



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AGROINDUSTRIAL**

**FORMACIÓN Y PROPIEDADES REOLÓGICAS DE UN
COACERVADO PECTINA DE JÍCAMA-PROTEÍNA DE
LACTOSUERO: APLICACIÓN EN QUESO PETIT SUISSE**

TESIS

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS
EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA**

PRESENTA:

MÉNDEZ ZAMORA GERARDO



MAYO 2010

Chapingo, Estado de México



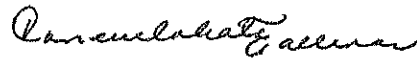
**REGISTRADO EN EL INSTITUTO MEXICANO
DE PROFESIONES Y TÍTULOS DE INGENIEROS
DEPARTAMENTO DE INGENIEROS
ORIGINA DE DOCUMENTOS PROFESIONALES**

**FORMACIÓN Y PROPIEDADES REOLÓGICAS DE UN COACERVADO
PECTINA DE JÍCAMA-PROTEÍNA DE LACTOSUERO: APLICACIÓN
EN QUESO PETIT SUISSE**

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

**MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA
AGROALIMENTARIA**

DIRECTORA:



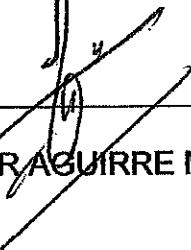
DRA. CONSUELO SILVIA OLIVIA LOBATO
CALLEROS

ASESOR:



DR. HUGO ESPINOSA ANDREWS

ASESOR:



DR. ELEAZAR AGUIRRE MANDUJANO

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por el apoyo en el estudio de mi maestría y el aporte a la investigación nacional.

A la Universidad Autónoma Chapingo por formarme profesionalmente. A la Maestría en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria y al DIA.

A la Dra. Consuelo Lobato Calleros, por el seguimiento, dedicación, esfuerzo, paciencia y apoyo incondicional para la elaboración de esta tesis. Gracias Dra.

Al Dr. Hugo Espinosa Andrews por su tiempo, asesoría y paciencia para la realización de esta investigación.

Al Dr. Eleazar Aguirre Mandujano por la asesoría y observaciones pertinentes en la finalización de este trabajo.

Al Dr. Arturo Hernández Montes por el apoyo brindado. A la Dra. Ofelia Sandoval y M.C. César Ramírez, por su asesoría en esta tesis.

A los Tec. Indalecio, Cecilio, Mauricio y Vicky. A todos los técnicos y administrativos del DIA. A Carmina de la maestría y Rocío de la coordinación.

A todos Gracias.

Dedicatorias

A mis papás: Pablo Méndez Esteban y María del Refugio Zamora Castro, por darme la vida, amor, consejos y apoyo incondicional en mi formación personal y profesional, los amo, quiero.

A mis hermanos: Magdalena, Martha, Catalina, Juan Pablo, Porfirio y Raúl, gracias por su cariño y amistad; agradezco a todos mis sobrinos su cariño.

A todos mis tíos y tías. En especial Agustín y Lucia, Santos y Margarita⁺.

A mis primos: Jaime y Blanca, Isabel, Mariela, Bertha, Ser, Saúl, Juana, Carmen⁺, Bana, Meli, Nena, Paty gracias por su cariño y amistad; a todos mis primas, primos y sobrinos-primos. A toda la familia Méndez y Zamora.

A todos mis amigos: en especial Briza, Blanca, Gerardo I., Dani, Emmanuel, Dzul, Feria, March, César V., Marylu, Fredy Juan Antonio, Doris, amigos de la Maestría, Juan, Uriel, Javis, Chucho, Guiovanni, Octavio, Hedil, Gabriel, Jossue, Ángel, René, Alex, Chapitas, Pablo, Pacq. Gracias por su amistad.

De todo corazón, Gerardo.

Datos biográficos

Ing. Gerardo Méndez Zamora, realizó sus estudios de licenciatura en el Departamento de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Autónoma Chapingo; el título de tesis de licenciatura fue: "*Efecto del contenido de grasa y sólidos no grasos de leche en las características (grasa, tensión, humedad, proteína, rendimiento, cenizas, sodio, calcio y acidez) del queso Oaxaca*". En lo profesional ha trabajado en la industria de productos lácteos y ha tomado cursos de calorimetría, cromatografía y formación de empresas agropecuarias.

