



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**PANORAMA ACTUAL DE LAS APLICACIONES DEL HIDROCOLOIDE CURDLAN
EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA.**

**TRABAJO MONOGRÁFICO DE ACTUALIZACIÓN
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
QUÍMICO DE ALIMENTOS**

**PRESENTA
DANIEL SÁNCHEZ HERNÁNDEZ**



CD. MX. 2021



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: QFB HUGO RUBEN CARREÑO ORTIZ

VOCAL: M. EN C. ARGELIA SANCHEZ CHINCHILLAS

SECRETARIO: M. EN C. TANIA GOMEZ SIERRA

1er. SUPLENTE: IA JANELI SOLIS GARFIAS

2° SUPLENTE: IA ZAIRA BERENICE GUADARRAMA ALVAREZ

**SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA: FACULTAD DE QUÍMICA,
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.**

ASESORA DEL TEMA:

M. en C. ARGELIA SÁNCHEZ CHINCHILLAS

SUSTENTANTE:

DANIEL SÁNCHEZ HERNÁNDEZ

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS	i
ÍNDICE DE TABLAS	ii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	iii
1. Introducción.....	1
2. Objetivos	2
2.1 Objetivo general	2
2.2 Objetivos particulares.....	2
3. Desarrollo del tema	3
3.1 Aditivos alimentarios	3
3.1.1 Definición	3
3.1.2 Importancia en la industria alimentaria	4
3.1.3 Clasificación.....	5
3.1.4 Identificación	7
3.2 Hidrocoloides	8
3.2.1 Definición de hidrocoloide alimentario	8
3.2.2 Propiedades funcionales	9
3.2.2.1 Estabilizante	10
3.2.2.2 Espesante.....	10
3.2.2.3 Gelificante	12
3.3. Fibra dietética.....	17
3.3.1 Beneficios de los hidrocoloides como fibra dietética	17
3.4 Curdlan.....	18
3.4.1 Origen.....	18

3.4.2	Proceso de obtención	20
3.4.3	Definición y composición química.....	22
3.4.4	Estabilidad	26
3.4.5	Propiedades fisicoquímicas	29
3.4.6	Aplicaciones en la industria alimentaria	31
3.4.7	Uso como fibra dietética	35
3.4.8	Toxicología	35
3.4.9	Legislación.....	37
3.4.10	Métodos analíticos para determinar su identidad, pureza y contaminantes	39
3.4.11	Otra información	40
4.	Discusión	40
5.	Conclusiones	43
6.	Referencias	44
7.	Anexos	50
7.1	Clasificación de los aditivos alimentarios según el Acuerdo por el que se determinan los aditivos y coadyuvantes en alimentos, bebidas y suplementos alimenticios, su uso y disposiciones sanitarias	50
7.2	Ejemplos de categorías de alimentos en los que se pueden utilizar el curdlan y otros aditivos del cuadro 3 de la GSFA.....	55
7.3	Métodos analíticos para determinar su identidad, pureza y contaminantes.....	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Hidroxipropilcelulosa	8
Figura 2. Interacciones iónicas en el gel de alginatos	9
Figura 3. Quitosano.....	9
Figura 4. Representaciones de diversos comportamientos de flujo independientes del tiempo.....	10
Figura 5. Representaciones del comportamiento fluidificante por cizalla.....	11
Figura 6. Representaciones del comportamiento espesante por cizalla	11
Figura 7. Representaciones de flujos no newtonianos dependientes del tiempo ..	12
Figura 8. Gel físico. Reactividad de la carragenina con las proteínas.....	13
Figura 9. Gel químico. Gel de poliacrilamida para electroforesis	14
Figura 10. Gel termorreversible. Gel de grenetina con cambios en la temperatura	14
Figura 11. Mecanismo de gelificación ionotrópica de alginatos.....	15
Figura 12. Gelificación en frío. Gelificación de la agarosa	16
Figura 13. Gelificación en caliente. Carne para hamburguesa con curdlan	16
Figura 14. Comparación de la textura de geles de diferentes hidrocoloides.....	17
Figura 15. Resumen de la obtención de las cepas productoras de curdlan	19
Figura 16. Diagrama para la obtención de curdlan.....	21
Figura 17. Representación esquemática de la composición del curdlan.....	23
Figura 18. Visión transversal de las cadenas de curdlan	24
Figura 19. Representación esquemática de los cambios en agua de la estructura del curdlan a diferentes temperaturas	25
Figura 20. Comparación relativa de fuerza de geles de diferentes hidrocoloides a diferente pH.....	30
Figura 21. Fuerza del gel de diferentes hidrocoloides antes y después de congelamiento y descongelamiento	31
Figura 22. Tofu liofilizado	33
Figura 23. Comparación de chocolate con curdlan y sin curdlan bajo diferentes condiciones ambientales	34

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Fuerza de los geles y sinéresis a diferente temperatura	26
Tabla 2. Características de los geles a diferentes condiciones	27
Tabla 3. Geles neutralizados.....	28
Tabla 4. Gel neutralizado de curdlan al 4% y tratado a diferentes temperaturas ..	28
Tabla 5. Geles regenerados y tratados a diferentes temperaturas.....	29
Tabla 6. Aplicaciones del curdlan en alimentos.....	32
Tabla 7. Valor de la dosis letal media (DL ₅₀) del curdlan.....	35
Tabla 8. Clasificación del grado de toxicidad según Deischmann y Gerarde	36
Tabla 9. Estudios de toxicidad del curdlan	36

Lista de abreviaturas

ADI: Ingesta Diaria Admitida, del inglés Adequate Dietary Intake

BPF: Buenas Prácticas de Fabricación

CAS: Servicio de Resúmenes Químicos, del inglés Chemical Abstracts Service

COFEPRIS: Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios

DL₅₀: Dosis Letal Media

DMSO: Dimetilsulfóxido

DP: Grado de polimerización, del inglés Degree of Polymerization

EFSA: Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria, por sus siglas en inglés European Food Safety Authority

EPS: Exopolisacáridos

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, del inglés Food and Agriculture Organization of the United Nations

FCC: Códice de Sustancias Químicas para alimentos, del inglés Food Chemical Codex

FDA: Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos, del inglés Food and Drug Administration

GFSA: Norma General del Codex para los Aditivos Alimentarios, del inglés Codex General Standard for Food Additives

GRAS: Generalmente reconocidos como seguros, del inglés Generally Recognized as Safe

JECFA: Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios, del inglés Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives

MNNG: N-metil-N-nitro-N-nitrosoguanidina

SIN: Sistema Internacional de Numeración

UE: Unión Europea

OMS: Organización Mundial de la Salud

1. Introducción

Uno de los grupos de aditivos más utilizados por la industria alimentaria es el de los hidrocoloides, debido a las propiedades reológicas que le confieren a los alimentos, pero existen limitaciones tecnológicas en los ya existentes teniendo así la necesidad de buscar nuevos, con propiedades funcionales que permitan el desarrollo de productos alimenticios con características que cubran la creciente demanda de alimentos procesados por el estilo de vida tan rápido y diverso que se lleva actualmente.

Los hidrocoloides provienen de fuentes vegetales, animales y de microorganismos, algunos de estos últimos producen exopolisacáridos (EPS) que son polisacáridos que se excretan al medio con diferentes fines, por ejemplo: la goma xantana, la goma gelana, el pululano, el levan y el dextrano.

Un hidrocoloide proveniente de microorganismo con propiedades funcionales novedosas, aprobado por el Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios, JECFA (por sus siglas en inglés) y el *Codex Alimentarius*, pero no muy utilizado en el mundo, es el curdlan. Es un homopolisacárido de glucosa unidas por enlaces glucosídicos β -(1,3), lineal y neutro. Obtenido de la bacteria *Agrobacterium* biovar 1 antes llamada *Alcaligenes faecalis* var. *myxogenes* 10C3. Se emplea como agente espesante y gelificante con la propiedad de formar dos tipos de geles, termorreversible y termoirreversible, encontrándose la fuerza del gel entre el elástico tipo grenetina y el frágil como el del agar. Sus productos pueden ser sometidos a procesos térmicos como esterilización comercial y congelación.

Fue aceptado en 1989 en Japón, Corea y Taiwán y en el 2006 en China. La compañía Takeda Ltd. en Japón recibió la aprobación de la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos, FDA (por sus siglas en inglés) para su uso en alimentos en 1997. A pesar de estar aprobado por JECFA y el *Codex Alimentarius*, aún no ha sido aprobado en México ni en la Unión Europea (UE).

En el presente trabajo se expondrá las propiedades físicas y químicas del hidrocoloide curdlan, así como la legislación aplicable y usos en alimentos con el fin de profundizar en el conocimiento, brindar un panorama actual y general, así como promover su aplicación en alimentos.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Presentar una visión actual acerca del aditivo alimentario curdlan para promover su aplicación en productos alimenticios.

2.2 Objetivos particulares

- Analizar la información acerca de las propiedades fisicoquímicas del aditivo curdlan para proponer posibles aplicaciones en alimentos.
- Describir los estudios sobre su toxicidad en varias especies y su metabolismo en el cuerpo humano.
- Informar acerca de la legislación aplicable a nivel mundial para dar así un acercamiento de los niveles de uso y aplicaciones permitidas para su posible aceptación en México como aditivo alimentario.
- Establecer la metodología para la evaluación de este aditivo para ser incluido en la legislación mexicana.
- Comparar las ventajas y desventajas de reemplazar al hidrocoloide grenetina con curdlan en productos alimenticios libres de fuentes animales.
- Comparar las ventajas y desventajas de sustituir el agar-agar con curdlan para ofrecer productos alimenticios gelificados.

3. Desarrollo del tema

3.1 Aditivos alimentarios

3.1.1 Definición

De acuerdo con la norma general para los aditivos alimentarios del *Codex Alimentarius*, un aditivo alimentario se define como “Cualquier sustancia que en cuanto tal no se consume normalmente como alimento, ni tampoco se usa como ingrediente básico en alimentos, tenga o no valor nutritivo, y cuya adición intencionada al alimento con fines tecnológicos (incluidos los organolépticos) en sus fases de fabricación, elaboración, preparación, tratamiento, envasado, empaquetado, transporte o almacenamiento, resulte o pueda preverse razonablemente que resulte (directa o indirectamente) por sí o sus subproductos, en un componente del alimento o un elemento que afecte a sus características. Esta definición no incluye “contaminantes” o sustancias añadidas al alimento para mantener o mejorar las cualidades nutricionales (*Codex Alimentarius*, Codex Stan 192-1995, revisión 2019).

En México, el organismo encargado de regular los aditivos alimentarios es la COFEPRIS (Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios) quién, a través del Acuerdo por el que se determinan los aditivos y coadyuvantes en alimentos, bebidas y suplementos alimenticios, su uso y disposiciones sanitarias, publicado en el 2012, se define como aditivo alimentario “Cualquier sustancia que en cuanto tal no se consume normalmente como alimento, ni tampoco se usa como ingrediente básico en alimentos, tenga o no valor nutritivo, y cuya adición al producto con fines tecnológicos en sus fases de producción, elaboración, preparación, tratamiento, envasado, empaquetado, transporte o almacenamiento, resulte o pueda preverse razonablemente que resulte (directa o indirectamente) por si o sus subproductos, en un componente del producto o un elemento que afecte a sus características (incluidos los organolépticos). Esta definición no incluye "contaminantes" o sustancias añadidas al producto para mantener o mejorar las cualidades nutricionales (COFEPRIS, DOF 16 de julio de 2012).

La diferencia que se encuentra entre las definiciones es el uso del concepto producto en el Acuerdo mexicano en vez de alimento usado en el *Codex Alimentarius*. Para el Acuerdo, producto se refiere a alimento, bebida o suplemento alimenticio, mientras que en el Codex Stan no se menciona la palabra suplemento alimenticio.

3.1.2 Importancia en la industria alimentaria

Al consumir un alimento se espera que agrade a los sentidos, principalmente a la vista, también que tenga un aroma agradable, el sabor sea justo el que se piensa o se recuerde, la textura guste, por ejemplo, que sea firme o elástico e incluso que tenga un sonido como es en el caso de comer una galleta. También que no produzca un daño a la salud y actualmente, se podría esperar que brinde un beneficio a la salud, esto es por parte del consumidor (Suárez, et al. 2014; Socolovsky, 2015; Mateos, 2017).

Por parte del productor se espera que al elaborar un alimento se obtenga un buen rendimiento y por tanto los costos de producción sean sostenibles, también que sea de rápida elaboración, fácil y en gran escala, que dure lo suficiente para que se pueda transportar y vender en lugares tan lejanos como en otros países y en cualquier época del año, y que se diferencie de los demás por sus cualidades ya sea físicas o químicas como es en el caso de alimentos con reducción energética (Socolovsky, 2015; Pérez, 2017; OMS, 2018).

Lo anterior se obtiene a partir del uso de los aditivos alimentarios, debido a que ayudan a modificar las propiedades físicas y sensoriales del alimento, así como aumentar su vida de anaquel, a que sean seguros (inocuos), que se pueda satisfacer las demandas de los consumidores como el que estén listos para su consumo por el estilo de vida tan rápido que se lleva actualmente o que se satisfagan las necesidades de ciertos sectores al desarrollar nuevos productos (Badui, 2006, Belitz, 2009).

3.1.3 Clasificación

Los aditivos alimentarios se clasifican de diversas maneras, ya sea por la fuente de origen, por su funcionalidad como es en México y la Unión Europea o dependiendo de la legislación de cada país donde sean aceptados, por ejemplo, el calificativo Generalmente reconocidos como seguros, del inglés Generally Recognized as Safe (GRAS) en E.U.A.

De acuerdo con Astiasarán (2018) se clasifican en:

- Naturales. Proviene de fuentes animales, vegetales, microbiológicos y minerales. Algunos ejemplos son la grana cochinilla de origen animal, el extracto de vainilla de origen vegetal, la goma xantana de origen microbiano y el óxido de titanio de origen mineral.
- Idénticos a los naturales. Son moléculas idénticas a las naturales, producidas por síntesis química o biológica en el laboratorio. Por ejemplo, la vainillina.
- Aditivos modificados. Son aquellos compuestos de origen vegetal, modificados en su composición o estructura química, como los almidones o celulosas modificadas. Por ejemplo, la metilcelulosa e hidroxipropilmetilcelulosa.
- Artificiales. Son los compuestos no presentes en la naturaleza obtenidos por síntesis como la sacarina, eritrosina y ciclamato.

Otra clasificación es la que propone Mateos (2017) de acuerdo con su función en los alimentos:

- Modificadores de los caracteres organolépticos: Colorantes, edulcorantes, potenciadores de sabor y modificadores de la textura (espesantes, gelificantes).
- Estabilizadores de las características físicas: estabilizadores de sistemas dispersos (emulgentes, estabilizadores), estabilizadores de textura (espesantes, antiaglomerantes), reguladores del pH (acidulantes,

reguladores del pH), modificadores de la actividad de agua, reguladores de espuma.

- Inhibidores de alteraciones: Conservadores, antioxidantes, secuestrantes.
- Mejoradores y correctores de los alimentos: mejoradores de la panificación, correctores de la vinificación, reguladores de la maduración.

El Acuerdo mexicano establece 30 clases funcionales o funciones tecnológicas de los aditivos alimentarios (Ver Anexo 1) en varias de estas se encuentran los hidrocoloides debido a que tienen diversas funciones tecnológicas. Se encuentran en la clase 8: agentes emulsificantes o emulsionantes; clase 9: agentes endurecedores, y donde es más característica su función es en la clase 10: agentes espesantes; clase 12: agentes estabilizantes; clase 14: agentes gelificantes; clase 15: agente de glaseado y clase 17: agentes incrementadores de volumen. Al declarar el uso de un aditivo que tenga más de una función tecnológica y se decida declarar también la función tecnológica, esta deberá ser la más descriptiva.

A su vez el Acuerdo agrupa a los aditivos en once anexos en los que se especifica para cada aditivo las categorías de productos en que se reconoce su uso y en su caso las dosis máximas permitidas. Los anexos dividen a los aditivos en dos tipos, aquellos que cuentan con una IDA establecida y los que se usan bajo BPF (Buenas Prácticas de Fabricación) al no contar con una IDA establecida. La aplicación de la mayoría de los hidrocoloides en el Acuerdo está bajo BPF. Los anexos son:

- ANEXO I. Aditivos con diversas clases funcionales y con una IDA establecida
- ANEXO II: Aditivos con diversas clases funcionales que pueden ser utilizados de acuerdo a las BPF
- ANEXO III: Colorantes con una IDA establecida
- ANEXO IV: Colorantes que pueden ser utilizados de acuerdo a las BPF
- ANEXO V: Sustancias purificadas para masticar
- ANEXO VI: Enzimas
- ANEXO VII: Edulcorantes con una IDA establecida
- ANEXO VIII: Edulcorantes que pueden ser utilizados de acuerdo a las BPF

- ANEXO IX: Aditivos permitidos en fórmulas para lactantes, fórmulas de continuación y fórmulas para necesidades especiales de nutrición
- ANEXO X: Coadyuvantes de elaboración
- ANEXO XI: Saborizantes.

