae consigo muchos beneficios tanto en la salud como en la alimentación, algunos beneficios son: no aporta calorías ni grasas porque no es absorbida en el tracto gastrointestinal, lo que ayuda a reducir la ingesta calórica total y puede contribuir al control del peso. Mantiene las propiedades físicas y sensoriales de las grasas convencionales, como sabor y textura, permitiendo su uso en alimentos fritos y snacks sin añadir calorías. Resiste altas temperaturas, por lo que puede usarse para freír alimentos sin descomponerse. Puede contribuir a la reducción de los niveles de colesterol en sangre al no ser metabolizada ni aportar lípidos absorbibles. Una investigación realizada por Lovejoy (2003) comparó diferentes dietas y reveló que una dieta baja en grasas con Olestra redujo significativamente el colesterol total, el colesterol de lipoproteínas de baja densidad (LDL) y los triglicéridos durante nueve meses. Esta reducción fue más pronunciada en comparación con una dieta estadounidense estándar y una dieta tradicional baja en grasas sin Olestra.

Un estudio de Thomson et al. (1998) reveló que consumir papas fritas cocinadas con Olestra en lugar de aceites tradicionales disminuye la aparición de reflujo gastroesofágico posprandial, esa molesta sensación de ardor o acidez que sube desde el estómago después de comer. Este hallazgo concuerda con una menor producción de

colecistoquinina (CCK) sérica (hormona que el intestino libera al detectar grasa) tras una comida con Olestra. Esto es significativo porque la CCK tiene un papel directo en la reducción de la presión del esfínter esofágico inferior (EEI), un anillo muscular al final del esófago cuya función es cerrarse firmemente para evitar que el contenido estomacal regrese. En otras palabras, la CCK tiende a relajar o "abrir" este esfínter; por lo tanto, una menor producción de esta hormona, como ocurre con la Olestra, ayuda a mantener el EEI más cerrado, dificultando que el contenido estomacal se devuelva y previniendo el reflujo.

Otra ventaja es que la Olestra se ha asociado con la pérdida de peso y la mejora de los factores de riesgo cardiovascular en personas obesas, principalmente debido a su papel en la reducción de la ingesta calórica general (Lovejoy et al, 2003). Por tanto, este efecto se atribuye en gran medida a su naturaleza no absorbible, lo que le impide contribuir a la ingesta calórica.

Además, la Olestra contribuye a la reducción de las grasas y calorías normales en la dieta. Por ejemplo, una bolsa de papas fritas contiene 10 gramos de grasa y 150 calorías, mientras que las patatas fritas que contienen Olestra no contienen grasa, solo unas 70 calorías (Çakmak & Çalicioğlu, 2021). La Asociación Americana de la Diabetes afirma que el ejercicio y las dietas bajas en calorías con Olestra con sustitución de grasas pueden ser una parte fundamental de una dieta sana y equilibrada.

Finalmente, en el aspecto ambiental, Rattagool (1999) afirma que la Olestra no muestra toxicidad significativa para organismos acuáticos como peces, algas, zooplancton o bacterias, ni para organismos terrestres como lombrices de tierra, según estudios realizados.

3.3.5.5. Desventajas

Los sustitutos de la grasa, como la Olestra, presentan tanto ventajas como desventajas. Aunque la Olestra no se absorbe ni aporta calorías al organismo, su consumo puede reducir significativamente la absorción de vitaminas liposolubles (A, D, E, K) y carotenoides, según Akpınar & Sayaslan (2003). Un estudio realizado por Tulley et al. (2003), en 36 semanas detectó disminuciones sustanciales en los niveles séricos de β -caroteno, licopeno y luteína + zeaxantina en sujetos que consumían una dieta con Olestra, a pesar de la suplementación con multivitamínicos. Neuhouser et al. (2006), explican que esta reducción se debe a que tanto la Olestra puede unirse a las vitaminas liposolubles (A, D, E y K) y a los carotenoides en el tracto digestivo, que normalmente se absorben junto con las grasas de la dieta. Dado que este sustituto por sí solo no se absorbe, elimina estas vitaminas del organismo, reduciendo su biodisponibilidad.

No obstante, Prince & Welschenbach (1998) sugieren que el impacto de la Olestra en la absorción de vitamina E puede mitigarse con la suplementación. Además, la absorción de vitaminas D y K, así como la de fármacos lipofílicos, no parece alterarse con el consumo de hasta 18 gramos de Olestra diarios. Se ha reportado también que la absorción de retinol, un derivado de la vitamina A, no se ve afectada con una ingesta de 20 gramos de Olestra. Adicionalmente, para compensar esta posible pérdida, los productos que contienen Olestra deben ser fortificados con estas vitaminas (Çakmak & Çalicioğlu, 2021). De hecho, la FDA exige la reincorporación de vitaminas liposolubles a la Olestra en proporciones específicas: 170 UI (Unidad Internacional) de vitamina A, 12 UI de vitamina D, 2.8 UI de vitamina E y 8 μ g de vitamina K por gramo de Olestra (Prince & Welschenbach, 1998). Sustentando esta idea con un estudio realizado por Cooper et al. (1997) determinó que la Olestra no afectó la absorción, digestión ni utilización de vitaminas hidrosolubles. Estudios en cerdos han demostrado que la Olestra no afecta la absorción de vitaminas como la B, la C y el ácido fólico.

Otro inconveniente reportado por Davidson & Betchel (2014) es que la Olestra puede inducir efectos gastrointestinales en algunas personas, como calambres abdominales y diarrea, razón por la cual los productos que la contienen incluyen advertencias en su etiquetado.

3.3.5.6. Mecanismo bioquímico

El mecanismo bioquímico de la Olestra radica en su diseño molecular como un poliéster de sacarosa, una estructura voluminosa y estéricamente impedida que la distingue de las grasas convencionales. Olestra está compuesta de sacarosa y ácidos grasos que son demasiado grandes para ser descompuestos por las enzimas digestivas o absorbidos por el cuerpo.