FORMACIÓN Y PROPIEDADES REOLÓGICAS DE UN COACERVADO PECTINA DE JÍCAMA-PROTEÍNA DE LACTOSUERO: APLICACIÓN EN QUESO PETIT SUISSE

PREPARATION AND RHEOLOGICAL PROPERTIES OF A JICAMA PECTIN-WHEY PROTEIN COACERVATE: APPLICATION IN PETIT SUISSE CHEESE

Méndez-Zamora G; Lobato-Calleros C. S. O; Espinosa-Andrews H; Aguirre-Mandujano E.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar los efectos de un coacervado de pectina de jicama (PJ)-proteína de lactosuero (WPI), sobre la estabilidad, las propiedades reológicas y la aceptabilidad general de quesos Petit suisse completos y reducidos en grasa. El coacervado PJ-WPI se obtuvo a través de interacciones electrostáticas entre los biopolímeros PJ y WPI (relación de masa 1:10) a pH 4.0, y mostró una estructura de gel predominantemente elástica. Se prepararon cuatro quesos Petit suisse a partir de leche con diferentes contenidos de grasa láctea (1.5 g o 3.0 g 100 g⁻¹) y de coacervado PJ-WPI (0 y 1.5 g 100 g⁻¹). Se determinaron los módulos de almacenamiento (G') y de pérdida (G'') de los quesos en función de deformación y de frecuencia. Los resultados obtenidos en este trabajo mostraron que el coacervado PJ-WPI desempeñó un papel importante en la estructuración y comportamiento reológico de queso Petit suisse. Cuando el coacervado PJ-WPI se adicionó a leche reducida en grasa, se obtuvo un queso Petit suisse reducido en grasa con propiedades reológicas cercanas y aceptabilidad general comparable a la del queso Petit suisse completo en grasa.

Palabras claves: coacervado, queso Petit suisse, reología, grasa láctea.

ABSTRACT

The aim of this work was to evaluate the effects of a pectin jicama (PJ)-whey protein (WPI) coacervate on the stability, rheological properties and overall acceptability of full and reduced fat Petit suisse cheeses. The PJ-WPI coacervate was obtained through electrostatic interactions between PJ and WPI biopolymers (1:10 mass ratio) at pH 4.0, and showed a predominant elastic gel structure. Four Petit suisse cheeses were prepared from milk with different contents of milk fat (1.5 or 3.0 g 100 g⁻¹) and PJ-WPI coacervate (0 and 1.5 g 100 g⁻¹). Cheese storage (G') and loss (G'') moduli as a function of strain and frequency were determined. The results obtained in this work showed that PJ-WPI coacervate played an important role in the structuring and rheological behavior of reduced fat Petit suisse cheese. When PJ-WPI coacervate was added to reduced-fat milk, a reduced-fat Petit suisse cheese with close rheological properties and comparable overall acceptability to that of the full fat Petit suisse cheese was obtained.

Keywords: coacervates, Petit suisse cheese, rheology, milk fat.

**FORMACIÓN Y PROPIEDADES REOLÓGICAS DE UN COACERVADO
PECTINA DE JÍCAMA-PROTEÍNA DE LACTOSUERO: APLICACIÓN EN
QUESO PETIT SUISSE**

ÍNDICE

ÍNDICE	i
ÍNDICE DE CUADROS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
1. Introducción.....	1
2. Objetivos	4
2.1. General.....	4
2.2. Particulares	4
3. Revisión de literatura.....	5
3.1. Jícama.....	5
3.1.1 Producción.....	5
3.1.2 Composición	7
3.2. Definición de fibra dietética y beneficios que proporciona a la salud	8
3.2.1 Componentes de la fibra dietética	9
3.3. Pectina	14
3.3.1 Estructura de la pectina	14