3.1.4 Identificación

El *Codex Alimentarius* definió el Sistema Internacional de Numeración (SIN) de los aditivos, el cual se emplea mundialmente pero no es de cumplimiento obligatorio, por ejemplo, “en la UE son clasificados de acuerdo con su función principal, independientemente de que puedan realizar funciones de otra clase y se les asigna una denominación y un código, conocido como el número E. Este es una combinación de la letra E y del número SIN y que está formado con hasta cuatro dígitos; los tres primeros numéricos y un cuarto alfanumérico. Este último solo aparece en algunos aditivos para identificar compuestos semejantes o distintas formas químicas de una misma sustancia. Este número es, por tanto, único para cada aditivo lo que permite identificarlo de manera inequívoca” (Mateos, 2017).

En México se registra el SIN, “consta generalmente de tres o cuatro dígitos, sin embargo, en algunos casos el número va seguido de un sufijo alfabético, por ejemplo 150a, que identifica el color de caramelo I-puro. El 150b identifica el caramelo II-proceso al sulfito, etc. Las designaciones alfabéticas se han incluido a fin de caracterizar más las distintas clases de aditivos (por ejemplo, caramelo producido por distintos procedimientos). Algunos aditivos se han subdividido asignándoles números. Por ejemplo, las curcuminas están subdivididas en i) curcumina y ii) cúrcuma. Estas denominaciones indican las subdivisiones de la clase.” (*Codex Alimentarius*, CXG36-1989, enmienda 2019).

3.2 Hidrocoloides

3.2.1 Definición de hidrocoloide alimentario

Son polímeros de diversa naturaleza que por su composición química y física se dispersan en un medio acuoso, tienen una gran capacidad de retención de agua lo que les permite hincharse generando un incremento en la viscosidad o la formación de un gel bajo distintos agentes de naturaleza química como pH o metales y física como temperatura (Boatella, 2004; Badui, 2006; Fennema, 2017).

Actualmente son muy utilizados e importantes debido a las características que les proporcionan a los alimentos como mejorar la textura, encapsular sabores y aromas, dar estabilidad al mantener las características físicas del alimento por más tiempo, evitar la cristalización del agua y azúcares como la sacarosa o lactosa, incrementar la retención de agua, pero a la vez disminuir su actividad (Badui, 2006; Fennema, 2017).

Son compuestos como proteínas, polialcoholes, sales del ácido carboxílico e hidratos de carbono. Estos últimos son los más numerosos y se dividen en tres categorías en función de la carga iónica de sus grupos funcionales (Msagati, 2013).

- No iónicos o neutros como el curdlan, la hidroxipropilcelulosa y el dextrano (Figura 1).

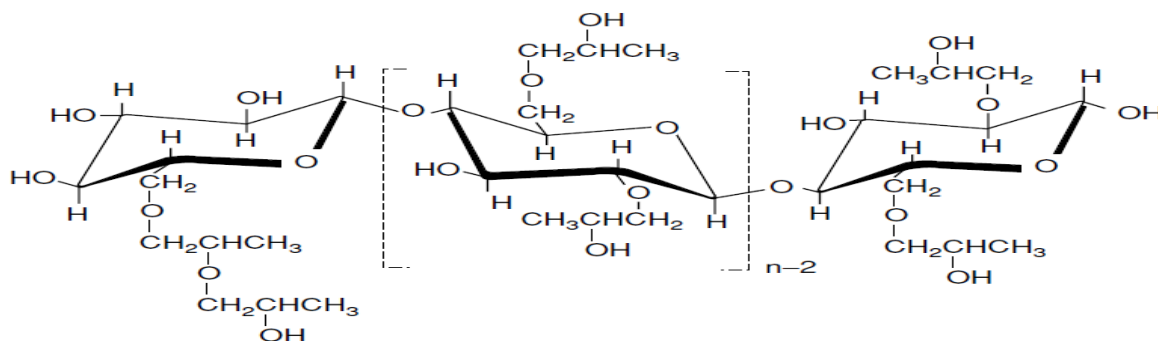


Figura 1. Hidroxipropilcelulosa. Fuente: Alistair et al., 2006.

- Aniónicos como la goma xantana, los carragenanos, la goma guar, los alginatos, la pectina, la grenetina y la carboximetilcelulosa (Figura 2).

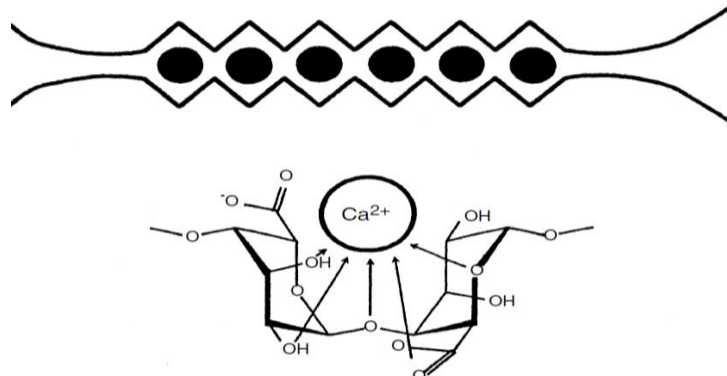


Figura 2. Interacciones iónicas en el gel de alginatos. Fuente: Alistair et al., 2006.

- Catiónicos como el quitosano (Figura 3).

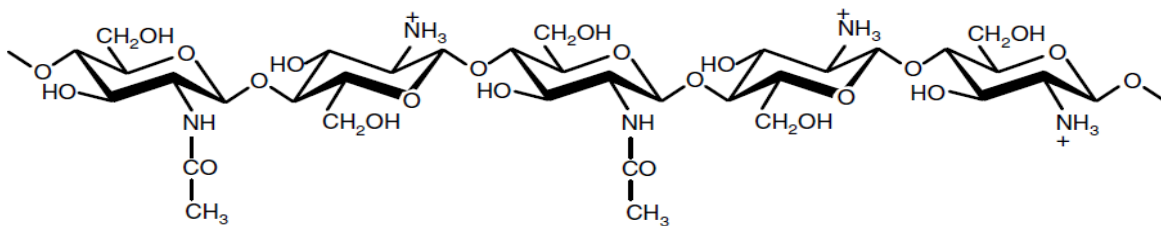


Figura 3. Quitosano. Fuente: Alistair et al., 2006.

3.2.2 Propiedades funcionales

Con base en la función tecnología que se busque y del tipo de matriz, se selecciona el hidocoloide a usar. Se dividen en agentes espesantes, estabilizantes y gelificantes. Las propiedades funcionales dependen del hidocoloide, algunos solo pueden fungir como espesante más no como gelificante, otros actúan solo bajo condiciones específicas de pH o metales. Estas propiedades se deben a la composición química, por ejemplo, si tienen cargas eléctricas sus moléculas, la conformación que adopte en el disolvente, el tamaño y la forma, es decir, si es lineal o ramificado. La concentración generalmente utilizada es por debajo del 2% (Fennema, 2017).

3.2.2.1 Estabilizante

La función estabilizante mantiene las características físicas del alimento, por ejemplo, homogeneidad en emulsiones, suspensiones y espumas. Se evita la separación de las fases al impedir la coalescencia de los glóbulos de grasa en el caso de las emulsiones, la precipitación de los sólidos en las suspensiones y del aire en las espumas. Esto se logra aumentando la viscosidad de la fase continúa evitando así el movimiento de las moléculas. Otro ejemplo es la inhibición de cristales de agua y lactosa en helados al impedir que se formen cristales grandes (Fennema, 2017).

3.2.2.2 Espesante

La viscosidad se define como la resistencia a la deformación de una disolución bajo una fuerza aplicada o esfuerzo de cizalla (Badui, 2006). Los polímeros en disolución presentan dos comportamientos de flujo según su proximidad al modelo de Newton: newtoniano y no newtoniano. El primero es aquel que presenta cambios en la viscosidad directamente proporcional a la velocidad de deformación, mientras que el segundo puede clasificarse a su vez en dependiente o independiente del tiempo. Los fluidos no newtonianos independientes del tiempo son pseudoplástico o también llamado fluidificante por cizalla y dilatante o espesante por cizalla (Figura 4), los dependientes del tiempo son tixotrópico y reopéctico (Bourne, 2002).

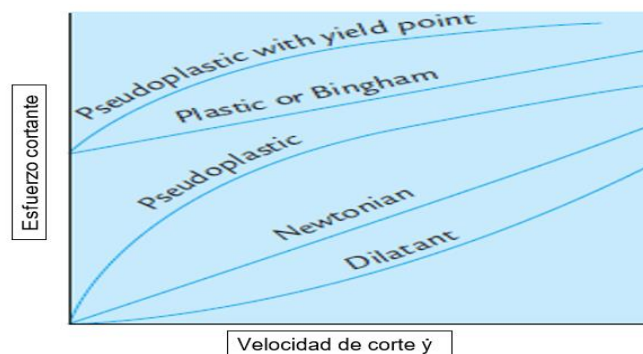


Figura 4. Representaciones de diversos comportamientos de flujo independientes del tiempo. Fuente: Bourne, 2002.

- El comportamiento fluidificante por cizalla se caracteriza por un decremento más que proporcional de la viscosidad aparente al aumentar la velocidad de cizalla, el cambio es instantáneo, es decir la viscosidad es independiente del tiempo (Figura 5). Un ejemplo de este comportamiento en alimentos son las emulsiones de aderezos para ensaladas.

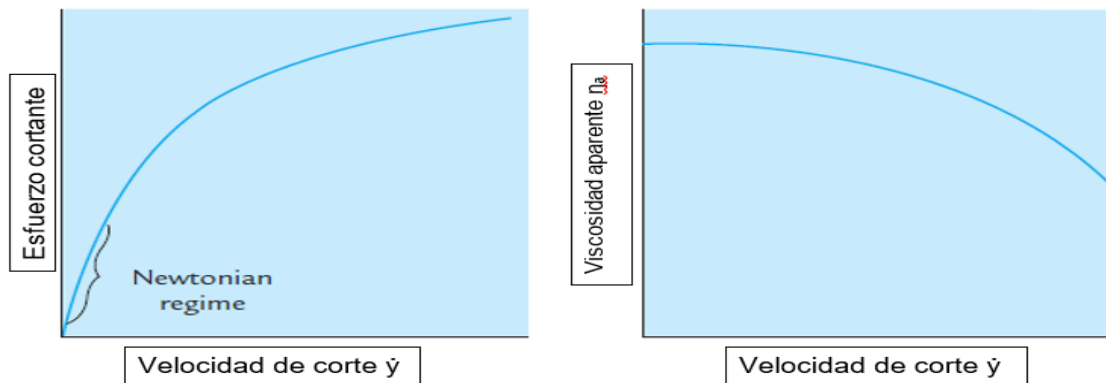


Figura 5. Representaciones del comportamiento fluidificante por cizalla. Fuente: Bourne, 2002.

- El comportamiento de espesante por cizalla se caracteriza por un incremento en la viscosidad aparente al aumentar la velocidad de cizalla, el cambio es instantáneo (Figura 6). Algunos ejemplos son suspensiones de almidón de maíz al 60% en agua o algunos jarabes de chocolate.

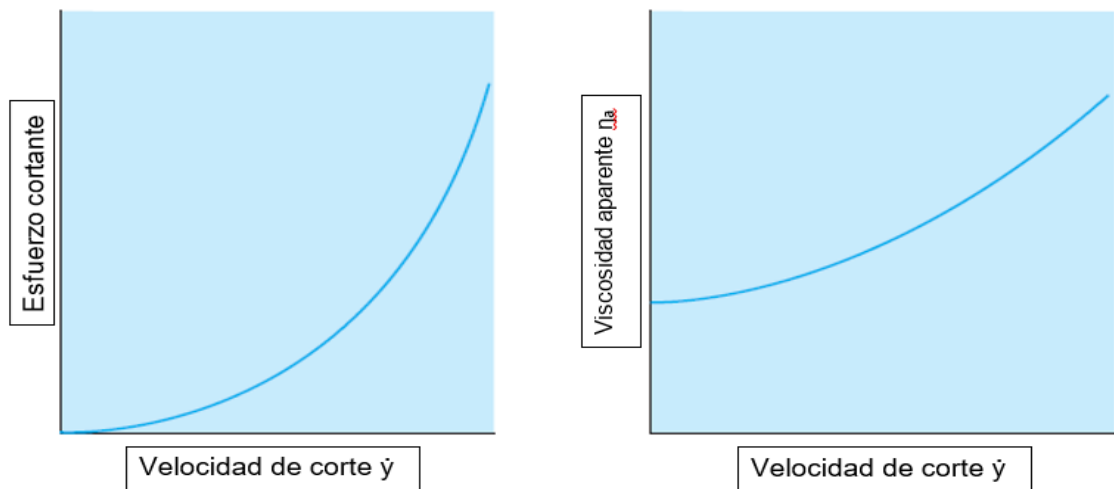


Figura 6. Representaciones del comportamiento espesante por cizalla. Fuente: Bourne, 2002.

- En el flujo tixotrópico, la viscosidad aparente disminuye bajo una fuerza de cizalla constante, el cambio no es instantáneo, sino que depende del tiempo de aplicación del esfuerzo. La viscosidad inicial se recupera después de un tiempo si se deja de aplicar el esfuerzo de cizalla (Figura 7). Este comportamiento lo tienen algunas dispersiones de hidrocoloides.
- Para el flujo reopéctico, la viscosidad aumenta con el tiempo aplicando una velocidad de cizalla constante, el cambio es reversible, es decir, la viscosidad aparente regresa a la inicial después de retirar el esfuerzo de cizalla (Figura 7). Es muy raro este tipo de comportamiento en alimentos.

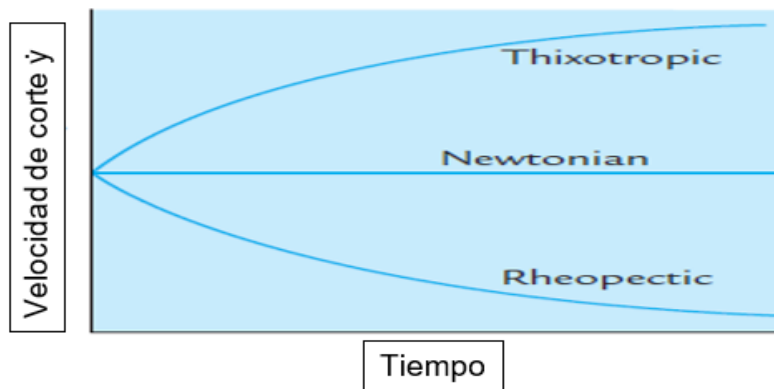


Figura 7. Representaciones de flujos no newtonianos dependientes del tiempo

Fuente: Bourne, 2002.

3.2.2.3 Gelificante

Un gel es una dispersión coloidal ordenada que forma una red tridimensional de moléculas que atrapan un gran volumen de agua en sus canales de unión. Tienen algunas propiedades de los sólidos y otra de los líquidos, debido a que la estructura de la red tridimensional ofrece suficiente resistencia a una fuerza que se le aplique, comportándose como sólido elástico. Sin embargo, la fase líquida continua, donde las moléculas gozan de total movilidad, confiere al gel una rigidez menor que la de un sólido ordinario como un líquido viscoso (Fennema, 2017).

De acuerdo con sus interacciones se clasifican en dos tipos: gel físico y gel químico (Kavanagh, G. y Ross-Murphy, S. 1998 en Venugopal, 2011).

- Gel físico: Está formado por interacciones débiles como puentes de hidrógeno e interacciones hidrofóbicas y enlaces iónicos (Figura 8). Generalmente tienen un carácter termorreversible (Venugopal, 2011).