Por lo tanto, no es hidrolizada por lipasas, estas enzimas son responsables de descomponer las grasas normales en ácidos grasos y monoglicéridos para su absorción, no pueden atacar la Olestra debido a su estructura poliéster y tamaño molecular y son resistentes a la hidrólisis por la lipasa pancreática. Miller et al. (1995), explican que los ácidos grasos se oxidan por efecto de las por efecto de las células corporales cuando se produce energía en exceso. En cambio, la Olestra tiene una estructura molecular más compleja y extensa en comparación con los aceites naturales tradicionales. No se ve afectada por las enzimas lipasas ni por las bacterias del sistema digestivo. Dado que la Olestra no puede atravesar la superficie celular intestinal debido a su gran estructura molecular, no se absorbe.

La Olestra no puede atravesar la pared intestinal ni ser captada por las células epiteliales del intestino (forman una barrera protectora y participan en la absorción de nutrientes y la secreción de sustancias), por lo que permanece intacta en el lumen intestinal. De modo que no se digiere ni se absorbe, la Olestra pasa directamente al

colon y es excretada en las heces sin aportar calorías ni nutrientes. Çakmak & Çalicioğlu, (2021), señalan que las lipasas salivales, gástricas o pancreáticas hidrolizan la grasa y los triglicéridos de la dieta, pero no la Olestra. Por consiguiente, este sustituto es efectivo en el consumo de gotas lipídicas que aumentan como resultado de la hidrólisis de los triglicéridos, y las moléculas que transportan gotas lipídicas enriquecidas con Olestra a través del tracto gastrointestinal son finalmente excretadas en las heces, como señalaron Nuck et al. (1995). Estudios *in vivo* han corroborado esta inabsorción: un estudio con ratas reveló que la absorción de Olestra era inferior al 0.0001% (Miller et al., 1995), y otro estudio de Wood et al. (1991) con ratas y monos determinó que el 9% y el 8% de la Olestra de la dieta, respectivamente, se excretaba en las heces. Además, se ha demostrado que la Olestra no es tóxica en ratas y ratones, ni cancerígena, mutagénica, ni tiene efectos sobre las aberraciones cromosómicas o la reparación del ADN.

En síntesis, el mecanismo bioquímico de la Olestra se basa en una molécula sustancialmente más grande y voluminosa debido a la unión de múltiples ácidos grasos a la sacarosa, lo que conforma un arreglo espacial radial muy irregular y extenso. Esta característica estructural impide que las enzimas digestivas, como las lipasas, puedan hidrolizarla, ya que no reconocen ni acceden a los enlaces éster de esta compleja molécula. Esto resulta en una grasa que confiere sabor y textura sin aportar calorías, aunque es importante considerar su potencial impacto en la absorción de ciertas vitaminas liposolubles.

3.3.6. Salatrim

3.3.6.1. Origen y desarrollo

El Salatrim, comercializado también como Benefat, es un sustituto de grasa de origen lipídico cuya particularidad radica en su composición. A diferencia de las grasas

tradicionales, este compuesto está formado por una combinación de ácidos grasos de cadena larga y ácidos grasos de cadena corta. De hecho, esta estructura híbrida es lo que le otorga su nombre técnico: "Short- and long-chain acyl triglyceride molecule" (molécula de triglicérido de acilo de cadena corta y larga) (De Olivera et al., 2014).

De acuerdo con Birkett (2009), el Salatrim contiene un valor calórico de aproximadamente 5 kcal g⁻¹, en comparación con las 9 kcal g⁻¹ de los triglicéridos estándar. En cuanto sus características físicas, es un líquido que puede variar de transparente a ligeramente ámbar cuando está caliente. Sin embargo, a medida que la temperatura desciende y se acerca a la ambiental, se solidifica, adquiriendo una consistencia cerosa y un color claro (Benford et al., 2008). A pesar de su menor aporte calórico, logra mantener una textura y funcionalidades en los alimentos muy similares a las de los aceites convencionales, lo que lo hace valioso para reducir la densidad energética sin alterar las propiedades sensoriales.

Por otro lado, en el marco regulatorio europeo, el Salatrim ha sido oficialmente reconocido como un "nuevo alimento" bajo el Reglamento (CE) n.º 258/97 del Parlamento Europeo y del Consejo. Esta distinción le permite ser utilizado bajo regulaciones específicas dentro de los países de la Unión Europea, evidenciando las diferentes vías regulatorias a nivel internacional para ingredientes alimentarios innovadores (Unión Europea, 2017).

3.3.6.2. Composición y estructura química de Salatrim

El Salatrim, cuyo nombre es un acrónimo de "Short- and Long-chain Acyl Triglyceride Molecule" (molécula de triglicérido de acilo de cadena corta y larga), es un sustituto de grasa de notable complejidad química. A diferencia de las grasas naturales que suelen estar compuestas por tres ácidos grasos de cadena larga unidos a una

molécula de glicerol, el Salatrim se presenta como una mezcla personalizada de triglicéridos con una estructura molecular híbrida.

Según Food Agriculture Organization [FAO] (2002), su composición se basa en la unión de distintos tipos de ácidos grasos a una molécula de glicerol (el alcohol de tres carbonos que forma la base de los triglicéridos). Específicamente, cada molécula de Salatrim contiene al menos un ácido graso de cadena larga, siendo el ácido esteárico (un ácido graso saturado de 18 carbonos) el componente predominante en esta categoría. La clave de su funcionalidad y su reducido aporte calórico reside en la incorporación de uno o dos ácidos grasos de cadena corta. Estos son ácidos grasos con un número limitado de carbonos, como el ácido acético (2 carbonos), el ácido propiónico (3 carbonos) y/o el ácido butírico (4 carbonos), como se muestra en la **figura 4**.

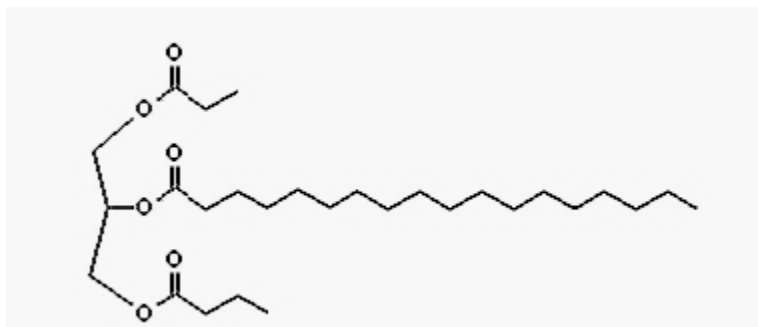


Figura 4. Estructura molecular de Salatrim

Autor: Lureña. (2013). Grasas sin calorías.