3.3.2	Clasificación de la pectina	15
3.4.	Funcionalidad de la pectina en los alimentos y en particular en los derivados lácteos	16
3.5.	Coacervación	18
3.5.1	Fundamentos bioquímicos en la formación de coacervados.	18
3.5.2	Formulación de coacervados	19
3.6.	Potencial Zeta	23
3.7.	Queso tipo Petit suisse.....	25
3.7.1	Composición	26
3.7.2	Estudios sobre la incorporación de polisacáridos en queso Petit suisse	27
4.	Materiales y métodos	30
4.1.	Materiales.....	30
4.2.	Contenido de humedad	30
4.3.	Extracción de la pectina de jícama (<i>Pachyrhizus erosus</i>)	30
4.4.	Contenido de proteína de la PJ	31
4.5.	Grado de esterificación de la pectina de jícama.....	32
4.6.	Punto de equivalencia de dispersiones de pectina de jícama y proteína de lactosuero	33
4.7.	Medición del potencial Z de la pectina y proteína de lactosuero	33
4.8.	Preparación y formación del coacervado	34

4.9. Contenido de humedad y rendimiento de la fase coacervada.....	35
4.10. Caracterización reológica de los coacervados.	35
4.11. Variaciones de queso tipo Petit suisse	36
4.12. Proceso de elaboración de las variaciones de queso tipo Petit suisse	37
4.13. Composición químico proximal de las variaciones de queso Petit suisse	38
4.14. Grado de sinéresis de las variaciones de queso Petit suisse durante el almacenamiento.....	38
4.15. Propiedades reológicas de las variaciones de queso tipo Petit suisse.	39
4.16. Evaluación de la aceptabilidad global sensorial de las variaciones de queso Petit suisse.....	40
4.17. Análisis de datos	41
5. Resultados y discusión.....	42
5.1. Contenido de pectina en jícama (<i>Pachyrhizus erosus</i>)	42
5.2. Contenido de proteína de la pectina de jícama	42
5.3. Grado de esterificación de la pectina de jícama.....	43
5.4. Potencial Zeta de la pectina de jícama y proteínas de lactosuero.....	44
5.5. Punto de equivalencia de la pectina de jícama y de la proteína de lactosuero	46
5.6. Rendimiento y contenido de humedad del coacervado pectina de jícama-proteína de lactosuero.....	48

5.7. Propiedades reológicas del coacervado pectina de jícama-proteína de lactosuero	50
5.7.1 Barrido de amplitud.....	50
5.7.2 Barrido de frecuencia.....	53
5.8. Composición química, rendimiento y sinéresis de los quesos Petit suisse.....	55
5.9. Caracterización reológica de los quesos Petit suisse.....	59
5.9.1 Barridos de amplitud.....	59
5.9.2 Barridos de frecuencia.....	66
5.10. Evaluación sensorial	70
6. Conclusiones.....	72
7. Bibliografía	73

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Composición química de la jícama (<i>Pachyrhizus erosus</i>).....	7
Cuadro 2. Composición química proximal de queso Petit suisse.	26
Cuadro 3. Códigos de las variaciones de queso Petit suisse, contenidos de grasa láctea y de coacervado de pectina de jícama-proteína de lactosuero en la leche a partir de la que se prepararon.....	36
Cuadro 4. Composición química proximal y sinéresis de las variaciones de queso Petit suisse.	56
Cuadro 5. Valores medios (\pm DE) de los módulos de almacenamiento (G') y de pérdida (G'') en la región viscoelástica lineal, de los quesos Petit suisse.	63
Cuadro 6. Valores medios de los módulos de almacenamiento (G') y de pérdida (G'') a 1Hz de frecuencia, de los quesos Petit suisse.....	68
Cuadro 7. Valores medios (\pm DE) de aceptabilidad global asignados a las variaciones de queso Petit suisse.	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principales estados productores de jícama en México en el año 2008. .	6
Figura 2. Estructura básica de la pectina y su representación esquemática.	15
Figura 3. Tendencias principales en el comportamiento de las mezclas proteína-polisacárido.	21
Figura 4. Variación del potencial Zeta de la pectina de jícama y proteínas de lactosuero en función del pH.	46
Figura 5. Curva de titulación de 0.4 g de pectina de jícama (Miliequivalentes de HCl).	47
Figura 6. Curva de titulación de 0.4 g de proteína de lactosuero (Miliequivalentes de HCl).....	48
Figura 7. Variación de los módulos de almacenamiento (G') y de pérdida (G'') del coacervado pectina de jícama-proteína de lactosuero.	52
Figura 8. Variación del factor de cedencia ($\tan \delta$) del coacervado pectina de jícama-proteína de lactosuero en función de la deformación.	53
Figura 9. Variación de la viscosidad compleja (η^*), los módulos de de almacenamiento (G') y de pérdida (G'') del coacervado pectina de jícama-proteína de lactosuero en función de la frecuencia.	54