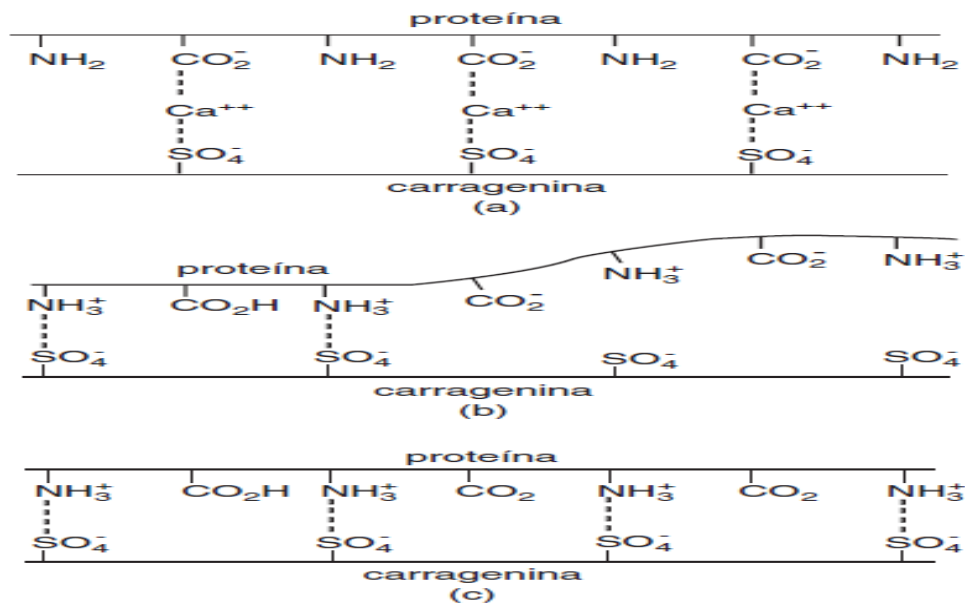


Figura 8. Gel físico. Reactividad de la carragenina con las proteínas: (a) por encima del punto isoeléctrico; (b) en el punto isoeléctrico, y (c) por debajo del punto isoeléctrico. Fuente: Badui, 2006.

- Gel químico: Se estabiliza por enlaces covalentes que al romperse provocan la degradación del gel (Figura 9). Generalmente tienen un carácter termoirreversible (Kavanagh, G. Y Ross-Murphy, S. 1998, Morris, V. 1998 en Venugopal, 2011).

- Termoirreversible. Los termoplásticos o geles termoirreversibles presentan enlaces covalentes e interacciones hidrofóbicas, en el caso de los geles de proteína también se forman enlaces disulfuro, por ejemplo, las proteínas ovoalbúmina, β -lactoglobulinas y proteínas de suero no regresan al estado sol al calentarse (Badui, 2006; Belitz, 2008).

Los procesos de gelificación, es decir el entrecruzamiento de diferentes cadenas de polímeros pueden ser mediante tres mecanismos diferentes: la gelificación ionotrópica, la gelificación en frío y la gelificación en caliente (Msagati, 2013).

- La gelificación ionotrópica se da mediante el entrecruzamiento de las cadenas del hidrocoloide con iones, siendo un proceso de gelificación mediado por cationes y generalmente asociado a polisacáridos cargados negativamente (Figura 11). Por ejemplo, alginatos, carragenanos y pectinas de bajo metoxilo se caracterizan por responder a este mecanismo.

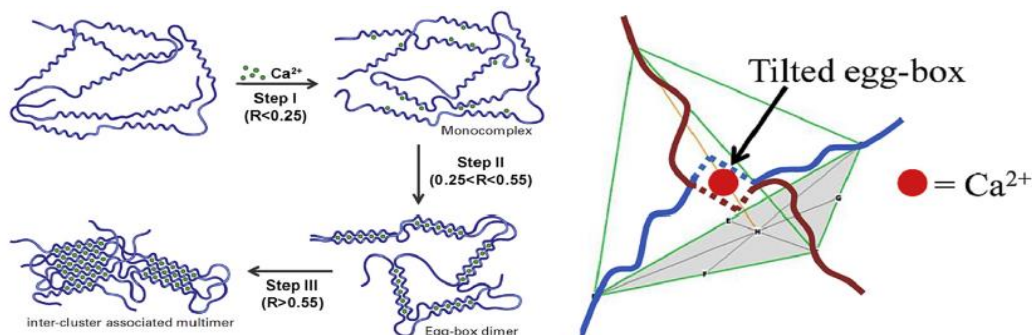


Figura 11. Mecanismo de gelificación ionotrópica de alginatos. Fuente: Borgogna et al, 2013 en Gao, et al. 2017

- La gelificación en frío se forma a partir de una disolución de hidrocoloide a elevada temperatura, y es sometida a un proceso de enfriamiento progresivo en el que se forma una red tridimensional de hélices intercatenarias estabilizadas entálpicamente (Figura 12). Ejemplos de este mecanismo es la gelificación de la grenetina, el gelano y el agar-agar.

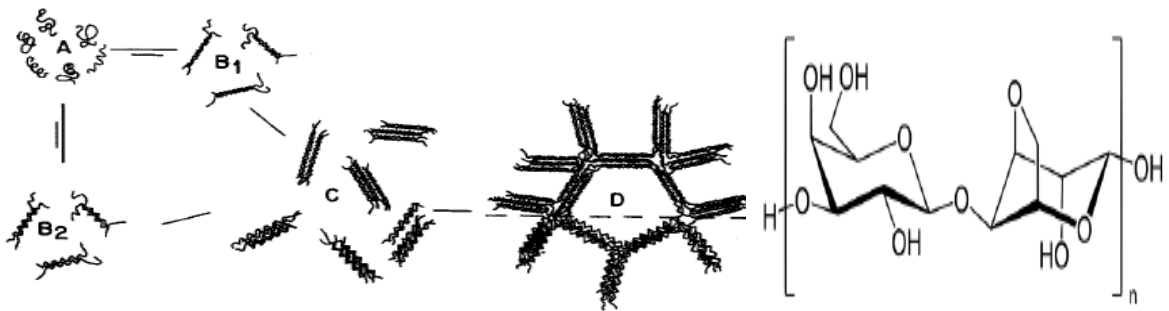


Figura 12. Gelificación en frío. Gelificación de la agarosa. Fuente: Medin, 1995

- Gelificación en caliente o los llamados geles de fraguado o endurecimiento térmico (Figura 13). Requieren la aplicación de calor para permitir el despliegue o la expansión de las estructuras nativas como la metilcelulosa, etilcelulosa, hidroxipropilcelulosa, curdlan y el almidón para posteriormente tener un reordenamiento específico conformando una red característica.

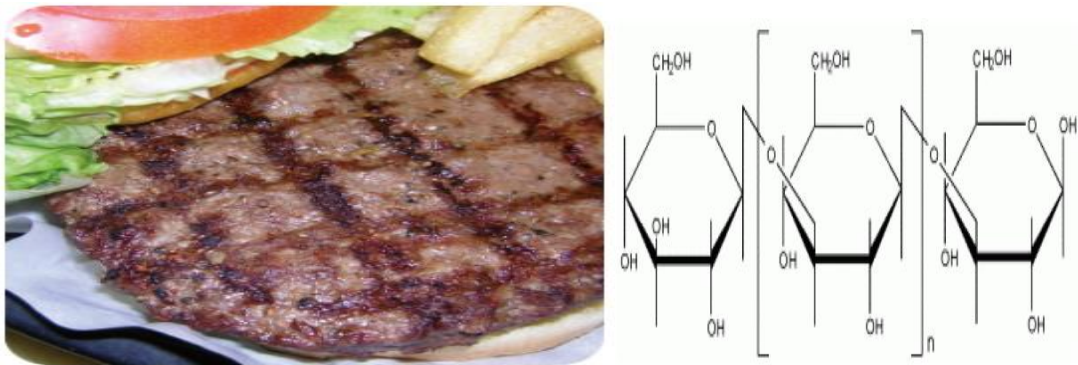


Figura 13. Gelificación en caliente. Carne para hamburguesa con curdlan. Fuente: Organo Food Tech Corporation.

Las texturas de los geles varían ampliamente desde aquellos que resultan elásticos como los de grenetina hasta los duros y quebradizos como los del agar (Figura 14). Estos últimos se caracterizan por su capacidad de contraerse y experimentar sinéresis, propiedad que resulta indeseable y que se puede evitar mediante el empleo de otros hidrocoloides (Mateos, 2017).

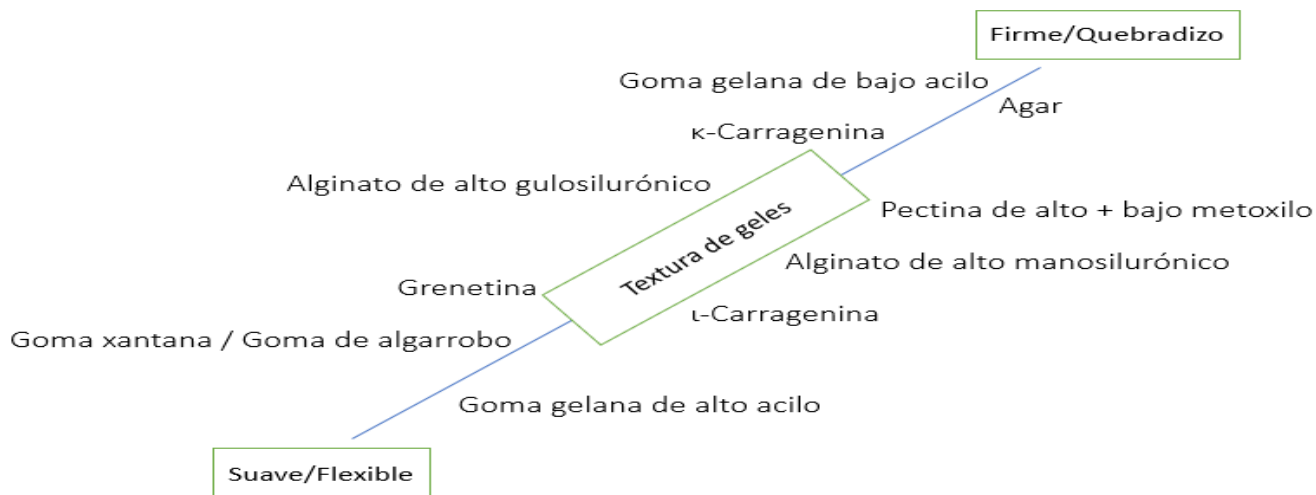


Figura 14. Comparación de la textura de los geles de diferentes hidrocoloides. Fuente: Phillips y Williams, 2009.

3.3 Fibra dietética

La NOM-043-SSA2-2012 Servicios básicos de salud. Promoción y educación para la salud en materia alimentaria. Criterios para brindar orientación, define como fibra dietética a la parte comestible de las plantas o hidratos de carbono análogos que son resistentes a la digestión y la absorción en el intestino humano y que sufren una fermentación total o parcial en el intestino grueso. La fibra dietética incluye polisacáridos, oligosacáridos, lignina y otras sustancias asociadas con las plantas (Secretaría de Salud, DOF 22 de enero de 2013). Se clasifica de acuerdo con su solubilidad en agua como fibra soluble (pectinas, gomas, mucílagos, ciertas hemicelulosas, polisacáridos de algas) e insoluble (celulosa y lignocelulosa).

La FAO en su cuadernillo de Necesidades Nutricionales recomienda consumir de 25 a 30 g diarios de fibra para jóvenes y adultos.

3.3.1 Beneficios de los hidrocoloides como fibra dietética

Algunos beneficios de los hidrocoloides como fibra dietética soluble son: dan la sensación de saciedad por más tiempo, ayudan a disminuir el estreñimiento debido a que retienen agua y por consiguiente incrementan el volumen y peso de

la materia fecal acelerando el tránsito intestinal. Algunos pueden ser prebióticos al promover la proliferación de bacterias benéficas en el intestino grueso como *Bifidobacterium sp.* y *Lactobacillus sp.* que al fermentarlos generan ácidos grasos de cadena corta (ácido acético, propiónico y butírico) que pueden ser absorbidos por el intestino grueso teniendo beneficios como prevenir el cáncer de colon (Necesidades Nutricionales, FAO; Fennema, 2017).

3.4 Curdlan

3.4.1 Origen

Fue descubierto por Tokuya Harada y sus colaboradores en 1966, quienes encontraron que tenía la capacidad de gelificar y la inusual propiedad de formar dos tipos de geles, termorreversible y termoirreversible dependiendo de la temperatura de calentamiento de sus disoluciones acuosas. El nombre se debe a la palabra en inglés “curdle” que describe su comportamiento de gelificar a altas temperaturas (Nishinari, 2009; Nussinovitch, 2014).

Como se mencionó anteriormente en el capítulo 3.1.3 Clasificación de los aditivos alimentarios, una fuente de obtención son los microorganismos y algunos de estos producen exopolisacáridos (EPS) que son polisacáridos que los excretan al medio como una adaptación evolutiva para anclarse a la superficie, como factores de reserva energética o patogenicidad y para protegerse contra factores externos como temperatura, antibióticos y deshidratación, encontrándose como parte de la pared celular. Algunos ejemplos de EPS que se usan en los alimentos son la goma xantana, la goma gelana, el pululan, el levan y el dextrano (Wustenberg 2014).

Los EPS son clasificados como homopolisacáridos y heteropolisacáridos. Los primeros consisten en un tipo de monosacárido unido entre sí por cadenas lineales como el curdlan, el pululan, el levan, la celulosa de bacteria, o puede tener cadenas ramificadas como el producido por *Leuconostoc sp.* llamado dextrano. Mientras que los heteropolisacáridos consisten en dos o más tipos de

monosacáridos que se repiten como oligosacáridos, por ejemplo, el producido por *Xantomonas sp.* llamado goma de xantana o el de *Shigomonas sp.* llamado gelana o gellano (Kishan, 2015).

El curdlan es un homopolisacárido obtenido a partir de una cepa mutante no patógena ni toxígena de *Agrobacterium biovar 1* antes llamada *Alcaligenes faecalis var. Myxogenes 10C3*. La bacteria es Gram negativa, mesófila aerobia y alcalotolerante, perteneciente a la Familia *Rhizobiaceae*, Género *Agrobacterium* y Especie Biovar 1.

Se tiene registro que algunos hongos y otras bacterias como *Bacillus cereus* y *Cellulomonas flavigena* (Kenyon y Buller, 2002) también lo producen, pero al ser la bacteria *Alcaligenes faecalis* la primera fuente y la más desarrollada para la obtención de curdlan la información se enfocará en ésta.

En la Figura 15, se muestra los cambios que sufrió la bacteria hasta llegar a las cepas que se utilizan actualmente para la producción industrial de curdlan.

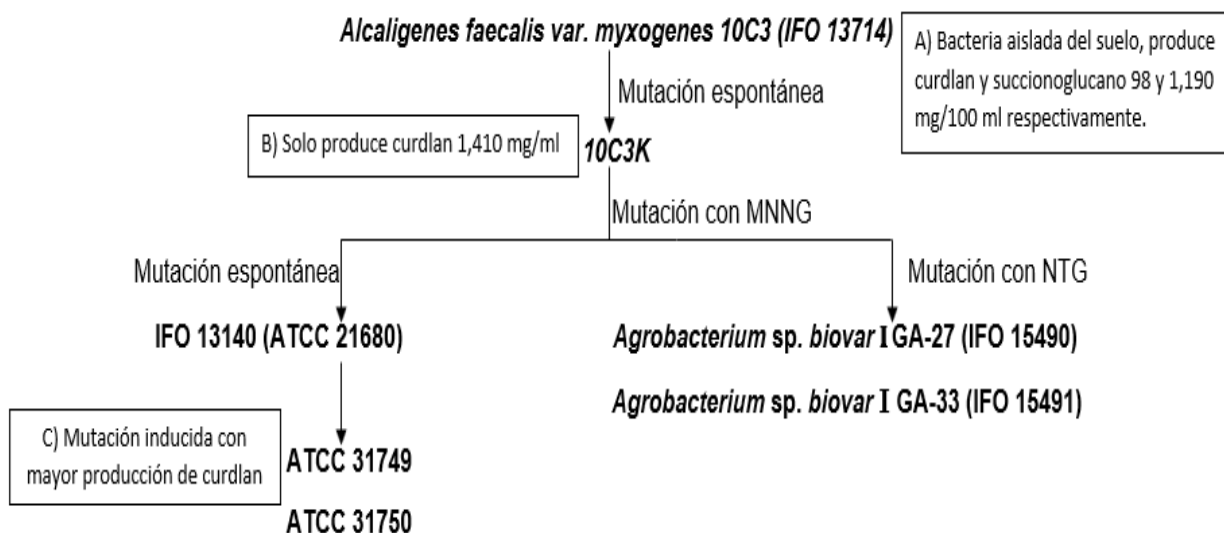


Figura 15. Resumen de la obtención de las cepas productoras de curdlan. Fuente: In-Young, 2005.