Esta estructura molecular diseñada permite que el Salatrim imite las características texturales y funcionales de las grasas, pero con una densidad calórica considerablemente menor.

3.3.6.3. Síntesis de la Salatrim

Benford et al. (2008) explican que el Salatrim se sintetiza mediante la interesterificación de triacetina (esterificada con tres moléculas de ácido acético, C2:0),

tripropionina (con tres moléculas de ácido propiónico, C3:0) y/o tributirina (con tres moléculas de ácido butírico, C4:0) o una mezcla de ellos con aceites vegetales hidrogenados como el de canola, soja, algodón o girasol. Este método permite la creación de una molécula híbrida de triglicérido, la cual combina ácidos grasos de cadena corta con ácidos grasos de cadena larga, logrando así sus propiedades únicas de reducción calórica. Es común que se emplee una mezcla de estos triglicéridos de cadena corta para obtener la composición deseada del Salatrim final.

Por otro lado, los aceites vegetales hidrogenados aportan los ácidos grasos de cadena larga. Entre los aceites comúnmente utilizados en este proceso se encuentran: aceite de canola, soja, algodón, girasol, entre otros. La hidrogenación de estos aceites vegetales es un paso previo importante, ya que convierte los ácidos grasos insaturados en saturados, lo que contribuye a la estabilidad y al punto de fusión del Salatrim final.

Durante la interesterificación, los ácidos grasos de los triglicéridos de cadena corta y los de los aceites vegetales hidrogenados se intercambian entre las moléculas de glicerol. Este intercambio molecular, catalizado por enzimas o catalizadores químicos, da como resultado la formación de nuevas moléculas de triglicéridos que tienen una combinación específica de ácidos grasos de cadena corta y larga. Esta mezcla personalizada de triglicéridos con su particular distribución de ácidos grasos es lo que define al Salatrim y le confiere su reducido valor calórico y sus propiedades funcionales en los alimentos.

3.3.6.4. Salatrim en la industria Alimentaria

El Salatrim ha sido reconocido como una sustancia GRAS (Generalmente Reconocida como Segura) por la FDA desde 1994, lo que ha facilitado su integración en diversos productos de la industria alimentaria. Según Valenzuela (2008), se utiliza

ampliamente en la preparación de helados, bocadillos y aderezos, e incluso como sustituto de la manteca de cacao. Sin embargo, es importante destacar que no es adecuado para procesos de fritura debido a su inestabilidad a altas temperaturas.

El potencial del Salatrim es para mejorar las propiedades texturales de los alimentos bajos en grasa es significativo. Hongjuan et al. (2022) señalan que otros sustitutos de grasa, como los geles de emulsión de proteína de suero e inulina, mejoran la dureza, consistencia, cohesión y adhesividad en productos lácteos bajos en grasa, como el yogurt, al crear una estructura reticular más compacta y poros más pequeños. Esto sugiere que el Salatrim podría ofrecer beneficios similares, contribuyendo a una textura más densa y cohesiva en estos productos.

Una investigación clave de Rudan et al. (1998) comparó las texturas de queso Mozzarella con y sin Salatrim. Los resultados mostraron que los quesos elaborados con Salatrim mantuvieron propiedades de fusión y viscosidad aparente similares a las del queso control con grasa láctea, lo que indica que no altera significativamente el comportamiento de fusión. No obstante, el queso con Salatrim exhibió una textura más suave y liberó menos aceite libre durante el almacenamiento en comparación con el control, que era más duro y liberaba más aceite. Además, el queso con Salatrim que no se fundía presentó un color más blanco y menos amarillo, características que se mantuvieron estables con el tiempo.

Entonces, el Salatrim es una opción óptima para productos lácteos y otros alimentos bajos en grasa, ya que mantiene propiedades funcionales cruciales como la viscosidad y la fusión, al tiempo que mejora la textura, la cohesión y la adhesión, y reduce la liberación de aceite, ofreciendo así una experiencia sensorial superior sin comprometer la calidad.

3.3.6.5. Beneficios

El Salatrim ofrece una serie de ventajas significativas que lo convierte como un ingrediente en la industria alimentaria, especialmente en productos destinados al control de peso y la reducción de grasas.

En primer lugar, su principal beneficio radica en la reducción de la ingesta calórica sin comprometer características sensoriales esenciales como la viscosidad, el sabor y la consistencia, según lo señalado por Rudan et al. (1998). Gracias a su particular estructura química, solo una parte del Salatrim es absorbida por el cuerpo, lo que disminuye su aporte calórico total. Esta propiedad lo hace ideal para la formulación de alimentos dietéticos o con contenido reducido de grasa.

Otro beneficio crucial es su buena tolerancia gastrointestinal. A diferencia de otras alternativas a la grasa, el Salatrim no suele provocar efectos secundarios digestivos. Un estudio de Sørensen et al. (2008) sobre los efectos del Salatrim en productos horneados reveló que la mayoría de los participantes (14 de 20) no experimentaron problemas estomacales o digestivos en las 24 horas posteriores al consumo. Para el resto, no hubo diferencias significativas en los efectos secundarios gastrointestinales entre las comidas con Salatrim y las comidas tradicionales, lo que sugiere que es generalmente bien tolerado.

Además, el Salatrim favorece la saciedad, un factor crucial en las estrategias contra el sobrepeso y la obesidad. La misma investigación de Sørensen et al. (2008) demostró que el consumo de Salatrim (en rollos de mermelada) en el desayuno aumenta la sensación de saciedad y reduce el hambre de manera más efectiva que las grasas tradicionales. Este efecto supresor del apetito se observó en hombres jóvenes y sanos de peso normal. Es importante destacar que, pese a estos beneficios funcionales, los participantes manifestaron que el sabor de los alimentos con Salatrim era tan bueno como el de los alimentos ricos en grasas convencionales (P 0.30 para todas las

variables), lo que indica que no hubo una diferencia significativa en la percepción del agrado o la riqueza del sabor.