Figura 10. Variación de los módulos de almacenamiento (G') y de pérdida (G'') de los quesos Petit suisse en función de la deformación, después de un día de preparados.	60
Figura 11. Variación de los módulos de almacenamiento (G') y de pérdida (G'') de los quesos Petit suisse en función de la deformación, después de siete días de preparados.	61
Figura 12. Variación de los módulos de almacenamiento (G') y de pérdida (G'') de los quesos Petit suisse en función de la deformación, después de catorce días de preparados.....	62
Figura 13. Variación de los valores de $\tan \delta$ de los quesos Petit suisse en función de la deformación, al 1 (a), 7 (b) y 14 (c) días de elaborados.....	65
Figura 14. Variación de los módulos de almacenamiento (G') y de pérdida (G'') de los quesos Petit suisse en función de la frecuencia (Hz), después de un día de preparados.	69
Figura 15. Variación de los módulos de almacenamiento (G') y de pérdida (G'') de los quesos Petit suisse en función de la frecuencia (Hz), después de siete días de preparados.....	69
Figura 16. Variación de los módulos de almacenamiento (G') y de pérdida (G'') de los quesos Petit suisse en función de la frecuencia (Hz), después de catorce días de preparados.....	70

1. Introducción

En la actualidad la población prefiere prevenir, que curar enfermedades (Talwalkar y Kailasapathy, 2004); en particular, una dieta adecuada es una buena estrategia para mantener una salud óptima a través de la vida (Liu *et al.*, 2003). Diversas investigaciones se han realizado con el fin de diseñar, formular y producir “alimentos funcionales”, que proporcionen beneficios a la salud más allá de la nutrición básica. Estos alimentos pueden ser naturales o fortificados con ingredientes que ejercen beneficios a la salud física o mental del individuo que los consume (Beristain *et al.*, 2006). En este sentido, la fibra dietética (FD) cobra importancia como ingrediente alimentario. De acuerdo a su solubilidad intestinal simulada, la FD se clasifica en fibra dietética insoluble (FDI) y fibra dietética soluble (FDS). La FDI incluye lignina, celulosa y hemicelulosas fuertemente unidas; la FDS incluye pectinas, beta-glucanos, hemicelulosas débilmente unidas, mucílagos y una amplia gama de oligosacáridos no digeribles (Wang *et al.*, 2002; Meyer, 2004; Álvarez y Peña-Valdivia, 2009). Los niveles recomendados de ingesta diaria de FD son 38 y 25 g/día para hombres y mujeres, respectivamente; de los cuales una cuarta parte debería ser FDS (Trumbo *et al.*, 2002; Beristain *et al.*, 2006). Los efectos fisiológicos de la FDS o altamente fermentable, se asocian, entre otros, con disminución de los niveles de colesterol en sangre (Keogh *et al.*, 2003), con el control de la glucemia y el control de la diabetes (Ylönen *et al.*, 2003; Ma *et al.*, 2006).

Para promover la ingesta de FD se ha propuesto su incorporación en una amplia variedad de alimentos, incluyendo productos lácteos, tales como yogur y queso reducidos en grasa (Díaz-Jiménez *et al.*, 2004; Noronha *et al.*, 2007). Sin embargo, el consumo de tales alimentos usados como “vehículos de fibra dietética” ha sido limitado, debido a que su aceptación en los consumidores es baja (Titcomb y Juers, 1986). Los componentes de fibra incorporados a los alimentos comúnmente modifican sus propiedades mecánico-sensoriales, reducen su sabor, textura y aceptabilidad visual (Beristain *et al.*, 2006). De esta forma, es de importancia primordial que ingredientes con alto contenido de fibra no tengan efecto adverso en la calidad de los productos a los que se incorporan; por el contrario, es deseable diseñar ingredientes alimentarios ricos en fibra que mejoren la estabilidad y características sensoriales de los productos alimenticios usados como “vehículos de FD” (Tungland y Meyer, 2002). Resulta interesante entonces, la exploración de plantas locales como fuentes novedosas de fibra, en particular de FDS, tal es el caso de la jícama.