En 1966 el profesor Harada y sus colaboradores trabajaban en la identificación de organismos capaces de utilizar materiales provenientes del petróleo y aislaron la bacteria *Alcaligenes faecalis* var. *Myxogenes* 10C3 del suelo.

A) Este microorganismo era capaz de crecer en un medio que contenía el 10% de etilenglicol como única fuente de carbono y producía un β -(1,3)-glucano que contenía cerca del 10% de ácido succínico, el cual fue nombrado succinoglucano y era soluble en agua, al mismo tiempo producía un β -(1,3)-glucano neutro que no contenía ácido succínico llamado curdlan y que era insoluble en agua.

B) Esta bacteria sufrió una mutación espontánea la cual consistía en producir solo curdlan y se le nombró la cepa 10C3K.

C) La compañía Takeda Chemical Industries utilizó N-metil-N-nitro-N-nitrosoguanidina (MNNG) para inducir una mutación de la cepa 10C3K lo cual logró, aisló y fue catalogada como ATCC 21680, luego Phillips y Lawford en 1983 aisló una mutante de esta última en condiciones limitantes de nitrógeno y fue llamada ATCC 31749, por último, se aisló una mutante de ATCC 31749 y fue catalogada como ATCC 31750. A la par la compañía Takeda Chemical Industries obtuvo otras cepas mutantes de la cepa 10C3K (In-Young, 2005).

3.4.2 Proceso de obtención

La obtención del curdlan se lleva a cabo mediante la fermentación sumergida, proceso generalmente utilizado para la obtención de EPS, y que en el caso de este hidrocoloide se realiza en dos pasos bajo distintas condiciones. En la Figura 16 se muestra el diagrama general para su obtención.

La fuente de carbono puede ser diversa como sacarosa, glucosa, maltosa o aprovechar residuos como la melaza proveniente de la obtención de bioetanol (Zhang et al., 2018). La fuente de nitrógeno también puede ser variada como NH_4Cl , NaNO_3 , urea o extracto de levadura.

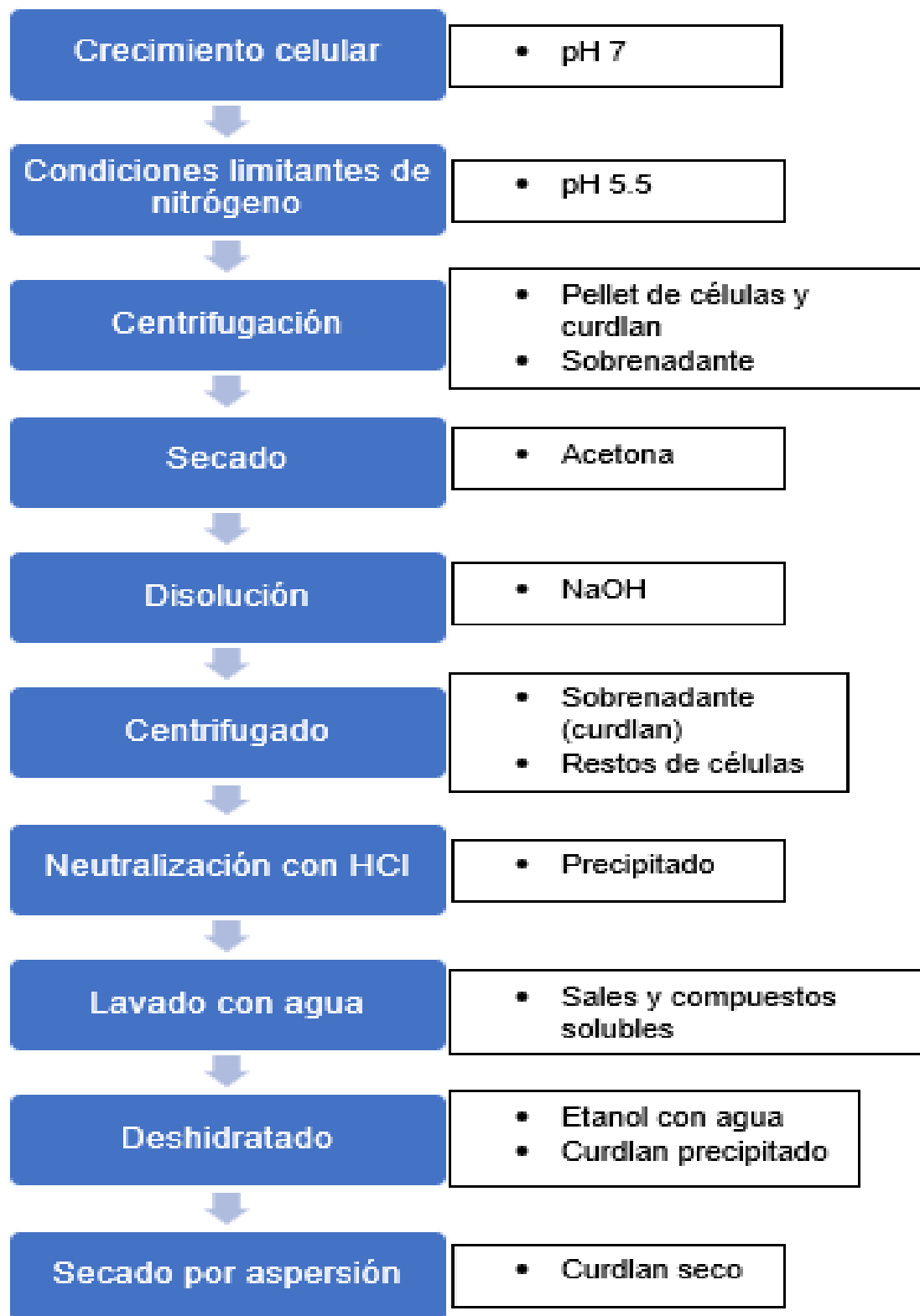


Figura 16. Diagrama para la obtención de curdian. Fuentes: Harada et al., 1966; Nishinari, 2009.

El primer paso es el crecimiento celular, en el cual se suspenden las bacterias en un medio de cultivo a pH 7 y se oxigena continuamente debido a que la cantidad de oxígeno es de suma importancia ya que son bacterias aerobias y se ha buscado la mejor forma de airear el medio, aunado a que el curdlan es impermeable al oxígeno (en el segundo paso) lo que limita su entrada a la célula. La concentración de fosfato es importante solo en la fase de crecimiento celular con valores de 0.1–0.5 g/L (Harada et al., 1966; Nishinari, 2009).

Bajo condiciones limitantes de nitrógeno se llega al segundo paso que, en sí, corresponde a la producción de curdlan y es a pH de 5.5. Posteriormente se centrifuga para obtener el sedimento de células y curdlan precipitado y el sobrenadante. Este sedimento se seca con acetona y se agrega hidróxido de sodio para solubilizar el polímero para posteriormente centrifugar nuevamente para separar el sobrenadante (curdlan) y las células (sedimento). El sobrenadante se neutraliza con ácido clorhídrico haciendo que el polímero precipite (debido a que el curdlan es insoluble a condiciones de pH ácido) para un segundo paso de centrifugación. Posteriormente, se lava con agua eliminando sales y otras sustancias solubles, y se adiciona etanol para precipitarlo y secarlo parcialmente y por último es secado por aspersion (Harada et al., 1966; Nishinari, 2009).

Se ha reportado que utilizando el residuo de la obtención del bioetanol se obtiene un rendimiento de 7.72 g/L en 120 h utilizando la cepa *Agrobacterium* ATCC 31749. (West y Nemmers, 2008 en Özcan, 2015).

3.4.3 Definición y composición química

El curdlan es un homopolisacárido lineal de glucosas unidas exclusivamente por enlaces glucosídicos β -(1,3) con una fórmula general $(C_6H_{10}O_5)_n$ (Figura 17).

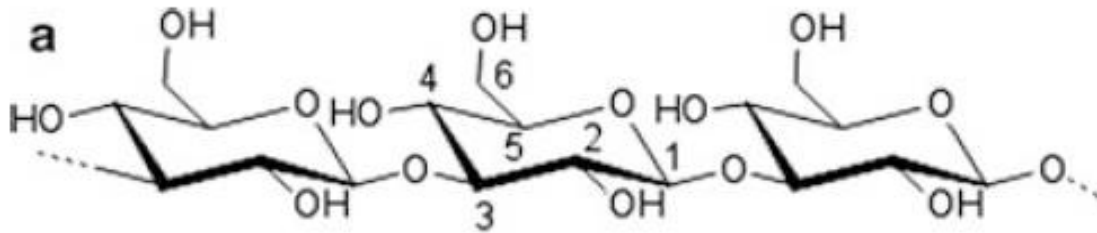


Figura 17. Representación esquemática de la composición del curdlan. Fuentes: Nishinari, 2009; Navard, 2012.

El grado de polimerización DP (por sus siglas en inglés) se define como la cantidad de monómeros en un polisacárido (Fennema, 2017), el DP promedio en el curdlan es de 450. El tamaño promedio del peso molecular se encuentra desde 3×10^1 a 2×10^3 kDa (Nakata et al. 1998).

A pesar de las investigaciones a través de los años y las diferentes técnicas evaluadas aún no se obtiene un modelo que satisfaga del todo a los investigadores sobre la forma del curdlan. Esto es porque hay varios factores de los que depende, por ejemplo, el disolvente y método de dispersión, la concentración y la temperatura de tratamiento (Nishinari, 2009). A continuación, se describen algunas de las propuestas sobre la conformación del curdlan a través de los años.

En general, los investigadores concuerdan en que la estructura es helicoidal, ya sea hélices simples o triples que se estabilizan por puentes de hidrógeno e interacciones hidrofóbicas entre las cadenas. En lo que difieren es en la proporción de éstas dependiendo del estado; anhidro (disuelto y posteriormente secado a vacío), hidratado (suspendido sin calentamiento), gel de bajo y de alto fraguado.

Marchessault et al., en 1983 determinó la estructura molecular y cristalina del curdlan en su forma anhidra por difracción de rayos X y propuso que está compuesto por hélices de triple cadena paralelas en las que los hidroxilos del carbono dos interaccionan por enlaces de hidrógeno formando un hexágono

(Nishinari, 2009) y en el 2004 el equipo de Miyoshi realizaron un modelo con estas características que se puede ver en la Figura 18.

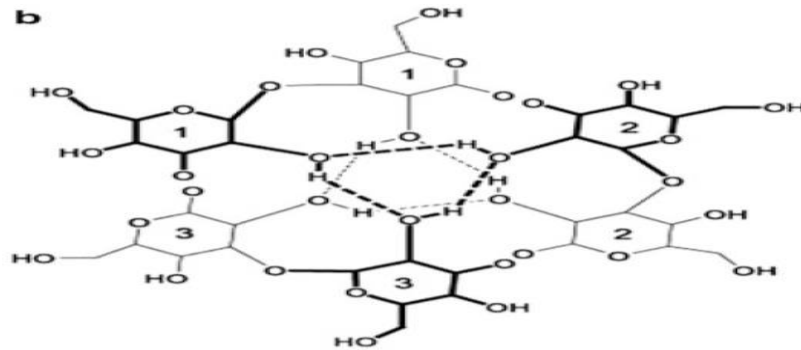


Figura 18. Visión transversal de las cadenas de curdlan. Los anillos de glucosa con el mismo número indican que provienen de la misma cadena. Los anillos que se muestran con color negro más intenso están por encima de los más tenues. Las líneas punteadas indican los enlaces de hidrógeno. Fuente: Miyoshi et al., 2004.

Stipanovic y Giammatteo en 1989 demostraron por Resonancia Magnética Nuclear del carbono 13 (^{13}C RMN) que tres conformaciones de curdlan, anhidro, hidratado e hinchado difieren en el grado de hidratación y de entrecruzamiento. En el estado anhidro e hidratado adoptan una conformación de seis triples hélices, mientras que en el estado hinchado adopta una forma de siete triples hélices. En el gel formado a 60 °C se tiene una forma similar al estado hinchado y para el gel formado de 95 a 120 °C se adopta las triples hélices séxtuples.

En 1990 Saito et al., difirió en las conformaciones proponiendo que en el gel de bajo fraguado existen hélices simples que se estabilizan por interacciones hidrofóbicas mientras que en el de alto fraguado se forman triples hélices. Harada et al., 1993 concordó que en el gel de bajo fraguado se encuentran cadenas simples y que a medida que sube la temperatura se forman más cadenas triples, agregó que en el gel de bajo fraguado la micela está formada por 7 cadenas simples unidas entre sí por puentes de hidrógeno con el agua y que también se encuentran triples cadenas hidratadas, mientras que en el de alto fraguado se compone de 6 hélices de triple cadena en la que las interacciones hidrofóbicas predominan (Nishinari 1993, Nishinari, 2009).

Como el medio universal en alimentos es el agua se expondrá la información más actual que se tiene en cuanto a la estructura en este disolvente. En la Figura 19 se muestra los cambios que se generan en la estructura del curdlan en agua a diferentes temperaturas.

A) De 25 a 50 °C las hélices de triple cadena que conforman a la microfibrilla se hidratan e hinchan separándose un poco unas de otras.

B) De 60 a 70 °C algunas cadenas que conforman las hélices se separan parcialmente y otras en menor cantidad totalmente.

C) Finalmente, de 80 a 90°C las cadenas que conforman a la hélice se separan totalmente unas de otras quedando cadenas simples

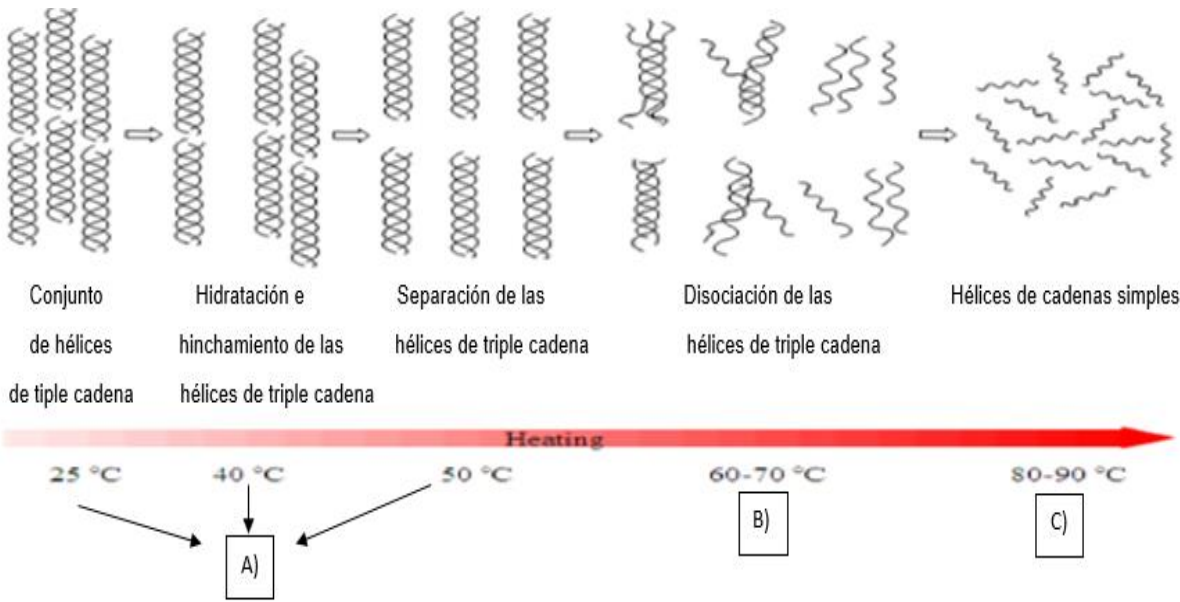


Figura 19. Representación esquemática de los cambios en agua de la estructura del curdlan a diferentes temperaturas. Fuente: Xiao et al., 2017.

3.4.4 Estabilidad

Como se ha mencionado, el curdlan tiene la propiedad inusual de formar dos tipos de geles, termorreversible y termoirreversible, dependiendo de la temperatura de calentamiento. En 1993 Konno et al., midieron la fuerza de los geles formados a diferentes temperaturas y sus porcentajes de sinéresis. Prepararon una disolución al 3% m/v de curdlan en agua, luego la calentaron a sus respectivas temperaturas por 20 min y midieron a 30 °C la fuerza del gel formado (Nishinari, 1993). Los resultados que obtuvieron se presentan en la Tabla 1.

Temperatura de calentamiento (°C)	Fuerza del gel (g cm ⁻²)	Sinéresis (%)
55	310	2
60	530	4
70	540	8
80	630	10
100	940	16
120	1100	18
145	1200	20
160	1800	29
170	2200	34

Tabla 1. Fuerza de los geles y sinéresis a diferente temperatura. Fuente: Konno et al., 1993 en Nishinari, 1993.