3.3.6.6. Desventajas

A pesar de sus prometedoras ventajas como sustituto de grasa, el Salatrim presenta ciertas limitaciones importantes que deben considerarse. En primer lugar, una de sus principales restricciones es su baja estabilidad térmica, lo que lo hace inadecuado para la fritura profunda y otras aplicaciones que requieren calor intenso. Su composición, que incluye ácidos grasos de cadena corta, provoca que se descomponga a altas temperaturas, afectando la calidad del producto y pudiendo generar sabores indeseados (Benford et al. 2008). En segundo lugar, aunque generalmente es bien tolerado, el consumo de grandes cantidades de Salatrim puede, en ciertas personas sensibles, ocasionar molestias digestivas temporales como hinchazón, gases o malestar estomacal. Esto se debe a que una parte de sus componentes puede no absorberse completamente y fermentarse en el intestino. Además, la disponibilidad y regulación geográfica del Salatrim son limitadas; su producción y uso se concentran en regiones específicas como ciertos países de la Unión Europea, lo que restringe su acceso global en la industria alimentaria.

Finalmente, y de manera crucial, a diferencia de las grasas y aceites tradicionales, European Commission (2002) explica que el Salatrim no actúa como un vehículo eficiente para la absorción de vitaminas liposolubles (A, D, E y K). Si se utiliza como reemplazo principal de la grasa en la dieta, esto podría llevar a una menor absorción de estas vitaminas esenciales, requiriendo que los formuladores de alimentos consideren la fortificación de productos o que los consumidores aseguren su ingesta a través de otras fuentes dietéticas. Estas desventajas subrayan la necesidad de una

formulación cuidadosa y una comprensión clara de sus propiedades al integrar el Salatrim en productos alimenticios.

3.3.6.7. Mecanismo bioquímico

El mecanismo bioquímico del Salatrim en el cuerpo humano se basa en su particular estructura molecular, que permite una digestión y absorción diferencial en comparación con las grasas tradicionales. Esta diferencia es clave para su reducido aporte calórico.

Cuando el Salatrim ingresa al tracto gastrointestinal, las lipasas pancreáticas, enzimas digestivas, actúan sobre él. Benford et al. (2008) explican que estas lipasas hidrolizan los enlaces éster del Salatrim, liberando ácidos grasos libres y monoglicéridos. Sin embargo, a diferencia de los triglicéridos convencionales, la absorción total de los lípidos derivados del Salatrim es menor. Esto se debe a dos factores principales:

Baja absorción del ácido esteárico: El Salatrim contiene ácido esteárico, un ácido graso de cadena larga saturada. Este ácido se absorbe y metaboliza en una proporción significativamente menor en el intestino humano en comparación con otros ácidos grasos. Esta absorción parcial reduce la cantidad de calorías disponibles que el cuerpo puede extraer.

Metabolismo rápido de los ácidos grasos de cadena corta: Por otro lado, los ácidos grasos de cadena corta (como el acético y el propiónico) que se liberan son más hidrosolubles y se absorben y metabolizan rápidamente. Una parte de estos ácidos puede absorberse directamente en el estómago y utilizarse como fuente de energía, mientras que el resto pasa al hígado a través de la vena porta. Aunque proporcionan energía de forma eficiente, su aporte calórico por gramo es menor que el de los ácidos grasos de cadena larga.

La combinación de estas cadenas de ácidos grasos en la misma molécula de triglicérido altera significativamente sus propiedades fisicoquímicas y su metabolismo. La limitada absorción del ácido esteárico, junto con el rápido, pero menos denso en calorías metabolismo de los ácidos grasos de cadena corta, hace que el Salatrim aporte aproximadamente 5 kcal/g, una cantidad considerablemente menor que las 9 kcal/g de las grasas y aceites tradicionales.

En síntesis, el Salatrim se hidroliza y absorbe solo parcialmente, con una absorción limitada del ácido esteárico y una rápida utilización de los ácidos grasos de cadena corta. Esta estructura molecular diseñada no solo imita las características texturales y funcionales de las grasas, sino que también resulta en un menor aporte calórico y un patrón metabólico distinto al de las grasas convencionales, contribuyendo eficazmente a la reducción calórica en la dieta.

3.3.7. Técnicas instrumentales para identificar Olestra y Salatrim

Para analizar la Olestra y el Salatrim en productos alimentarios, se realizan análisis fisicoquímicos que aseguren una distribución homogénea de estas grasas modificadas dentro de la matriz alimentaria. Esto permite verificar que están presentes en la proporción y forma adecuadas.

Una de las técnicas más adecuadas para este fin es la cromatografía de gases (GC). Según Tobón et al. (2002), esta técnica volatiliza la muestra y la separa en fase gaseosa, facilitando la detección de compuestos volátiles y semivolátiles. En el caso de la Olestra y el Salatrim, que son triglicéridos modificados, es necesario convertirlos en ésteres metílicos de ácidos grasos (FAMES). Esta conversión aumenta su volatilidad, lo que mejora significativamente su separación e identificación individual por el detector de la GC. De esta manera, la cromatografía de gases permite identificar y cuantificar con precisión la Olestra, el Salatrim y otros componentes grasos presentes en el alimento.

3.3.8. Comparación entre Olestra y Salatrim

La **tabla 2**, permite comprender de mejor manera las similitudes y diferencias clave entre Olestra y Salatrim, dos sustitutos de grasa desarrollados con el propósito de reducir el contenido calórico en alimentos procesados, sin comprometer el sabor y la textura característicos de los lípidos tradicionales.

Tabla 2. Análisis Comparativo de Olestra y Salatrim como Sustitutos de Grasa.

| Olestra | Aspectos | Salatrim |
|--|-----------------------------|--|
| No aporta calorías (0 kcal/g) | Aportación calórica | Aporta menos calorías que la grasa convencional (~5 kcal/g) |
| Reducir el contenido calórico, brindar sabor y textura similares a la grasa tradicional | Función | Reducir el contenido calórico, mantener textura y sabor en productos bajos en grasa |
| Éster de sacarosa (azúcar con 8 grupos hidroxilo) unido a 6 a 8 ácidos grasos (saturados o insaturados). | Estructura molecular | Triglicérido modificado: combina ácidos grasos de cadena corta (acético, propiónico, butírico) y larga (esteárico) |
| Frituras como papas fritas, snacks, aderezos | Alimentos | Lácteos bajos en grasa: quesos, yogures, repostería, helados |

| | | |
|---|----------------------------|--|
| Muy estable por su estructura química | Estabilidad térmica | No es estable a temperaturas altas, puede degradarse. |
| Cólicos abdominales, diarrea, flatulencias, reducción en la absorción de vitaminas liposolubles (A, D, E y K) | Efectos secundarios | Hinchazón, flatulencia, posible malestar estomacal si se consume en grandes cantidades |

Autor: Elaboración Propia.