La pectina, componente de la FDS de la jícama, es uno de los componentes de la FD más comúnmente usados en la nutrición humana (Serguschenko *et al.*, 2007). Muchas propiedades funcionales de la pectina, como comportamiento reológico, y capacidad enlazante, son dependientes del grado de esterificación, otros parámetros estructurales como el peso molecular y la distribución de los grupos carboxilato metoxilados y libres en las cadenas de ácido galacturónico (Dongowski *et al.*, 1997).

Una opción para el diseño y la estructuración de alimentos ricos en FD, la puede constituir el aprovechamiento de interacciones entre biopolímeros; por ejemplo, las interacciones entre proteínas contenidas en el alimento y polisacáridos de la fibra, como las pectinas. Las interacciones entre biopolímeros contribuyen de manera importante a las propiedades microscópicas y macroscópicas de los productos alimenticios, tales como estructura, estabilidad, textura y características sensoriales. Las interacciones proteína-polisacárido dependen principalmente de la estructura química de los polisacáridos involucrados y las condiciones de la solución (pH, fuerza iónica, temperatura, etc.) (de Kruif *et al.*, 2004; Espinosa *et al.*, 2007). Las moléculas de proteína pueden interactuar con cadenas de polisacáridos para formar un coacervado, caracterizado por dos fases: el coacervado y el sobrenadante (Wang *et al.*, 2007).

Con base en lo expuesto, en este trabajo se estudió la formación de un coacervado de pectina de jícama-proteína de lactosuero, su comportamiento reológico y su efecto sobre la estabilidad, las propiedades reológicas y la aceptabilidad global de quesos Petit suisse completos y reducidos en grasa.

2. Objetivos

2.1. General

- Evaluar los efectos de un coacervado de pectina de jícama (PJ)-proteína de lactosuero (WPI), sobre la estabilidad, las propiedades reológicas y la aceptabilidad general de quesos Petit suisse completos y reducidos en grasa.

2.2. Particulares

- Determinar el grado de esterificación, contenido de proteína y rendimiento de pectina de jícama.
- Determinar el potencial zeta de la pectina de jícama y de la proteína de lactosuero para determinar el pH óptimo al cual pueden interactuar estas moléculas.
- Establecer las condiciones necesarias (pH y concentraciones de biopolímeros) para la formación de un coacervado pectina de jícama-proteína de lactosuero.
- Determinar las propiedades reológicas del coacervado pectina de jícama-proteína de lactosuero mediante pruebas oscilatorias.
- Determinar el efecto de la incorporación del coacervado pectina de jícama-proteína de lactosuero en la estabilidad y las propiedades mecánicas de queso tipo Petit suisse completo y reducido en grasa, mediante la cuantificación de expulsión de suero y la aplicación de pruebas reológicas oscilatorias, respectivamente.
- Determinar la aceptabilidad global sensorial de los quesos Petit suisse.

3. Revisión de literatura

3.1. Jícama

La jícama es una hortaliza originaria de México y América Central, cuya raíz tuberosa es rica en FD tanto soluble (pectina) como insoluble (celulosa, hemicelulosas) (Alanis-Guzmán *et al.*, 2003). La raíz de jícama (*Pachyrhizus erosus*) presenta color café; forma parecida a la cebolla, aunque es más grande; es dura, quebradiza y con pulpa jugosa. Las raíces de jícama pueden ser cosechadas en varios estados de desarrollo: raíces tiernas (100-150 g), cosechadas de plantas en desarrollo, encontradas en mercados muy especializados, y raíces completamente desarrolladas, que pueden pesar entre 250-1500 g. La jícama, además se caracteriza por poseer una peridermis completamente desarrollada, gran tamaño y una combinación entre sabor dulce y almidonoso (Cantwell, 2006).