Un gel termorreversible se forma al calentar la disolución en el rango de 55 °C a 79 °C y posteriormente enfriando. Mientras que un gel termoirreversible se forma a temperaturas mayores de 80 °C. Este último es más fuerte y resistente que el formado a 55 °C y el gel neutralizado, no rompiéndose cuando se congela y se descongela, también siendo resistente a las enzimas y a la hidrólisis ácida (Kanzawa et al., 1989).

En la Tabla 2 se muestran los datos obtenidos del estudio más amplio hecho por Harada et al., en 1993, en ésta se puede observar que la fuerza del gel aumenta a mayor temperatura y concentración del hidrocóide, así mismo al congelar y descongelar también aumenta la fuerza del gel y sinéresis, pero un día después del almacenamiento a 30 °C, ambas disminuyen aproximándose al gel sin congelar.

		Con tratamiento térmico		Después de congelar y descongelar		Después de 1 día a 30°C	
Temperatura y tiempo	Concentración de curdlan (%)	Fuerza del gel (g/cm ²)	Sinéresis (%)	Fuerza del gel (g/cm ²)	Sinéresis (%)	Fuerza del gel (g/cm ²)	Sinéresis (%)
60°C/30 min	1	-	-	-	-	-	-
	2	130	5.2	100	53	140	18
	3	250	4.4	255	33	250	15
	4	370	4.1	440	28	450	11
	5	470	3.4	550	17	490	8
	6	480	3.1	700	14	640	6
85°C/ 30 min	1	74	8.1	88	50	130	39
	2	200	6.8	340	29	350	14
	3	530	6.0	630	19	590	10
	4	750	5.3	770	15	690	8.1
	5	980	3.2	1700	13	1000	7.4
	6	1300	2.5	1700	8	1300	6.0
95°C/ 30 min	1	270	12.2	240	51	270	24
	2	750	10.9	750	41	780	20
	3	1200	9.3	1500	36	1400	17
	4	1800	8.2	2400	30	2200	15
	5	2200	7.2	2700	24	2600	11
	6	2500	6.6	3800	22	3000	8
120°C/ 30 min	1	190	60	290	40	180	24
	2	480	49	550	37	500	8.9
	3	800	33	1450	26	1300	6.9
	4	2000	26	3000	25	2000	6.0
	5	2500	23	3900	23	2700	5.7
	6	2700	16	4900	21	3300	4.9

Tabla 2. Características de los geles a diferentes condiciones. Fuente: Harada, 1993.

Se sabe que el curdlan es soluble en disoluciones alcalinas, esto se atribuye al rompimiento de los enlaces de hidrógeno inter e intramoleculares que forman dominios cristalinos similares a las de la celulosa (Kanzawa et al., 1989; Nishinari, 2009). También se sabe que se puede formar un gel neutralizando estas disoluciones alcalinas con dióxido de carbono en estado estacionario, con ácidos o por diálisis.

Las características del gel formado sin tratamiento térmico a partir de disoluciones de curdlan a diferentes concentraciones, disueltas en 0.05 N de hidróxido de sodio, posteriormente neutralizadas con dióxido de carbono por 6 h y medidos a 32 °C se muestra en la Tabla 3.

Concentración de curdlan (%)	Fuerza del gel (g/cm ²)	Sinéresis (%)	Después de congelar y descongelar	
			Fuerza del gel (g/cm ²)	Sinéresis (%)
1	220	2	0	100
2	460	2	170	42
3	620	2	430	36
4	870	2	720	24
5	920	2	780	18

Tabla 3. Geles neutralizados. Fuente: Kanzawa et al, 1987.

Los geles formados por neutralización son más débiles y con menor sinéresis que los no neutralizados, perdiendo fuerza al congelar y descongelar aumentando también su porcentaje de sinéresis. Así mismo no se pueden mover cuando se están neutralizando porque se rompen.

Los geles formados a partir de una disolución de curdlan al 4% en 0.05 N de hidróxido de sodio, neutralizado con dióxido de carbono por 6 h y sometido a diferentes temperaturas se presenta en la Tabla 4.

Condiciones del tratamiento térmico	Fuerza del gel (g/cm ²)	Sinéresis (%)	Después de congelar y descongelar	
			Fuerza del gel (g/cm ²)	Sinéresis (%)
Ninguno	870	2	720	24
60°C/ 10 min	880	7	890	14
95°C/ 10 min	1800	9	1900	22
120°C/ 10 min	4500	30	4600	40

Tabla 4. Gel neutralizado de curdlan al 4% y tratado a diferentes temperaturas. Fuente: Kanzawa et al 1987.

Estos geles conservan la propiedad de ser termorreversibles a temperaturas menores de 80 °C y termoirreversibles a más de 80°C. La fuerza del gel aumenta a mayor temperatura y permanece prácticamente constante después de un ciclo de congelación/descongelación. En cambio, el porcentaje de sinéresis aumenta después del ciclo de congelación/descongelación, principalmente en geles formados a temperaturas menores de 95 °C.

Los geles neutralizados, secados y pulverizados pueden formar un gel al ser rehidratados y sometidos a tratamiento térmico y reciben el nombre de geles regenerados. En la Tabla 5 se muestra las propiedades de geles obtenidos con diferentes concentraciones de curdlan en 0.05 N de hidróxido de sodio, posteriormente prensados 1 cm (0.1 kg/cm²) por 24 horas para remover el agua y secados a vacío con una humedad final entre 6 y 7 % y triturados.

Condiciones del tratamiento térmico	Concentración de curdlan (%)	Fuerza del gel (g/cm ²)	Sinéresis (%)	Gel original ¹	
				Fuerza del gel (g/cm ²)	Sinéresis (%)
60°C/ 10 min	3	280	4	250	4.4
	4	390	4	370	4.1
95°C/ 10 min	2	710	12	750	12.2
	3	1300	11	1200	9.3
	4	1800	7	1800	8.2
120°C/ 10 min	3	3800	28		
	4	4300	35		

Tabla 5. Geles regenerados y tratados a diferentes temperaturas. Fuente: Kanzawa et al. 1987.

Como se observa, la fuerza de los geles y su sinéresis son muy similares a los geles de las suspensiones de curdlan tratadas térmicamente en la Tabla 2, teniendo como diferencia que los geles obtenidos a partir de dispersiones de curdlan y tratados térmicamente que luego fueron prensados, secados a vacío y triturados no fueron capaces de volver a formar un gel en agua sin importar la temperatura (Kanzawa et al., 1987). Los geles regenerados podrían tener una aplicación en alimentos como purés, gelatinas y flan en polvo, pero no es factible su producción debido a la metodología para obtenerlos.

3.4.5 Propiedades fisicoquímicas

Comercialmente es un polvo blanco, insípido e inodoro con número CAS 54724-00-4, número SIN 424 y número FDA 21CFR172.809. Es insoluble en etanol y en agua a temperatura ambiente, pero sí en agua a temperatura mayor de 54°C, en disoluciones acuosas alcalinas y en dimetilsulfóxido (DMSO). Es capaz de absorber desde el 30 a 100% de agua, es decir que por cada gramo absorbe 100 g de agua (Zhang, 2014).

La Figura 20 muestra el gel de curdlan al 2% prácticamente estable dentro de un intervalo de pH de 3 a 10.

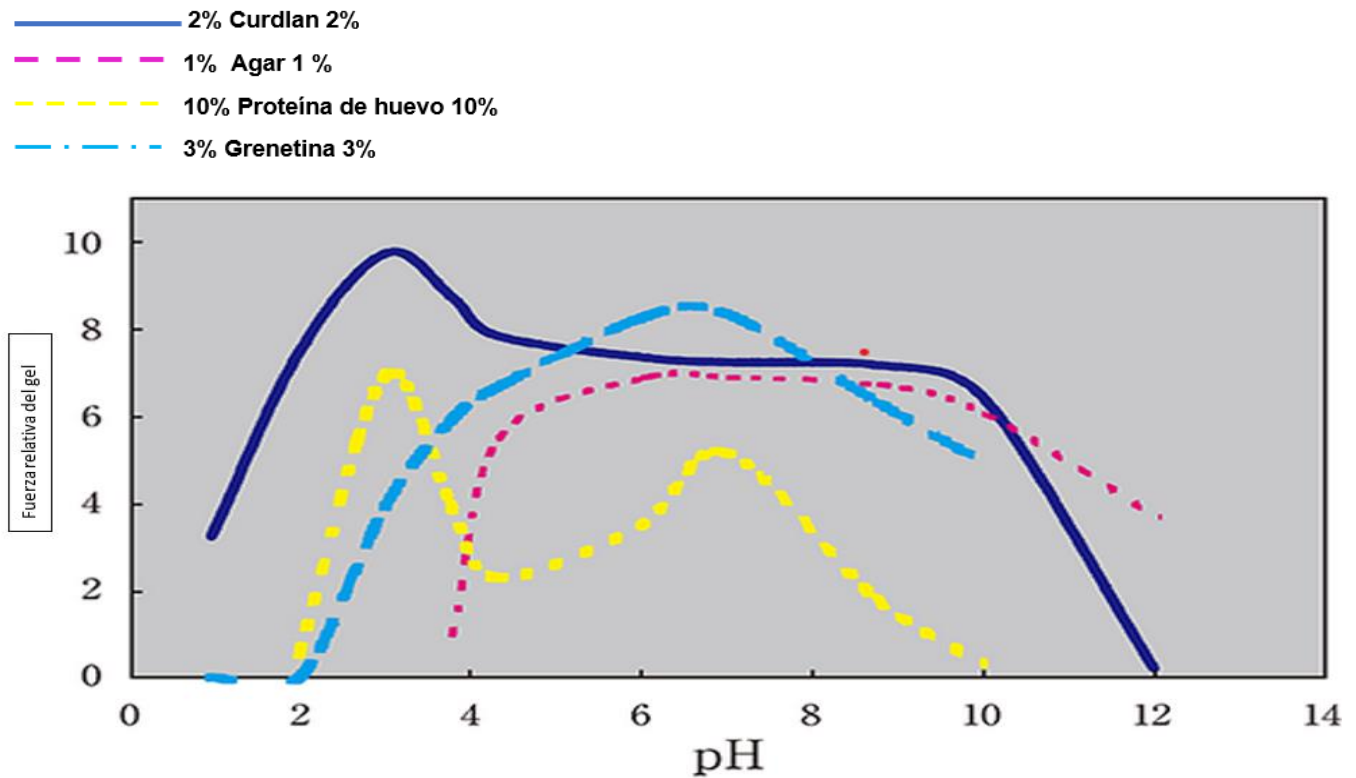


Figura 20. Comparación relativa de fuerza de geles de diferentes hidrocoloides a diferente pH. Fuente Organo Food Tech Corporation.

En la Figura 21 se observa que la fuerza del gel de curdlan aumenta al congelar y descongelar así también el porcentaje de sinéresis, pero se ha reportado que los taninos, la sacarosa y el almidón son capaces de reducir la sinéresis de un gel de curdlan al 4% después de congelado y descongelado reduciéndola de 20.6% a 2.1% por la adición de 5% de almidón de maíz y al 8.9% por la adición de 20% de sacarosa (Venugopal, 2011).

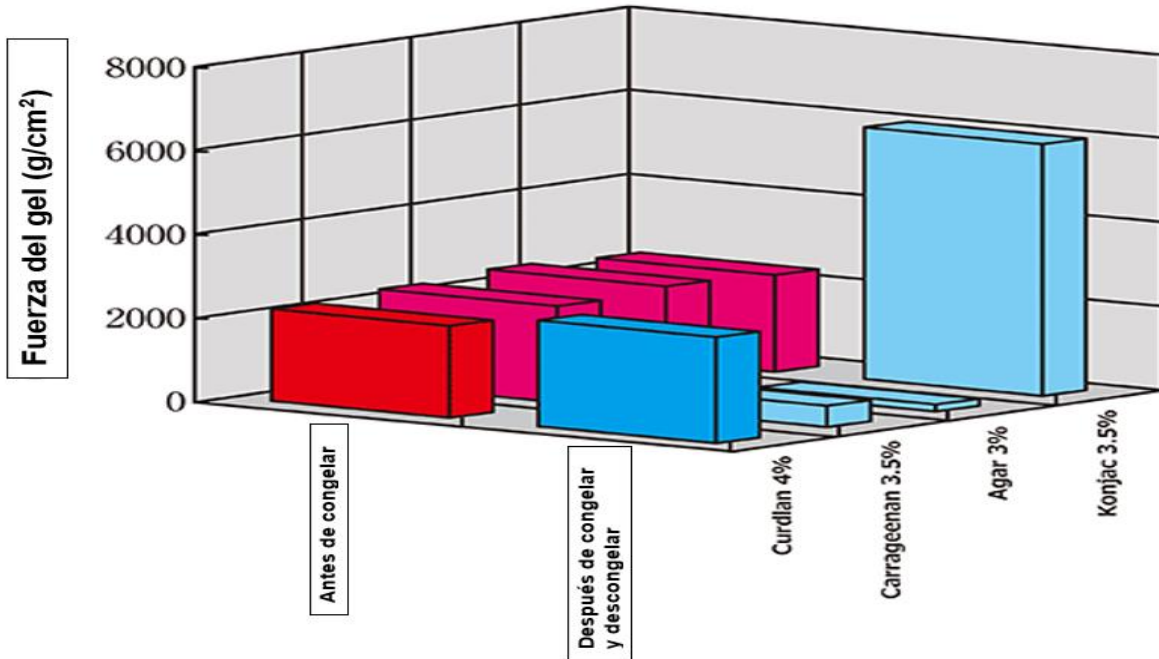


Figura 21. Fuerza del gel de diferentes hidrocoloides antes y después de congelamiento y descongelamiento. Tomado de Organo Food Tech Corporation.

3.4.6 Aplicaciones en la industria alimentaria

Debido a las propiedades fisicoquímicas antes mencionadas se ha utilizado por décadas en varias categorías de alimentos en Japón, China y Taiwán, siendo aprobado por la FDA en 1997. Sus principales funciones son como agente gelificante, mejorador de textura, agente espesante, para aumentar la capacidad de retención de agua y la estabilidad térmica de alimentos y como fibra dietética. Estas aplicaciones se muestran en la Tabla 6.

Aplicación	Función	Nivel de uso (%)
Fideos	Modificador de la textura	0.2-1
Kamaboko (pasta de pescado hervida)	Modificador de la textura	0.2-1
Salchichas, jamones	Modificador de la textura, agente de retención de agua	0.2-1
Alimentos procesados cocidos	Agente ligante, aumenta la retención de agua y el rendimiento del producto	0.2-2
Pastel de arroz procesado	Estabilizador de las características físicas	4-6
Pasteles	Retención de humedad	0.1-0.3
Helados	Estabilizador de las características físicas	0.1-0.3
Jaleas	Agente gelificante (estable al calentamiento y al congelamiento-descongelamiento)	1.5
Alimentos procesados	Agente gelificante (estable al calentamiento y al congelamiento-descongelamiento)	1-5
-Tofu en forma de fideos		
-Tofu procesado (congelado, esterilizado, liofilizado)		
-Alimentos con delgadas capas de gel (congelados)		
-Alimentos con un gel similar al de Konjac (congelados)		
-Queso resistente al calor		
Películas comestibles	Formación de la película	1-10
Alimentos dietéticos	Ingrediente de bajo contenido energético	30-100

Tabla 6. Aplicaciones del curdlan en alimentos. Tomado de Nishinari y Doi, 1993.

Otros ejemplos son las patentes japonesas como, la cuajada de soya (tofu), la pasta de frijol dulce y la pasta de pescado hervida llamada Kamaboko. En fideos redujo la lixiviación de los ingredientes solubles y el ablandamiento de los fideos dando como resultado una sopa de fideos clara, además las salchichas, jaleas y mermeladas comercializadas en Japón utilizan al curdlan como aditivo (Venugopal, 2011). En el proceso de producción puede ser agregado a los alimentos antes del calentamiento, ya sea como polvo o como suspensión en agua.

La Figura 22 muestra un tofu liofilizado que contiene curdlan, este puede ser esterilizable, congelable y liofilizado, manteniendo la textura suave incluso después de haber sido descongelado mientras que el tofu sin curdlan tienen una textura áspera.