Son las características principales de Olestra y Salatrim, incluyendo su aporte calórico, función, estructura molecular, aplicaciones alimentarias, estabilidad térmica y posibles efectos secundarios, para una mejor comprensión de cada sustituto de grasa.

Ambos compuestos cumplen funciones similares en la industria alimentaria, al actuar como alternativas a las grasas convencionales, aunque sus mecanismos y estructuras químicas difieren notablemente. Olestra, al estar compuesta por ésteres de sacarosa y múltiples ácidos grasos, no es digerida ni absorbida por el organismo, lo que le otorga una aportación calórica nula. Esta propiedad la hace especialmente útil en snacks y alimentos fritos, donde se busca reducir al máximo el contenido graso sin afectar la calidad sensorial. Sin embargo, su uso conlleva efectos secundarios notables, como malestares gastrointestinales y la interferencia en la absorción de vitaminas liposolubles, lo que ha limitado su aceptación en algunos mercados.

Por otro lado, Salatrim presenta una estructura más cercana a la de los triglicéridos comunes, combinando ácidos grasos de cadena corta y larga. Esto le permite ser parcialmente digerido, aportando menos calorías (aproximadamente 5 kcal/g) que las grasas tradicionales, pero no cero. Es más utilizado en productos como

lácteos bajos en grasa, repostería y helados, donde se busca mantener características organolépticas adecuadas. Aunque sus efectos adversos son generalmente leves, como hinchazón o malestar estomacal, su estabilidad térmica es menor en comparación con la Olestra.

En síntesis, esta comparación demuestra que la elección entre Olestra y Salatrim depende del tipo de producto alimenticio, el proceso de cocción y las prioridades del consumidor o fabricante (reducción calórica extrema vs. conservación de textura/sabor). Además, revela cómo la química de alimentos ha avanzado hacia alternativas lipídicas funcionales, pero aún enfrenta desafíos relacionados con la tolerancia digestiva y la aceptación regulatoria.

4. Conclusiones

De acuerdo con el análisis y recopilación bibliográfico-documental ambos sustitutos ofrecen beneficios significativos para reducir las calorías de los alimentos manteniendo sus propiedades sensoriales en cuanto a sabor y textura, ambos sustitutos se asemejan a las grasas. Pero la Olestra ofrece la reducción calórica (0 kcal/g) a comparación del Salatrim que ofrece una reducción calórica moderada (5 kcal/g).

En cuanto a las aplicaciones de la Olestra es más empleada en snack o frituras debido a que la complejidad de la molécula es resistente a altas temperaturas. Mientras que, el Salatrim debe ser empleado para productos lácteos como leche, yogurt y repostería congelada, de modo que cuando sea consumido su aporte calórico sea menos 9 kcal/g.

Por otra parte, se determinó que el Salatrim tiene menor efecto en la absorción de vitaminas (A, D, E y K) y carotenoides, ya que esta es absorbida en el intestino, mientras que la Olestra efectivamente, reduce la absorción de vitaminas liposolubles (A,D,E y K), pero esta absorción puede ser recompensada fortificando los alimentos con estas vitaminas. Si bien es cierto, de acuerdo con los nutricionistas las dietas alimenticias y alimentos deben contener lípidos, ya que aportan en gran medida energía y calorías necesarias para el cuerpo humano. Pero se debe buscar alternativas saludables para personas que padecen de obesidad, diabetes, y enfermedades cardiovasculares, como los son estos sustitutos de grasas. No obstante, la industria alimentaria busca constantemente formas de mejorar el perfil nutricional de sus productos, y los sustitutos de grasa son una herramienta para lograrlo. Sin embargo, la clave está en encontrar sustitutos que no solo sean efectivos funcionalmente, sino que también sean seguros, bien tolerados por los consumidores y que no generen efectos negativos en la salud.

4.1. Recomendaciones

Para futuros estudios bibliográficos-documentales se podría realizar análisis comparativos con otros sustitutos de grasa a base de proteínas, con el fin de evaluar sus ventajas nutricionales, tecnológicas, sensoriales y mecanismo bioquímico frente a Olestra y Salatrim.

Se recomienda investigar si la Olestra y Salatrim tienen algún efecto en la actividad hormonal además del gastrointestinal y la absorción de vitaminas liposolubles.

Evaluar el potencial impacto ambiental de estos sustitutos de grasa, incluyendo estudios de biodegradabilidad, comportamiento en sistemas de tratamiento de aguas

residuales y análisis de ciclo de vida (LCA), con el fin de promover una producción y uso más sostenible.

Investigar la viabilidad técnica y económica de aplicar Olestra y Salatrim en productos alimentarios locales, especialmente en el contexto de la industria ecuatoriana, considerando factores como normativas, disponibilidad de materias primas, costos de producción y aceptación del consumidor.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Akoh, C. C., & Min, D. B. (2002). *Food lipids: Chemistry, nutrition, and biotechnology, second edition* (2a ed.). CRC Press.