3.1.1 Producción

La producción de jícama en México tiene gran importancia; en el año 2008, se sembraron 6 875.85 Has, que produjeron 180 033.95 Ton, con un valor comercial de 479 011.81 miles de pesos (SIAP, 2008). Aunque la producción de jícama se encuentra ampliamente distribuida en la República Mexicana, los estados de Nayarit con 61 mil Ton, Veracruz 28.9 mil Ton, Morelos 25.5 mil Ton, Puebla, y Guanajuato con más de 17 mil Ton, aportaron el 86.7 % de la

producción en el año 2008, seguidos de los estados de Guerrero, Michoacán, Sinaloa, Jalisco y Colima, en orden de importancia (Fig. 1).

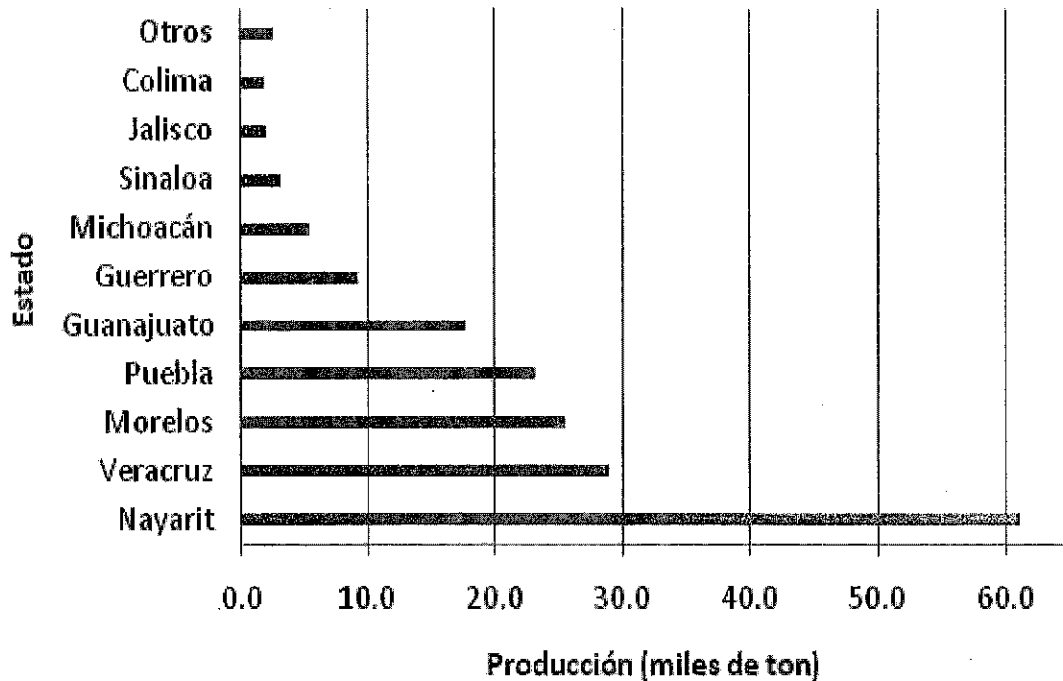


Figura 1. Principales estados productores de jícama en México en el año 2008.
Fuente: SIAP (2008).

No existen datos estadísticos registrados sobre el volumen de las exportaciones mexicanas de este producto, aún cuando es un hecho que hay un creciente aumento en las exportaciones a los Estados Unidos de Norteamérica. El mercado de exportación del producto genera interés debido al diferencial de precios con el mercado nacional. Tomando como base los precios de febrero de 2006, esta raíz sin transformar se cotizó en California a 0.45 dólares/kg

mientras que en el mercado mexicano alcanzó 0.33 dólares/kg (Mercado, 2006).

3.1.2 Composición

La composición en nutrimentos de la jícama se muestra en el cuadro 1, pudiendo observarse que su contenido en fibra cruda es de 1.4 (g/100 g) en base húmeda; este valor representa más de 5 veces el valor de otros productos como la papa (con 0.13 g/100 g) y el camote con 0.29 g/100 g (Noman *et al.*, 2007).