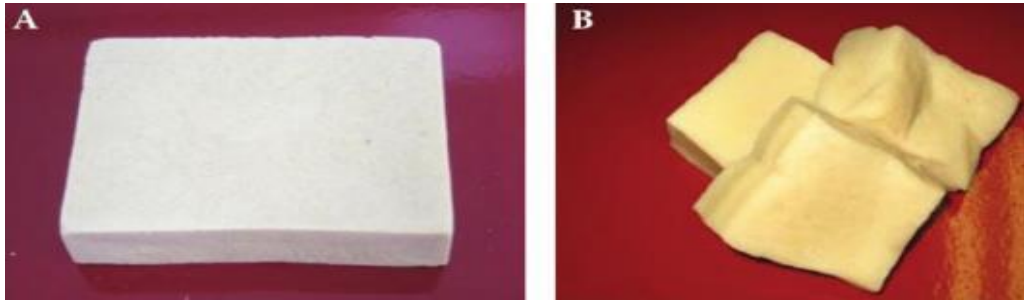


Figura 22. Tofu liofilizado; (A) Tofu con curdlan, (B) tofu sin curdlan. Fuente: Nussinovitch, 2014.

En 1998, Funami et al., estudiaron los efectos de la adición de curdlan en productos cárnicos y encontraron que puede modificar la textura y aumentar la capacidad de retención de agua en salchichas, jamones y hamburguesas haciéndolos más jugosas, así como brindar más elasticidad en el surimi. También ha sido aceptado como un efectivo ingrediente para mimetizar la grasa y reemplazarla en salchichas utilizando su propiedad de gelificación ya que puede incorporar aceite vegetal logrando una reducción de grasa del 40% y una reducción del 30% en energía (Nishinari, 2009).

En confitería, se puede usar en productos como jaleas, mermeladas, flanes y dulces fungiendo como agente texturizante, permitiendo reemplazar a la gnetina y agar en estos productos debido a que los geles pueden incorporar altas concentraciones de jarabe de sacarosa y es estable a la sinéresis. Otra aplicación fue en donas, a concentraciones de 0.5% p/p de curdlan, previnieron la absorción de aceites y la pérdida de humedad en donas freídas siendo más efectivo que la metilcelulosa (Venugopal, 2011). Esto se relaciona con la gelación térmica del curdlan durante la fritura que puede funcionar probablemente como una barrera de aceite y humedad (Nishinari, 2009).

Debido a que es estable a condiciones extremas, ha sido usado en productos que requieren resistencia al congelamiento y descongelamiento o a la esterilización comercial y horneado, por ejemplo, en la Figura 23 muestra su uso en chocolates para aumentar la resistencia al calor y mantener su forma.

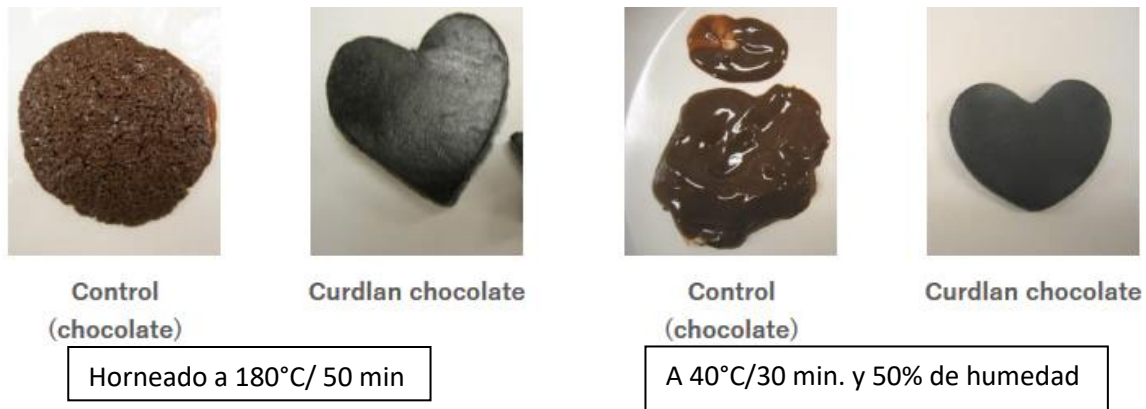


Figura 23. Comparación de chocolate con curdlan y sin curdlan bajo diferentes condiciones ambientales. Tomado de Organo Food Tech Corporation.

Se puede preparar una gelatina agregando agua caliente al polvo y dejando que se enfríe. También se puede preparar gelatinas coloreadas y saborizadas formando dobles capas utilizando las condiciones de calentamiento, donde el centro permanezca como líquido espeso que al morderse fluya y la superficie sea sólida pero flexible. Esto se lograría al calentar una dispersión de curdlan en un molde de metal a una temperatura de 60 a 120 °C por 5 a 300 s seguido de enfriamiento (Harada et al., 1993). Pudiéndose almacenar no solo en refrigeración sino también en congelación. Propiamente en esta aplicación el curdlan sería un ingrediente en vez de un aditivo.

Otras aplicaciones en alimentos

Tako y Hanashiro en 1997 informaron que las disoluciones de curdlan a 38 °C mostraron un comportamiento de flujo newtoniano al 0.1% pero su comportamiento se modifica a fluidificante por cizalla al duplicar la concentración del hidrocoloide. Este comportamiento de flujo sería útil para alimentos líquidos como aderezos para ensaladas y en productos para untar como espesante y estabilizante (Nishinari, 2009).

Desde el 2012, se ha estudiado como biopolímero en la producción de películas comestibles que ayuden a preservar los alimentos. Se ha mezclado con

glucomanano de Konjac, con quitosano y carboximetilcelulosa. Las películas obtenidas resultaron buena barrera contra la humedad y oxígeno, pero aún se está investigando para mejorar las propiedades fisicoquímicas de la película, como transparencia, resistencia a la punción, las condiciones de pH y temperatura para realizar las mezclas, la proporción y otros candidatos (Wu et al., 2012; Wustenberg T., 2014; Pang et al., 2019).

3.4.7 Uso como fibra dietética

El curdlan no es hidrolizable por las enzimas del organismo humano, por lo tanto, se consideraría como fibra dietética por lo que puede emplearse en el desarrollo de productos alimenticios con bajo contenido energético. Solo funciona como prebiótico a bajos niveles de polimerización, pero estos niveles no se usan en alimentos (Jiang et al., 2018).

3.4.8 Toxicología

La dosis letal media (DL₅₀) determinada por diferentes vías y modelos biológicos se muestra en la Tabla 7.

Especie	Género	Vía de aplicación	DL ₅₀ (mg/kg de peso corporal)	Observaciones
Ratón	Macho y Hembra	Oral	10 000	Suspensión acuosa al 10%
Rata	Macho	Oral	10 000	Suspensión acuosa al 10%
Ratón	Macho	Intraperitoneal	2 750	Suspensión al 5% en sal
Ratón	Hembra	Intraperitoneal	2 500	Suspensión al 5% en sal
Rata	Macho	Intraperitoneal	2 750	Suspensión al 5% en sal

Tabla 7. Valor de la dosis letal media (DL₅₀) del curdlan. Fuente:
<http://www.inchem.org/documents/jecfa/jecmono/v44jec04.htm>

Según la clasificación del grado de toxicidad propuesta por Deischmann y Gerarde en 1969 (Tabla 8), el curdlan se clasifica como prácticamente no tóxico.

DENOMINACIÓN	ADMINISTRACIÓN			
	DL ₅₀ Dosis oral única (rata)	DL ₅₀ Dosis cutánea única (conejo)	CL ₅₀ * Inhalación de vapor 4 horas (rata)	Posible dosis oral letal a un hombre adulto
Extremadamente tóxico	< 1 mg/Kg	< 5 mg/Kg	10	1 gota, 1 grumo
Altamente tóxico	1-50 mg/Kg	5-50 mg/Kg	10-100	1 cucharita (4 ml)
Moderadamente tóxico	50-500 mg/Kg	50-350 mg/Kg	100-1,000	30 g
Ligeramente tóxico	0.5-5 g/Kg	0.35-0.3 g/Kg	1,000-10,000	250 g
Prácticamente no tóxico	5-15 g/Kg	3-25 g/Kg	10,000-100,000	1 l
Relativamente inocuo	> 15 g/Kg	25 g/Kg	> 100,000	> 1 l

* Concentración letal media, expresada en ppm

Tabla 8. Clasificación del grado de toxicidad según Deischmann y Gerarde, 1969.

Fuente: Valle y Lucas en Toxicología de alimentos, 2000.

En estudios de toxicidad crónica no se observó carcinogenicidad ni problemas reproductivos en modelos animales (Spicer et al., 1999) (ver Tabla 9). El curdlan administrado en ratas en concentraciones de 1, 5 o 15% m/m respecto al alimento, no tuvo efectos en la biodisponibilidad del calcio, magnesio, hierro, zinc, cobre o manganeso (International Programme on Chemical Safety, 2000; Venugopal, 2011).

Prueba	Animal probado	Dosis	Resultado	Referencia
Toxicidad aguda	Ratas macho	10 g/Kg de peso corporal por vía oral	Baja toxicidad aguda, sin muertes	Aomori y Tanida, 1968
Toxicidad Subcrónica y crónica	Ratas macho	2.5, 8.5, 30 y 33.4 g/Kg/día	Sin signos de toxicidad	Yokotani, 1969

Tabla 9. Estudios de toxicidad del curdlan. Fuente: Kishan, 2015.

Bajo la evaluación toxicológica del 2001, el *Codex Alimentarius* lo reclasifica con una Ingesta Diaria Admitida (IDA) no especificada, lo que “se refiere a una sustancia alimenticia de muy baja toxicidad que, en base a los datos disponibles (químicos, bioquímicos, toxicológicos y otros) y la ingesta dietética total de la sustancia derivada de su uso a los niveles necesarios para lograr los efectos deseados y, a partir de sus niveles de fondo aceptables en los alimentos, en opinión del Comité, no representa un peligro para la salud. Por ese motivo, y por los motivos expuestos en las evaluaciones individuales, no se considera necesario establecer una IDA expresada en forma numérica. Un aditivo que cumpla este criterio debe usarse dentro de los límites de las buenas prácticas de fabricación, es decir, debe ser tecnológicamente eficaz y debe usarse al nivel más bajo necesario para lograr este efecto, no debe ocultar alimentos de calidad inferior o alimentos adulterados, y no debe crear un desequilibrio nutricional” (Evaluation of Certain Food Additives and Contaminants, 57 reporte de JECFA, 2002).

3.4.9 Legislación

En 1989 fue aprobado para su uso en alimentos en Corea, Taiwán y Japón. En 1997 la compañía farmacéutica Takeda Ltd. en Japón, recibió la aprobación de la FDA (21CFR172.809), siendo el primer aditivo alimentario en desarrollarse por una empresa japonesa y ser aprobado por el gobierno de los Estados Unidos de América (Nishinari, 2009).

El *Codex Alimentarius*, lo clasifica como agente endurecedor, agente gelificante, espesante y estabilizante, permitiendo su uso en la categoría de Pasta y fideos frescos y productos análogos bajo BPF, con la nota 211 que menciona “Solo para su uso en los fideos”. También menciona que es un aditivo que se encuentra en el cuadro 3 de la Base de Datos en línea de la Norma General del Codex para los Aditivos Alimentarios (GSFA, por sus siglas en inglés), por lo que se puede emplear en diversas categorías de alimentos, ejemplos de algunas de estas categorías se encuentran en el Anexo 2.

Es aceptable en los alimentos regulados por las siguientes normas alimentarias internacionales del *Codex Alimentarius*, aplicables a

- CXS 249-2006 Norma para los fideos instantáneos, enmienda 2019
- CXS 117-1981 Norma para los “Bouillons” y consomés, revisión 2015
- CXS 319-2015 Norma para algunas frutas en conserva, enmienda 2018 pero solo para los mangos en conserva.

Así como en el suero de mantequilla tratado térmicamente y especies de la categoría 12.2.1 Hierbas aromáticas y especias.

A pesar de estar aprobado por JECFA y por el *Codex Alimentarius* desde el 2014, aún no ha sido aprobado en México ni en Europa.

En el caso particular de México, no se menciona al curdlan como aditivo en el Acuerdo por el que se determinan los aditivos y coadyuvantes en alimentos, bebidas y suplementos alimenticios, su uso y disposiciones sanitarias publicado en el Diario Oficial de la Federación en el 2012 ni en sus posteriores adiciones. Sin embargo, de acuerdo con el Reglamento de control sanitario de productos y servicios publicado en el 2016, para que se evalúe la inclusión del curdlan o cualquier otro aditivo al Acuerdo, se debe proporcionar la siguiente información a la Secretaría de Salud (DOF, 12 de febrero de 2016).

Las evaluaciones y aprobaciones del Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA), el *Codex Alimentarius*, de la Unión Europea o de los Estados Unidos de América.

O la siguiente información:

I. El nombre genérico y el sinónimo más conocido, si se trata de una sustancia química, o el género y especie, si se trata de un producto derivado de un vegetal o animal

II. Cuando proceda, la fórmula química condensada y estructural, si se conoce

III. La justificación de su función tecnológica

IV. Los estudios toxicológicos de origen nacional o extranjero, a corto y largo plazo en los que se incluya la DL₅₀ en animales mamíferos de laboratorio y la IDA para evaluar su inocuidad, especialmente en relación con el cáncer y sus efectos teratogénicos, si es el caso

V. Los métodos analíticos para determinar su identidad, pureza y contaminantes, y

VI. Los productos en los que se propone su empleo y proporción, de manera que ésta no rebase los márgenes de seguridad, a fin de determinar si su uso representa un riesgo para la salud del consumidor.

Después de ser evaluado y aprobado se podrá utilizar. Para su importación, se debe solicitar un permiso sanitario previo de importación de productos ante COFEPRIS (Permiso sanitario previo de importación COFEPRIS, 2018).

Por su parte la EFSA (European Food Safety Authority, por sus siglas en inglés) en su Reglamento (CE) N° 1333/2008 del parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2008, sobre aditivos alimentarios, hasta su versión del 02 de julio de 2020 (DO EUR-Lex, 02 de julio de 2020) no ha aprobado al curdlan como aditivo alimentario, debido a que sigue pendiente su evaluación que inició en el 2017 con una empresa que pidió a la EFSA su opinión sobre la evaluación del riesgo de emplear al curdlan como aditivo alimento. La EFSA ha requerido información adicional para su evaluación, pero debido a los atrasos en la entrega de información no se ha emitido una resolución sobre su aceptación. (EFSA-Q-2017-00024).

3.4.10 Métodos analíticos para determinar su identidad, pureza y contaminantes.

En las monografías del aditivo elaboradas por JECFA y Food Chemical Codex (FCC) del 2010 se mencionan los métodos para su identificación y cuantificación. Los procedimientos se encuentran en el Anexo 3.

Una forma de identificación rápida, y que ayudó a aislar las cepas con mayor producción, es el uso del azul de trifenilmetano de anilina a pH 8, debido a que

tiene una especificidad para los (1,3)- β - glucanos, formando un complejo de color azul oscuro (Evans et al., 1984; Stone Clarke, 1992).

3.4.11 Otra información

Se ha encontrado una gran variedad de proveedores en China con precios desde \$20.00 a \$50.00 dólares estadounidenses por kilogramo.

El curdlan tiene aplicaciones en otras áreas, por ejemplo, se utiliza para espesar el concreto, también en la piscicultura ya que se incorpora en el alimento de los peces para mejorar su actividad inmunológica (Venugopal, 2011).

En la industria farmacéutica se tienen reportes que sugieren que presenta actividad biológica como antiinflamatoria, antitumoral, anticoagulante y sobre el desarrollo de parásitos de la malaria *in vitro*, pero depende del grado de polimerización que en general son bajos comparados con el usado en alimentos y si están esterificados como los ésteres de carboximetil éter, sulfato y fosfato muestran una mayor solubilidad en agua y una mayor actividad biológica.

4. Discusión

Una de las nuevas tendencias en el desarrollo de nuevos productos alimenticios es la de “libres de ingredientes o aditivos de origen animal”, destinado a consumidores veganos o vegetarianos, dando lugar a la reformulación de productos que emplean gretina como aditivo, empleando agar-agar principalmente como sustituto, afectando de esta manera propiedades de textura como elasticidad debido a que el gel de agar es duro y quebradizo. (Phillip y William, 2009).

Debido a sus propiedades fisicoquímicas, el curdlan puede ser usado en una amplia variedad de alimentos como los productos cárnicos, confitería, cereales y lácteos. Lo anterior permite ampliar la oferta de alimentos como hamburguesas, flanes, gomitas y brindar una opción para sectores de consumidores que no

consumen ingredientes de fuentes animales y que continúan en crecimiento (Nishinari y Doi, 1993; Funami, 1998; Nishinari, 2009; Venugopal 2011). Además, esta gama de productos puede ser dirigido a otro sector del mercado: aquel que se interesa en controlar su ingesta energética, ya que el curdlan es sustituto de grasa y tiene propiedades de fibra dietética (Nishinari, 2009, Venugopal, 2011).