Alimentos ricos en grasas. (2025, enero 21). Clínica de Universidad de Navarra; Universidad de Navarra. <https://www.cun.es/chequeos-salud/vida-sana/nutricion/alimentos-ricos-grasa>

Alonso, B., Andres, F., Carmen:, B. L. A., & Chaparro, T. (2006). Información General sobre el tema. In J. Fernández, L. Luisa, & A. Galindo (Eds.), *La alimentación* (pp. 11–25). Instituto Nacional del Consumo. https://www.dsca.gob.es/sites/default/files/48_alimentacion.pdf

Astiasarán, I., & Martínez, A. (2003). *Alimentos Composición y Propiedades* (2da ed.). McGraw-Hill. <https://fisiogenomica.com/assets/Blog/pdf/Alimentos-Composicion-y-Propiedades.pdf>

- Ballesteros-Vásquez, M. N., Valenzuela-Calvillo, L. S., Artalejo-Ochoa, E., & Robles-Sardin, A. E. (2012). Ácidos grasos trans: un análisis del efecto de su consumo en la salud humana, regulación del contenido en alimentos y alternativas para disminuirlos. *Nutricion Hospitalaria: Organo Oficial de La Sociedad Espanola de Nutricion Parenteral y Enteral*, 27(1), 54–64. <https://doi.org/10.3305/NH.2012.27.1.5420>
- Baylin, A., Kabagambe, E. K., Ascherio, A., Spiegelman, D., & Campos, H. (2003). High 18:2 trans-fatty acids in adipose tissue are associated with increased risk of nonfatal acute myocardial infarction in costa rican adults. *The Journal of Nutrition*, 133(4), 1186–1191. <https://doi.org/10.1093/jn/133.4.1186>
- Benford, D., Grieg, J., Lupton, J., & Leclercq, C. (2008). *Salatrim*. Inchem.org. <https://www.inchem.org/documents/jecfa/jecmono/v50je08.htm>
- Bhattacharya, S. (2023). Fats and oils. In *Snack Foods* (pp. 251–281). Elsevier.
- Bimal, C., & Guonong, Z. (2006). Olestra: A solution to food fat? *Food Reviews International*, 22(3), 245–258. <https://doi.org/10.1080/87559120600694705>
- Birkett, J. (2009). Fat-based centres and fillings. En *Science and Technology of Enrobed and Filled Chocolate, Confectionery and Bakery Products* (pp. 101–122). Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9781845696436.1.101>
- Borén, J., & Taskinen, M.-R. (2022). Metabolism of triglyceride-rich lipoproteins. *Handbook of Experimental Pharmacology*, 270, 133–156. https://doi.org/10.1007/164_2021_520

- Clavijo, Z. (2020). Alimentación y Nutrición. In *Nutrición, dietética y alimentación* (pp. 5–11). [http://file:///C:/Users/DELL/Downloads/Dialnet-NutricionDieteticaYAlimentacion-697532%20\(1\).pdf](http://file:///C:/Users/DELL/Downloads/Dialnet-NutricionDieteticaYAlimentacion-697532%20(1).pdf)
- Cooper, D. A., Berry, D. A., Spendel, V. A., King, D., Kiorpes, A. L., & Peters, J. C. (1997). Olestra dose response on fat-soluble and water-soluble nutrients in the pig. *The Journal of Nutrition*, 127(8 Suppl), 1573S-1588S. <https://doi.org/10.1093/jn/127.8.1573S>
- Davidson, M. H., & Bechtel, D. H. (2014). Assessment of the effect of esterified propoxylated glycerol (EPG) on the status of fat-soluble vitamins and select water-soluble nutrients following dietary administration to humans for 8 weeks. *Regulatory Toxicology and Pharmacology: RTP*, 70 Suppl 2, S143-57. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2014.11.009>
- De Oliveira, G., Masuchi, M. H., Basso, R. C., Zuliani Stroppa, V. L., Ribeiro, A. P. B., & Kieckbusch, T. G. (2014). *Differential scanning calorimetry: Applications in fat and oil technology* (E. Chiavaro, Ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b17739>
- Deng, L., Vrieling, F., Stienstra, R., Hooiveld, G. J., Feitsma, A. L., & Kersten, S. (2022). Macrophages take up VLDL-sized emulsion particles through caveolae-mediated endocytosis and excrete part of the internalized triglycerides as fatty acids. *PLoS Biology*, 20(8), e3001516. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3001516>

- Emenike, E. C., Iwuozor, K. O., Saliu, O. D., Ramontja, J., & Adeniyi, A. G. (2023). Advances in the extraction, classification, modification, emerging and advanced applications of crystalline cellulose: A review. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 6(100337), 100337. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2023.100337>
- Feduchi, E. (2015). Lípidos. In *Bioquímica* (pp. 50–51). Médica Panamericana. https://bibliotecas.unr.edu.ar/muestra/medica_panamericana/9788498358759.pdf.
- Gajera, H., Patel, S., & Golakiya, B. (2008). Lípidos y Grasas. In *Fundamentos de Bioquímica* (pp. 77–80). Internacional Book Distributing Co. <https://labalbaha.wordpress.com/wp-content/uploads/2014/04/fundamentals-of-biochemistry.pdf>
- Grasas trans*. (2024). Organización Mundial de la Salud [OMS]. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/trans-fat>
- Guo, J., Cui, L., & Meng, Z. (2023). Oleogels/emulsion gels as novel saturated fat replacers in meat products: A review. *Food Hydrocolloids*, 137(108313), 108313. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108313>
- Gurr, M. I., Harwood, J. L., Frayn, K. N., Murphy, D. J., & Michell, R. H. (2016). *Lipids: Biochemistry, biotechnology and health* (6th ed.). Wiley-Blackwell. <https://content.e-bookshelf.de/media/reading/L-7846990-e5750f882f.pdf>

- Horton, J. D., Goldstein, J. L., & Brown, M. S. (2002). SREBPs: activators of the complete program of cholesterol and fatty acid synthesis in the liver. *The Journal of Clinical Investigation*, 109(9), 1125–1131. <https://doi.org/10.1172/jci0215593>
- Isidro-Llobet, A., Kenworthy, M. N., Mukherjee, S., Kopach, M. E., Wegner, K., Gallou, F., Smith, A. G., & Roschangar, F. (2019). Sustainability challenges peptide synthesis and purification: From R&D to production. *The Journal of Organic Chemistry*, 84(8), 4615–4628. <https://doi.org/10.1021/acs.joc.8b03001>
- Jandacek, R. J. (2012). Review of the effects of dilution of dietary energy with olestra on energy intake. *Physiology & Behavior*, 105(5), 1124–1131. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2011.12.018>
- Johnson, J. (2021, marzo 22). *Triglyceride levels: Normal, risks of high levels, and more*. Medicalnewstoday.com; Medical News Today. <https://www.medicalnewstoday.com/articles/triglyceride-levels>
- Karantonis, H. C., Nomikos, T., & Demopoulos, C. A. (2009). Triacylglycerol metabolism. *Current Drug Targets*, 10(4), 302–319. <https://doi.org/10.2174/138945009787846443>
- Katan, M. B., et al. (2003). Efficacy and safety of a new fat substitute (Olestra). *American Journal of Clinical Nutrition*, 78(2), 241-247.
- Kavanagh, K., Jones, K. L., Sawyer, J., Kelley, K., Carr, J. J., Wagner, J. D., & Rudel, L. L. (2007). Trans fat diet induces abdominal obesity and changes in insulin sensitivity in monkeys. *Obesity (Silver Spring, Md.)*, 15(7), 1675–1684. <https://doi.org/10.1038/oby.2007.200>

- Li, H., Zhang, L., Jia, Y., Yuan, Y., Li, H., Cui, W., & Yu, J. (2022). Application of whey protein emulsion gel microparticles as fat replacers in low-fat yogurt: Applicability of vegetable oil as the oil phase. *Journal of Dairy Science*, 105(12), 9404–9416. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22314>
- Lim, J., Inglett, G. E., & Lee, S. (2010). Response to consumer demand for reduced-fat foods; Multi-functional fat replacers. *Nihon Shokuhin Kogakkaishi*, 11(4), 147–152. <https://doi.org/10.11301/jsfe.11.147>
- Lozano, J., Galindo, J., García, J., & Martínez-Liarte, J. (2016). *Bioquímica y Biología Molecular* (3rd ed.). McGraw-Hill, Interamericana de España. <https://www.um.es/lafem/DivulgacionCientifica/Libros/BioquimicaYBiologiaMolecularParaCienciasDeLaSalud.pdf>
- Lurueña, M. A. (2013, octubre 7). *¿Existen las grasas sin calorías? Gominolas de petróleo.* <https://gominolasdepetroleo.com/existen-las-grasas-sin-calorias/>
- Marchetti, L., & Andrés, S. C. (2021). Use of nanocellulose in meat products. *Current Opinion in Food Science*, 38, 96–101. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.11.003>
- Marcus, J. B. (2013). Lipids basics: Fats and oils in foods and health. En *Culinary Nutrition* (pp. 231–277). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-391882-6.00006-6>

- Marcus, J. B. (2013). Protein basics: Animal and vegetable proteins in food and health. In *Culinary Nutrition* (pp. 189–230). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-391882-6.00005-4>
- Miller, K. W., Lawson, K. D., Tallmadge, D. H., Madison, B. L., Okenfuss, J. R., Hudson, P., Wilson, S., Thorstenson, J., & Vanderploeg, P. (1995). Disposition of ingested olestra in the Fischer 344 rat. *Fundamental and Applied Toxicology: Official Journal of the Society of Toxicology*, 24(2), 229–237. <https://doi.org/10.1006/faat.1995.1026>
- Mudambi, S., & Rajagopal, M. (2007). Carbohidratos. In *Fundamentals of Food, Nutrition and Diet Therapy* (pp. 37–45). New Age International. <https://alraziuni.edu.ye/uploads/pdf/fundamentals-of-foodnutrition-and-diet-therapy.pdf>
- Neuhouser, M. L., Rock, C. L., Kristal, A. R., Patterson, R. E., Neumark-Sztainer, D., Cheskin, L. J., & Thornquist, M. D. (2006). Olestra is associated with slight reductions in serum carotenoids but does not markedly influence serum fat-soluble vitamin concentrations. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 83(3), 624–631. <https://doi.org/10.1093/ajcn.83.3.624>
- Nourmohammadi, N., Austin, L., & Chen, D. (2023). Protein-based fat replacers: A focus on fabrication methods and fat-mimic mechanisms. *Foods (Basel, Switzerland)*, 12(5), 957. <https://doi.org/10.3390/foods12050957>
- Nuck, B. A., Schlagheck, T. G., & Federle, T. W. (1994). Inability of the human fecal microflora to metabolize the nonabsorbable fat substitute, olestra. *Journal of Industrial Microbiology*, 13(5), 328-334.

O'Connor, T. P., & O'Brien, N. M. (2011). Butter and other milk fat products | fat replacers. En *Encyclopedia of Dairy Sciences* (pp. 528–532). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-374407-4.00330-7>

O'Sullivan, M. G. (2017). Nutritionally optimised low fat foods. En *A Handbook for Sensory and Consumer-Driven New Product Development* (pp. 177–196). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100352-7.00009-9>

Ognean, C. F., Darie, N., & Ognean, M. (2006). *FAT REPLACERS – REVIEW*. Journal-of-agroalimentary.ro. https://journal-of-agroalimentary.ro/admin/articole/74033L66_FAT_REPLACERS_final.pdf

Ömer, Ç., & Mehmet, Ç. (2021). Importancia del Sustituto de Grasa Olestra y su Relevancia Nutricional. *Revista Universitaria Firat de Ciencias de la Salud, Medicina Veterinaria*, 35(3), 190–195. <http://www.fusabil.org>

Opinion of the Scientific Committee on Food on a request for the safety assessment of Salatrims for use as reduced calorie fats alternative as novel food ingredients. (2002). European Commission. https://ec.europa.eu/food/fs/sc/scf/out117_en.pdf

Peng, X., & Yao, Y. (2017). Carbohydrates as fat replacers. *Annual Review of Food Science and Technology*, 8(1), 331–351. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-030216-030034>

Perelman, T. (2017). *The Greasy Killer* [YALE UNIVERSITY]. <https://hshm.yale.edu/sites/default/files/files/Perelman%2C%20Natalia%20-%20Senior%20essay.pdf>

Prince, D. M., & Welschenbach, M. A. (1998). Olestra : a new food additive. *Journal of the American Dietetic Association*, 98(5), 565–569.
[https://doi.org/10.1016/s0002-8223\(98\)00126-6](https://doi.org/10.1016/s0002-8223(98)00126-6)

Rattagool, K. (1999). *Scientific Considerations of Olestra as fat substitute* [University of North Texas].
https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc2240/m2/1/high_res_d/Thesis.pdf

Reglamento de Ejecución Regulatorio de Alimentos de la Unión Europea. (2017).
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX%3A02017R2470-20240110>

Reyes, E. (2002). *Riesgo-Beneficio de los sustitutos de grasa*. [Universidad Autónoma de México]. <https://goo.su/8bxPMZ>.