Las ventajas del curdlan sobre los hidrocoloides antes mencionados son: la fuente de obtención, el curdlan al provenir de un microorganismo su producción es más rápida y fácilmente manipulable comparada con el tiempo para la producción de grenetina obtenida por proceso alcalino que es de 60 d (Badui, 2006) o la variabilidad en la producción de agar que depende de la temporada, especie y método de extracción (Praiboon et al, 2006 en Kishan, 2015).

En relación con la propiedad de retención de agua, la grenetina puede absorber entre 5 a 10 veces su peso en agua (Budavari 1996; Zandi, 2008), mientras que el agar hasta 20 veces (Lewis, 1997; Kumar-Nayak, 2020) y el curdlan de 30 hasta 100 veces (Zhang, 2014). La grenetina es susceptible al ataque microbiano y enzimático (Badui, 2006), por ejemplo, al preparar gelatina de piña o papaya se necesita escaldar la fruta antes, mientras que el agar no es hidrolizable por enzimas humanas, microbianas, ni propias de los alimentos (Wustenberg, 2015), sin embargo, el pH ácido le afecta al hidrolizarlo y haciendo el gel más débil por lo cual se tiene que agregar mayor cantidad de aditivo en las formulaciones para compensar la hidrólisis y no se puede calentar después de acidificación. El curdlan por su parte, no es hidrolizable por enzimas humanas, vegetales o de microorganismos tan fácilmente, por lo que puede ser usado en alimentos hipoenergéticos y aumentar la vida de anaquel de los productos (Wustenberg, 2015).

El gel formado con grenetina es elástico, el de agar es duro y quebradizo (Alistar, 2006), mientras que los del curdlan presentan propiedades de textura intermedias a éstos, y con la posibilidad de cambiar la fuerza del gel si se maneja adecuadamente la temperatura y concentración para ajustar a la fuerza del gel que se requiera.

Otra ventaja es que no afecta el color, sabor u olor debido a que es incoloro, insípido e inodoro, similar como la mayoría de los hidrocoloides y que sus geles no necesitan de cofactores como pH o metales para formarse, pero sí dependen su formación de la temperatura (Nishinari, 2009).

Como se mostró en la Figura 20, la gnetina al 3% pierde fuerza a pH menores de 3, mientras que el curdlan muestra su mayor fuerza a este pH y a una menor concentración (2%). Tampoco el agar al 1% es estable por debajo de pH 4 y se tiene una fuerza de gel muy similar entre el agar y el curdlan de pH 4 a 10 (Wustenberg, 2015) por lo que el curdlan representaría una ventaja en productos como mermeladas gracias a que sus geles son estables en un amplio intervalo de pH.

Otra ventaja es que los geles de curdlan son estables a la congelación y descongelación, mientras que ni la gnetina ni el agar lo son, debido a que pierden su fuerza y textura después de descongelar, por lo que el curdlan es una opción viable en productos congelados como pasteles (Nishinari y Doi, 1993).

Este es un aditivo prácticamente no tóxico que se utiliza bajo BPM logrando sus efectos a concentraciones más bajas (0.1 a 1%) que las utilizadas con gnetina y similares a las del agar. Es aprobado por diversas organizaciones internacionales como JECFA (CAS 54724), el *Codex Alimentarius* (SIN 424) y la FDA (21CFR172.809) porque no representa algún riesgo a la salud y sería factible su inclusión en el Acuerdo mexicano.

La principal desventaja es el no estar aprobado por la normatividad mexicana por lo que aún no se puede emplear como aditivo en productos del mercado nacional. No obstante, es factible su aprobación debido a que se cuenta con toda la información necesaria para su registro, destacando que no representa algún riesgo a la salud. Así mismo la baja o nula disponibilidad en el mercado nacional e internacional como E.U.A o la UE podría representar un inconveniente para uso por parte de la industria. Sin embargo, con la globalización es viable importarlo desde Oriente.

Otra desventaja es que al no estar aceptado por la mayoría de los países sería más complicado comercializar los productos con curdlan a nivel internacional. Cabe destacar, que el desconocimiento sobre las propiedades del aditivo provocaría que no sea fácil que las empresas confíen en él para cambiar sus formulaciones, aunado a un mayor precio comparado con otros hidrocoloides que puede ser compensado por un menor impacto en el precio debido a la cantidad que se utiliza.

En relación con las desventajas fisicoquímicas que representa es la insolubilidad en agua y en frío lo que limitaría su uso en alimentos con tratamiento térmico y sensorialmente es distinto a la gnetina debido a que ésta tiene un punto de fusión aproximadamente a la temperatura corporal lo que hace que tenga una sensación única (Nishinari 1993), mientras que el del curdlan es mayor de 60°C.

5. Conclusiones

Los estudios toxicológicos hechos por el International Programme On Chemical Safety (IPCS) (Ver Tabla 7) demuestran que el curdlan es prácticamente no tóxico y no es digerible para el ser humano.

El curdlan puede ser utilizado como agente endurecedor, agente gelificante, espesante y estabilizante bajo BPM con concentraciones de uso de 0.1 a 1%.

La capacidad de retención de agua y estabilidad térmica del curdlan permite su uso en productos como salchichas, jamones, hamburguesas y chorizo aumentando la sensación de jugosidad. En sus análogos libres de fuentes de origen animal o reducidos en energía la formación de geles ayudarían como agente texturizante.

La capacidad de gelificación del curdlan, estabilidad en un amplio rango de pH e incorporación de sacarosa en sus geles, brindaría ventajas en productos de confitería como mermeladas, gelatinas y flanes, y por su estabilidad a temperaturas altas en donas y chocolates.

El uso del curdlan en productos tratados térmicamente como esterilización, congelación, descongelación y liofilización como productos enlatados, pasteles, tofu, surimi y fideos ayudaría a mantener las propiedades físicas.

El curdlan puede ser incluido en el Acuerdo por el que se determinan los aditivos y coadyuvantes en alimentos, bebidas y suplementos alimenticios, su uso y disposiciones sanitaria, debido a que es factible su aprobación ya que se tiene toda la información disponible y no representa ningún riesgo, al contrario, podría presentar ventajas su uso.

6. REFERENCIAS

Alibaba. (2020) Xi'an Geekee Biotech Co. LTD [En línea] Disponible en: https://geekee.en.alibaba.com/es_ES/search/product?SearchText=54724-00-4 (Último acceso 21 de enero de 2020).

Alistair, S., Glyn, P., Peter, W. (2006). *Food polysaccharides and their applications*. (2 ed.) Broken Sound Parkway: CRC Press. pp 155, 308, 501

Applications of Curdlan. International of ChemTech Research, Vol 6, No. 5: 3000-3003.

Astiasarán, I., Lasheras, B., Ariño, A., Martínez A., (2018). *Alimentos y nutrición en la práctica sanitaria*. Diaz de Santos. pp 127

Bacic, A., Fincher, G., Stone B. (2009). *Chemistry, biochemistry and biology of (1→3)-β-glucans and related polysaccharides*. New York, USA: Academic Press. Pp 13, 56-65, 85, 93-96.

Belitz, H., Grosch, W., Schieberle, P. (2009) *Química de los alimentos* (3 ed.) Zaragoza, España: Acribia. Pp 63

Bourne, M., (2002). *Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement*. (2 ed.) Elsevier. Pp 86-94

Budavari, S., (1996). *Merck Index, (12th ed.)* Whitehouse Station, NJ: Merck

Codex Alimentarius. (2019). *Norma General para los Aditivos Alimentarios. Codex Stan 192-1995, revisión 2019*. [En línea] Disponible en: <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/es/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%25>

[2Fcodex%252FStandards%252FCXS%2B192-1995%252FCXS_192s.pdf](#) (Último acceso 26 de enero de 2020).

COFEPRIS (2018). Permiso sanitario previo de importación. (2ª ed.) [En línea] Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/310788/Folleto_Permiso_previo_de_importaci_n.pdf (Último acceso 03 de julio de 2020).

COFEPRIS. Reglamento de Control Sanitario y Productos y Servicios. [En línea] Disponible en: <http://transparencia.cofepris.gob.mx/index.php/es/marco-juridico/reglamentos> (Último acceso 03 de julio de 2020).

Del Pozo, L., Evaluación final de métodos en biotecnología. [En línea] Disponible en: <http://www.ibt.unam.mx/computo/pdfs/met/Electroforesis/Electroforesis.html>

EFSA. EFSA-Q-2017-00024. [En línea] Disponible en: <https://registerofquestions.efsa.europa.eu/roqFrontend/questionLoader?question=EFSA-Q-2017-00024>. (Último acceso 17 de octubre de 2020).

EFSA. Scientific Panel on Food Additives and Nutrient Sources added to Food. Minutes of the 36th meeting of the Working Group on Applications. 2018 [En línea] Disponible en: <http://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/wgs/food-ingredients-and-packaging/applicationswg.pdf> (Último acceso 17 de octubre de 2020).

Fennema, O., Damodaran, S., Parkin, K. (2008) Química de los alimentos (3 ed.) Zaragoza, España: Acribia. Pp 119-124, 131, 132, 163-169, 841.

Fernández, F., y Gassull, M.Á. (1999) Cap. 8 Fibra dietética. En Tratado de nutrición. Díaz de Santos, Madrid. Pp 125-129.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2020) Especificaciones para aditivos alimentarios [En línea] Disponible en: <http://www.fao.org/food/food-safety-quality/scientific-advice/jecfa/jecfa-additives/detail/en/c/416/> (Último acceso 21 de enero de 2020).

Gao, Z., Fang, Y., Cao, Y., Liao, H., Nishinari, K., Phillips, G., (2017). Hydrocolloid-food component interactions. *Food Hydrocolloids*. 68: 149-156.

GSFA Online. (2019) Curdlan 424 [En línea] Disponible en <http://www.fao.org/gsfonline/additives/details.html?id=307&d-3586470-o=1&d-3586470-s=3> (Último acceso 21 de enero de 2020).

Harada, T., Terasaki, M., y Harada, A. (1993) Capítulo 15. Curdlan. En INTRODUCTION TO INDUSTRIAL GUMS. (3ra). California: EUA. Academic Press. Pp 427-440.

In-Young L. (2005). Cap. 6 Curdlan. En Steinbuchel A. (ed) *Biopolymers Online*. Wiley, New York. 135-144.

Jiang, Z., Shi, Y., Liu, J., Yan, Q., You, X., Yang, S., (2018). *In vitro* digestibility and prebiotic potential of curdlan (1→3)-β-D-glucan oligosaccharides in *Lactobacillus* species. *Carbohydrate Polymers*. 188: 17-26

Kalyanasundaram, G., Doble, M., Gummadi, S. (2012) *Production and downstream processing of (1,3)-β-D-glucan from mutant strain of Agrobacterium sp. ATCC 31750*. *AMB Express* 2012 2:31.

Kanzawa, Y., Harada, T., Koreeda, A. y Harada, A. (1987). *Curdlan gel formed by neutralizing its alkaline solution*. *Agric. Biol. Chem.*, 51. 1839-1843

Kanzawa, Y., Harada, T., Koreeda, A. y Harada, A. (1989). *Electron Microscopy of the Gel-forming Ability of Polysaccharide Food Additives*. *Agricultural and Biological Chemistry*, 53:4, 979-986.

Kishan, R., Jean-Michel, M. (2015). *Polysaccharides. Bioactivity and Biotechnology*. Suiza: SpringerReference. Pp 164

Lee, CH., Chin, KB. (2019) *Evaluation of physicochemical and textural properties of myofibrillar protein gels and low-fat model sausage containing various levels of curdlan*. *Asian- Australasian Journal of Animal Sciences*. Vol. 32, No. 1: 144-151.

Liu, Q., Jiang, S., Cao, C., Xia, X., Kong, B., (2019) *Enhancement of the Textural and Gel Properties of Frankfurters by Adding Thermo-reversible or Thermo irreversible Curdlan Gels*. *Journal of Food Science*. Vol 00.

Mangolim CS, Silva TTd, Fenelon VC, Koga LN, Ferreira SB, Bruschi ML, et al. (2017) *Description of recovery method used for curdlan produced by Agrobacterium sp. IFO 13140 and its relation to the morphology and physicochemical and technological properties of the polysaccharide*. *PLOS ONE* 12(2).

Marchessault R., Chuah, C., Sarko, A., Deslandes, Y., (1983). *Triple-Helical Crystalline Structure of Curdlan and Paramylon Hydrates*. *Macromolecules* 16: 1375-1382.

Mateos, I. (2017) *Aditivos alimentarios*. Madrid: Dextra

MEDIN, A. (1995) *'Studies of Structure and Properties of Agarose'*. PhD Thesis, *Acta Universitatis Upsaliensis*, 126, 74.

Miyoshi, K., Uezu, K., Sakurai, K., Shinkai, S. (2004) Proposal of a New Hydrogen-Bonding Form to Maintain Curdlan Triple Helix. *Chem Biodivers.* 1(6): 916-24.

Msagati, I. (2013) *Chemistry of Food Additives and Preservatives*. India: Wiley-Blackwell. Pp 67-79.

Navard, P. (2012). *The European Polysaccharide Network of Excellence*. Viena: Springer. Pp 29

Nishinari, K., Doi E. (1993). *Food hydrocolloids. Structures, properties and functions*. New York, USA: Plenum Press. Pp 113-125.

Nishinari, K., Zhang, H. Funami T. (2009). Cap. 20. Curdlan. *En Handbook of hydrocolloids (2 ed)*. Boca Raton, USA: Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC.

Nussinovitch, A. Hirashima, M. (2014). *Cooking Innovations. Using hydrocolloids for thickening, gelling and emulsification*. New York, USA: CRC Press. Pp 89-104.

Organo Food Tech Corporation. Curdlan Compounds <http://oft.organo.co.jp/english/product/curdlan/> (Último acceso 21 de enero de 2020).

Özcan, E., Öner, E. (2015). Cap. 6. Microbial Production of Extracellular Polysaccharides from Biomass Sources. *En Polysaccharides. Bioactivity and Biotechnology*. Suiza: SpringerReference. Pp 164, 168.

Pegg, A. (2012). *Natural Food Additives, Ingredients and Flavourings*. Cap. 8 The application of natural hydrocolloids to foods and beverages. Reino Unido: Woodhead Publishing Limited. Pp 194.

Pérez R. (2017). Aditivos alimentarios: Qué son exactamente y cómo se regula su uso. [En línea] Disponible en <https://www.vitonica.com/alimentos/aditivos-alimentarios-que-son-exactamente-y-como-se-regula-su-uso> (Último acceso 21 de abril de 2020).

Phillips G., Williams, P. Cap. 1 Introduction to food hydrocolloid, Cap. 20 Curdlan *en Handbook of hydrocolloids (2 ed)*. Boca Raton, USA: Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC. 16, 567-588.

Secretaría de Salud. (2012) ACUERDO por el que se determinan los aditivos y coadyuvantes en alimentos, bebidas y suplementos alimenticios, su uso y disposiciones sanitarias. [En línea] Disponible en http://www.salud.gob.mx/cdi/nom/compi/Acuerdo_aditivos_160712.pdf (Último acceso 21 de enero de 2020).

Socolovsky S. (2015). Aditivos seguros y necesarios. [En línea] Disponible en <http://www.alimentacion.enfasis.com/articulos/71863-aditivos-seguros-y-necesarios-> (Último acceso 21 de abril de 2020).

Spicer, E., Goldenthal, E., Ikeda T., (1999). A Toxicological Assessment of Curdlan. *Food and Chemical Toxicology* 37: 455-479.

Suárez, T., González E., Reséndiz, Y., Sánchez. D., (2014) La importancia de los aditivos alimentarios en los alimentos industrializados. *Educación y salud*. Vol 4

Valle, P., Lucas B. (2000). *Toxicología de alimentos*. Instituto Nacional de Salud Pública Centro Nacional de Salud Ambiental. Pp 21

Venugopal, V. (2011). *Marine Polysaccharides. Food Applications*. Boca Raton, Florida: CRC Press. Pp 138, 139, 146- 148, 239-242, 314, 315.

World Health Organization. (2018). Aditivos alimentarios. [En línea] Disponible en <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/food-additives> (Último acceso 21 de abril de 2020).

World Health Organization. *International Programme on Chemical Safety. Curdlan* [En línea] Disponible en <http://www.inchem.org/documents/jecfa/jecmono/v44jec04.htm> (Último acceso 21 de abril de 2020).

Wu, C., Peng, S., Wen, C., Wang, X., Fan, L., Deng R., Pang, J. (2012). Structural characterization and properties of konjac glucomannan/curdlan blend films. *Carbohydrate Polymers*, 89, 497-503.