Rudan, M. A., Barbano, D. M., & Kindstedt, P. S. (1998). Effect of fat replacer (Salatrim) on chemical composition, proteolysis, functionality, appearance, and yield of reduced fat mozzarella cheese. *Journal of Dairy Science*, 81(8), 2077–2088.
[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(98\)57782-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)57782-0)

Salatrim. (2002). Food Agriculture Organization [FAO].
https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/jecfa_additives/docs/Monograph1/Additive-382.pdf

Saturated Fat. (2021). Food and Drug Administration.
https://www.accessdata.fda.gov/scripts/InteractiveNutritionFactsLabel/assets/InteractiveNFL_SaturatedFat_October2021.pdf

Sayaslan, A., & Akpınar, O. (2003). Olestra. *Gou*, 20(2), 37–42.

<https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/82374>

Shahruzzaman, M., Hossain, S., Ahmed, T., Kabir, S. F., Minhajul Islam, M., Rahman, A., Sazedul Islam, M., Sultana, S., & Rahman, M. M. (2022). Biological macromolecules as antimicrobial agents. En *Biological Macromolecules* (pp. 165–202). Elsevier.

Sitrin, M. D. (2014). Digestion and absorption of dietary triglycerides. En *The Gastrointestinal System* (pp. 159–178). Springer Netherlands.

Slattery, M. L., Benson, J., Ma, K. N., Schaffer, D., & Potter, J. D. (2001). Trans-fatty acids and colon cancer. *Nutrition and Cancer*, 39(2), 170–175.

https://doi.org/10.1207/S15327914nc392_2

Sofi, F., Rapini, D., Innocenti, G., Abbate, R., Gensini, G. F., & Casini, A. (2009). Dietary intake of trans fatty acids as a cardiovascular risk factor in a population of Italian teenagers. *Cardiology in the Young*, 19(6), 589–593.

<https://doi.org/10.1017/S104795110999120X>

Sørensen, L. B., Cueto, H. T., Andersen, M. T., Bitz, C., Holst, J. J., Rehfeld, J. F., & Astrup, A. (2008). The effect of salatrim, a low-calorie modified triacylglycerol, on appetite and energy intake. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 87(5), 1163–1169.

<https://doi.org/10.1093/ajcn/87.5.1163>

Soria, Á. (2021). *Análisis espacial del sobrepeso y obesidad, un estudio para la ciudad de Quito* [Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales].

<https://goo.su/K1nv2YQ>

Soult, A. (2019, junio 10). 14.2: *Lipids and triglycerides*. Chemistry LibreTexts; Libretexts. <https://surl.li/rmsbiy>

Subroto, E., Indiaro, R., Djali, M., & Rosyida, H. D. (2020). Production and application of crosslinking- modified starch as fat replacer: A review. *International journal of engineering trends and technology*, 68(12), 26–30. <https://doi.org/10.14445/22315381/ijett-v68i12p205>

Syan, V., Kaur, J., Sharma, K., Patni, M., Rasane, P., Singh, J., & Bhadariya, V. (2022). An overview on the types, applications and health implications of fat replacers. *Journal of Food Science and Technology*, 61(1), 27–38. <https://doi.org/10.1007/s13197-022-05642-7>

The Olestra story. (2012). Universidad de Minnesota. https://www-epi-umn-edu.translate.google.com/translate/cvdepi/essay/the-Olestra-story/?x_trsch=http&x_trsl=en&x_trtl=es&x_trhl=es&x_trpto=sge

Thomson, A. B., Hunt, R. H., & Zorich, N. L. (1998). Review article: Olestra and its gastrointestinal safety: Review: gastrointestinal safety of olestra. *Alimentary Pharmacology & Therapeutics*, 12(12), 1185–1200. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2036.1998.00415.x>

Tobón, F., Molina, R. M. O. M., & Bothert, J. (2002). Determinación del perfil de ácidos grasos de la secreción de la glándula uropigial de la *Coturnix coturnix japonica* (codorniz doméstica). *Centro de Investigaciones Pecuarias*, 15(2), 169–179. <https://www.uv.mx/qfb/files/2020/09/Manual-Tecnologia-de-Alimentos.pdf>

Tulley, R. T., Vaidyanathan, J., Wilson, J. B., Rood, J. C., Lovejoy, J. C., Most, M. M., Volaufova, J., Peters, J. C., & Bray, G. A. (2005). Daily intake of multivitamins

- during long-term intake of olestra in men prevents declines in serum vitamins A and E but not carotenoids. *The Journal of Nutrition*, 135(6), 1456–1461. <https://doi.org/10.1093/jn/135.6.1456>
- Valenzuela B, A., & Sanhueza C, J. (2008). Estructuración DE lípidos y sustitutos DE grasas, ¿lípidos Del futuro? *Revista Chilena de Nutricion: órgano Oficial de La Sociedad Chilena de Nutrición, Bromatología y Toxicología*, 35(4), 394–405. <https://doi.org/10.4067/s0717-75182008000500001>
- Vasconcelos, A., Bressan, J., & Sabarense, C. (2006). Trans fatty acids: foods and effects on health. *Archivos latinoamericanos de nutricion*, 56(1), 12–21. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16786729>
- Vázquez, A. (2020). *Manual de tecnología de alimentos*. <https://www.uv.mx/qfb/files/2020/09/Manual-Tecnologia-de-Alimentos.pdf>
- Wood, F. E., DeMark, B. R., Hollenbach, E. J., Sargent, M. C., & Triebwasser, K. C. (1991). Analysis of liver tissue for olestra following long-term feeding to rats and monkeys. *Food and Chemical Toxicology: An International Journal Published for the British Industrial Biological Research Association*, 29(4), 231–236. [https://doi.org/10.1016/0278-6915\(91\)90019-4](https://doi.org/10.1016/0278-6915(91)90019-4)
- World Health Organization. (2018). Trans fat elimination: Global progress report 2018. WHO Press. https://www.who.int/nutrition/topics/TRANS_fats/en/
- Zakharova, I. N., & Sugyan, N. G. (2019). Steatorrhea in young children: what to do? *Medical Council*, 2, 124–130. <https://doi.org/10.21518/2079-701x-2019-2-124-130>