Wustenberg T. (2014). *Cellulose and Celullose derivates in the food industry*. Weinheim, Alemania: Wiley-VCH. Pp 1-68.

Xiao, M., Jiang, M., Wu, K., Yang, H., Ni, X., Yan, W., et al. (2017). Investigation on curdlan dissociation by heating in water. *Food Hydrocolloids*, 70, 57–64.

Xin, Y., Lee, JY., Kim, J., Kim, Y. (2018) *Effect of curdlan on textural and cooking qualities of noodles made with tofu. J Food Process Preserv.* 42: e13661.

Zandi M, Thesis. Feb 18, 2008. *Studies on the Gelation of Gelatin Solutions and of the Use of Resulting Gels for Medical Scaffolds. University of Duisburg-Essen; Duisburg, Germany*

Zhang R., Edgar K., (2014). *Properties, Chemistry, and Applications of the Bioactive Polysaccharide Curdlan. Biomacromolecules* 15, 1079–1096.

Zhang, C., Wang, K., Du, L., Lu, Z., Lu, F., Zhao, H. (2019). *Preparation of chitosan/curdlan/carboxymethyl cellulose blended film and its characterization. J Food Sci Technol.* 56(12):5396–5404

Zhang, Q., Sun, J., Wang, Z., Hang, H., Zhao, W., Zhuang, Y., Chu, J. (2018). *Kinetic analysis of curdlan production by *Alcaligenes faecalis* with maltose, sucrose, glucose and fructose as carbon sources. Bioresource Technology* 259: 319-324

7. Anexos

7.1 Clasificación de los aditivos alimentarios según el Acuerdo por el que se determinan los aditivos y coadyuvantes en alimentos, bebidas y suplementos alimenticios, su uso y disposiciones sanitarias (DOF, 16 de julio de 2012).

	CLASE FUNCIONAL	DEFINICIÓN	FUNCIÓN TECNOLÓGICA (SUBCLASES)
1	Agentes acidificantes	Sustancias que modifican o mantienen la acidez de los productos	Acidulante
2	Agentes Acondicionadores o tratamiento de harinas o de masa.	Sustancias que se utilizan en panificación para mejorar diversas cualidades de la harina o masa	Agentes de tratamiento de harinas. Blanqueadores de harinas. Mejoradores de harinas. Acondicionadores de masa. Reforzadores de la masa.
3	Agentes Antiaglomerantes o Antiaglutinantes (Antihumectantes).	Sustancias o mezcla de sustancias que reducen la tendencia de los componentes de un alimento a cohesionarse o adherirse unos a otros.	Agentes antiaglutinantes. Agentes antiadherentes. Agentes de secado. Polvos para empolverar. Antihumectantes.
4	Agentes Antiespumantes.	Sustancia o mezcla de sustancias que, adicionada durante la elaboración de los productos, inhibe o disminuye la formación de espuma.	Eliminadores de espuma. Reductores de espuma.
5	Agentes Antioxidantes.	Sustancias que prolongan la vida de almacén de los productos, protegiéndolos del deterioro ocasionado por la oxidación.	Antioxidantes. Sinérgicos de antioxidantes. Agentes de antipardeamiento.
6	Agente Clarificante.	Sustancia que elimina la turbidez en un líquido, dejándolo claro.	Clarificante.
7	Agentes Conservadores.	Sustancias o mezcla de sustancias que previenen, retardan o detienen cualquier alteración causada por microorganismos.	Sustancias conservadoras. Conservadores. Antimicrobianos. Agentes antimicóticos. Agentes de control bacteriófagos. Agentes fungistáticos, agentes inhibidores de mohos y hongos filamentosos. Sinergistas antimicrobianos.

	CLASE FUNCIONAL	DEFINICIÓN	FUNCIÓN TECNOLÓGICA (SUBCLASES)
8	Agentes Emulsificantes o Emulsionantes (Antisalpicantes, Enturbiadores).	Sustancias o mezcla de sustancias que forman o mantienen una emulsión uniforme en un producto.	Emulsionantes. Agentes dispersantes. Agentes tensoactivos. Antisalpicantes. Inhibidores de la cristalización, correctores de la densidad (de los aceites aromatizantes en las bebidas). Estabilizadores de una suspensión. Agentes enturbiadores. Sales emulsionantes, sales de mezcla, sales fundentes. Plastificantes. Surfactantes.
9	Agentes Endurecedores.	Sustancias que vuelven o mantienen los tejidos de frutas u hortalizas firmes o crocantes o actúan junto con agentes gelificantes para producir o mantener un gel.	Agentes endurecedores.
10	Agentes Espesantes.	Sustancias que incrementan la viscosidad de los productos.	Espesantes. Agentes de soporte. Aglutinantes. Agentes texturizadores.
11	Agentes Espumantes.	Sustancias que posibilitan la formación o el mantenimiento de una dispersión uniforme de una fase gaseosa en un producto líquido o sólido.	Agentes espumantes. Agentes de batido. Agentes de aireación.
12	Agentes Estabilizantes.	Sustancias que posibilitan el mantenimiento de una dispersión uniforme de dos o más sustancias.	Estabilizadores. Estabilizadores de espuma. Estabilizadores coloidales. Aglutinantes.
13	Agentes Gasificantes.	Sustancias o mezcla de sustancias utilizadas para introducir dióxido de carbono en un producto.	Gasificantes. Agentes fermentadores.
14	Agentes Gelificantes.	Sustancias que dan textura y/o consistencia a un producto mediante la formación de un gel.	Agentes gelificantes.

	CLASE FUNCIONAL	DEFINICIÓN	FUNCIÓN TECNOLÓGICA (SUBCLASES)
15	Agentes de Glaseado.	Sustancias que, cuando se aplican en la superficie exterior de un producto, confiere a este un aspecto brillante o lo revisten con una capa protectora.	Agentes de glaseado. Agentes sellantes. Agentes de revestimiento. Agentes de acabado de superficie. Agentes de abrillantado. Agentes formadores de película.
16	Agentes Humectantes.	Sustancias o mezcla de sustancias destinadas a prevenir la pérdida de humedad de los productos.	Agentes humectantes. Agentes de retención de humedad.
17	Agentes Incrementadores de volumen.	Sustancia diferente del aire y del agua que aumenta el volumen de un producto sin contribuir significativamente a su valor energético disponible.	Incrementadores del volumen. Agentes de relleno.
18	Agentes Potenciadores de Sabor.	Sustancia o mezcla de sustancias destinadas a realzar los aromas o los sabores de los productos, excepto el cloruro de sodio o sacarosa.	Potenciadores o acentuadores de sabor o aroma. Saborizantes o aromatizantes sinergistas. Modificadores de sabor o aroma. Blandadores.
19	Agentes Propulsores.	Gases diferentes del aire que expulsan un alimento de un recipiente.	Propulsores. Gases propelentes.
20	Agentes Reguladores de pH.	Sustancia que modifica o mantiene la acidez o alcalinidad de los productos.	Reguladores de acidez. Ácidos. Acidificantes. Álcalis. Bases. Soluciones reguladoras. Agentes reguladores. Agentes de regulación de pH. Corrector de acidez. Agentes reguladores.
21	Agentes de retención de color.	Sustancias que estabilizan, retienen o intensifican el color de un producto.	Agentes de retención de color. Fijadores de color. Estabilizantes de color. Complementos de color.

	CLASE FUNCIONAL	DEFINICIÓN	FUNCIÓN TECNOLÓGICA (SUBCLASES)
22	Agentes Secuestrantes.	Sustancia que forma complejos químicos con iones metálicos.	Secuestrantes.
23	Colorantes.	Sustancia que da o restituye color a un producto.	Pigmentos de coloración y decoración. Colorantes de superficie. Lacas. Pigmentos.
24	Decolorantes.	Sustancias utilizadas (no en las harinas) para decolorar un producto. Los decolorantes no contienen pigmentos.	Decolorante. Oxidante.
25	Edulcorantes.	Sustancias diferentes de los mono y disacáridos, que imparten un sabor dulce a los productos.	Edulcorantes naturales. Edulcorantes artificiales.
26	Gases de envasado.	Sustancias gaseosas, introducidas en un envase antes, durante o después de su llenado con un producto, con la intención de proteger el producto, por ejemplo, de la oxidación o descomposición.	Gases de envasado.
27	Leudante.	Sustancia o mezcla de sustancias que liberan gas y, de esa manera, aumentan el volumen de una masa.	Leudantes. Agentes fermentadores. Aglutinante. Gasificante.
28	Saborizante (aromatizante).	Sustancia o mezcla de sustancias con o sin otros aditivos que se utilizan para proporcionar o intensificar el sabor o aroma de los productos. Saborizante sintético artificial (sustancia que no ha sido aun identificada en productos naturales procesados o no y que son aptas para su consumo) Saborizante idéntico al natural (sustancias químicamente aisladas a partir de materias primas aromáticas u obtenidas sintéticamente, químicamente idénticas a las sustancias presentes en productos naturales procesados o no y que son aptas para consumo humano) saborizante natural (preparación de sustancias o sus mezclas obtenidas exclusivamente por procesos físicos, microbiológicos o enzimáticos a partir de vegetales o de materias primas de origen animal en su estado natural o procesadas o por fermentación y que son aptas para consumo humano).	Saborizante. Aromatizante.

	CLASE FUNCIONAL	DEFINICIÓN	FUNCIÓN TECNOLÓGICA (SUBCLASES)
29	Enzimas.	Proteína que cataliza las reacciones bioquímicas del metabolismo. Las enzimas actúan sobre las moléculas conocidas como sustratos y permiten el desarrollo de los diversos procesos celulares.	Catalizadores biológicos.
30	Sustancias inertes.	Sustancias utilizadas para disolver, diluir, dispersar o modificar de otras maneras un aditivo alimentario sin alterar su función (y sin generar por si mismos efecto tecnológico alguno) con el fin de facilitar la manipulación, la aplicación o uso del aditivo alimentario o nutrimento.	Sustancias inertes. Disolventes inertes. Sustancias inertes portadoras de nutrimentos. Diluyente de otros aditivos. Agentes encapsuladores.

7.2 Ejemplos de categorías de alimentos en los que se pueden utilizar el curdlan y otros aditivos del cuadro 3 de la GFSA.

08.4	Envolturas o tripas comestibles (p. ej. para embutidos)
09.3	Pescado y productos pesqueros semiconservados, incluidos los moluscos, crustáceos y equinodermos
09.4	Pescado y productos pesqueros (incluidos los moluscos, crustáceos y equinodermos) en conserva, con inclusión de los enlatados y fermentados
10.2.3	Productos a base de huevo en polvo y/o cuajados por calor
10.3	Huevos en conserva, incluidos los huevos en álcali, salados y envasados
10.4	Postres a base de huevo (p. ej. flan)
11.6	Edulcorantes de mesa, incluidos los que contienen edulcorantes de gran intensidad
12.2.2	Aderezos y condimentos
12.3	Vinagres
12.4	Mostazas
12.5	Sopas y caldos
12.6	Salsas y productos análogos
12.7	Ensaladas (p. ej., la ensalada de macarrones, la ensalada de patatas (papas)) y productos para untar en emparedados, excluidos los productos para untar a base de cacao y nueces de las categorías de alimentos 04.2.2.5 y 05.1.3
12.8	Levadura y productos análogos
12.9	Aderezos y condimentos a base de soja
12.10	Productos proteínicos distintos a los de soja
13.3	Alimentos dietéticos para usos médicos especiales (excluidos los productos de la categoría de alimentos 13.1)
13.4	Preparados dietéticos para adelgazamiento y control del peso
13.5	Alimentos dietéticos (p. ej. los complementos alimenticios para usos dietéticos), excluidos los indicados en las categorías de alimentos 13.1 a 13.4 y 13.6
13.6	Complementos alimenticios
14.1.4	Bebidas a base de agua aromatizadas, incluidas las bebidas para deportistas, bebidas energéticas o bebidas electrolíticas y bebidas con partículas añadidas
14.2.1	Cerveza y bebidas a base de malta
14.2.2	Sidra y sidra de pera
14.2.4	Vinos (distintos de los de uva)
14.2.5	Aguamiel
14.2.6	Licores destilados que contengan más de un 15 por ciento de alcohol
14.2.7	Bebidas alcohólicas aromatizadas (p. ej. cerveza, vino y bebidas con licor tipo bebida gaseosa, bebidas refrescantes con bajo contenido de alcohol)
15.0	Aperitivos listos para el consumo
16.0	Alimentos preparados

Fuente: GFSA Online <http://www.fao.org/qsfaonline/additives/details.html?id=307>

7.3 Métodos analíticos para determinar su identidad, pureza y contaminantes (Monografía de especificaciones para aditivos alimentarios, JECFA, 2006).

-Identificación

Solubilidad: Insoluble en agua y en etanol.

Solubilidad en disoluciones alcalinas: Suspender 0.2 g de muestra en 5 mL de agua. Adicionar 1 mL de hidróxido de sodio 3 N y agitar. La muestra se debe disolver.

Formación de gel: Calentar una suspensión al 2% en un baño de agua por 10 minutos y enfriar. Se debe formar un gel firme.

Formación de precipitado con tartrato cúprico. Agregar 5 mL de ácido sulfúrico a 10 mL de una suspensión al 2%, calentar en un baño de agua por 30 min y dejar enfriar. Neutralizar con carbonato de bario. Centrifugar a 900G por 10 min. Agregar 1 mL del sobrenadante a 5 mL de una disolución alcalina caliente de tartrato cúprico. Un precipitado rojo de óxido de cobre se debe formar.

La fuerza del gel no debe ser menor a 600 g/cm² de una suspensión al 2%

Colocar 200 mg de la muestra en un tubo Potter y homogeneizar, agregar 10 mL de agua y homogeneizar a 3500 rpm por 5 minutos. Transferir la suspensión en un tubo de ensayo de 16 mm x 150 mm, quitar el aire en vacío por 3 min y calentar en un baño de agua por 10 hasta formar un gel. Enfriar el tubo en agua por 30 min, después remover el gel del tubo. Cortar el gel con precisión de 20 mm y 30 mm del fondo para obtener una pieza de 10 mm de largo. Determinar la fuerza del gel con un Reómetro Modelo CR-200D (Sun Scientific Co., Ltd., Japan; con una celda de carga de 1,000 g) o equivalente bajo las siguientes condiciones:

Modo de medición: 4

Velocidad de movimiento de la placa: 250 mm/min

Émbolo: cilíndrico, 0.5 cm de diámetro

Leer el punto de rotura del gel (B).

Calcular la fuerza del gel usando la siguiente fórmula: Fuerza del gel (g/cm²) = 1,000B/πr² donde r = el radio del émbolo (cm)

pH: 6.0 a 7.5 al 1% de suspensión acuosa

Pérdida por secado: No más de 10% (60°C por 5 horas en vacío)

Cenizas sulfatadas: No más de 6% en 1 g de muestra

Nitrógeno: No más de 0.3% en 1 g de muestra

-Pureza

El ensayo de aprobación de pureza es calcular la cantidad de glucosa anhidra y no debe ser menor a 80%. El método es el siguiente:

1. Pesar 100 mg de muestra en un matraz volumétrico de 100 mL y disolver en 90 mL de hidróxido de sodio 0.1 N, luego enrasar con la misma disolución de hidróxido y mezclar.

2. Trasvasar 5 mL de la disolución en otro matraz volumétrico de 100 mL llevando al enrase con agua para posteriormente mezclar.

3. Transferir 1 mL a un tubo de ensayo o a un matraz, agregar 1 mL de fenol en agua al 5% m/v y 5 mL de ácido sulfúrico TS. Agitar vigorosamente y enfriar en agua helada.

4. Preparar un blanco y un estándar de referencia de la misma manera usando 0.1 mL de agua y 100 mg de glucosa grado reactivo, respectivamente.

5. Determinar la absorbancia de la muestra y el estándar de referencia en una celda de 1 cm a 490 nm usando el blanco para ajustar el cero del espectrofotómetro.

6. Calcular el contenido en porcentaje de curdlan en la muestra usando la siguiente fórmula/ecuación:

$$\text{Contenido de curdlan (\%)} = (A/AR) \times (0.9 \cdot WR/W) \times 100$$

Dónde

A= La absorbancia de la muestra

AR= La absorbancia del estándar de referencia

0.9 = El peso molecular de la glucosa anhidra dividida entre el peso molecular de la glucosa.

W= El peso de la muestra (mg)

WR= El peso del estándar de glucosa usado como referencia (mg)

-Determinación de contaminantes

Inorgánicos: Plomo no más de 0.5 mg/kg

Mesófilos aerobios por vaciado en placa: < 1,000 UFC/g

E.coli: Negativo en 1 g