Cuadro 1. Composición química de la jícama (*Pachyrhizus erosus*).

Nutrimento	g/100g (base húmeda)
Humedad	82.1 ± 2.24
Cenizas	0.5 ± 0.12
Lípidos	0.1 ± 0.04
Proteína	1.23 ± 0.13
Fibra cruda	1.4 ± 0.14
Carbohidratos	14.9 ± 0.04
Energía (kcal)	39 ± 1.23

Fuente: Noman *et al.* (2007).

3.2. Definición de fibra dietética y beneficios que proporciona a la salud

No existe una definición universal para fibra dietética (FD), algunas de las más relevantes se exponen a continuación. El Programa sobre Normas Alimentarias, en el que participan en conjunto la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) (2007), define a la FD como polímeros de carbohidratos con un grado de polimerización (GP) no inferior a 3, que no son digeridos ni absorbidos en el intestino delgado. Un GP no inferior a 3 tiene por objeto excluir a los mono- y disacáridos. Este mismo programa establece que la FD consta de uno o varios de los siguientes polímeros: carbohidratos comestibles que se encuentran naturalmente en los alimentos en la forma en que se consumen, carbohidratos obtenidos de materia prima alimentaria por medios físicos, enzimáticos o químicos y carbohidratos sintéticos.

La American Association of Cereal Chemists (2001) definió a la FD como la parte comestible de las plantas o hidratos de carbono análogos que son resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado, con fermentación completa o parcial en el intestino grueso. La FD ejerce un efecto amortiguador y enlaza el exceso de ácido clorhídrico en el estómago, incrementa el volumen fecal, estimula la peristalsis intestinal y proporciona un ambiente favorable para el crecimiento de la flora intestinal deseable. En el tracto digestivo los

componentes de la FD enlazan un número de sustancias, incluyendo colesterol y jugos gástricos (Veldman *et al.*, 1997; Jenkins *et al.*, 1998; Jiménez-Escrig y Sánchez-Muniz, 2000). La FD también juega un papel importante en la prevención y tratamiento de obesidad, aterosclerosis, enfermedades coronarias, cáncer de colon y diabetes (Ferguson y Harris, 2003; Champ y Guillon, 2000).

3.2.1 Componentes de la fibra dietética

Los componentes de la FD son sustancias de origen vegetal, hidratos de carbono o derivados de los mismos, excepto la lignina, que resisten la hidrólisis por las enzimas digestivas de los seres humanos y llegan intactos al colon, donde algunos pueden ser hidrolizados y fermentados por la flora del colon (Escudero y González, 2006). Meyer (2004) propuso que la FD es una parte integral de los productos alimenticios que consumimos diariamente; las principales fuentes de FD son vegetales, cereales, granos, frutas, legumbres, leguminosas, etc. A continuación se proporciona una breve descripción de algunos de los componentes de la FD.

Ligninas: son polímeros, no polisacáridos, que resultan de la unión de varios alcoholes fenilpropílicos; contribuyen a dar rigidez a la pared celular haciéndola resistente a impactos y flexiones. La lignificación de los tejidos también permite

mayor resistencia al ataque de los microorganismos. La lignina no se digiere ni se absorbe ni tampoco es atacada por la microflora bacteriana del colon. Una de sus propiedades más interesantes es su capacidad de unirse a los ácidos biliares y al colesterol, retrasando o disminuyendo su absorción en el intestino delgado. La lignina es un componente alimentario menor. Muchas verduras, hortalizas y frutas contienen un 0,3% de lignina, en especial en estado de maduración. El salvado de cereales puede llegar a un 3 % de contenido en lignina (Escudero y González, 2006).

Celulosa: Es un polisacárido lineal no ramificado constituido solo por unidades de glucosa, más de 10 000 unidades por molécula. Las moléculas lineales son empacadas como fibras largas en una estructura que es muy insoluble y resistente a la digestión por enzimas humanas. La celulosa es el principal componente de la pared celular de la mayoría de las plantas y en consecuencia está presente en frutas, vegetales y cereales. Mucha de la fibra en el cereal de salvado es celulosa. La celulosa constituye cerca del 25 % de la FD en granos y frutas y del 33 % en vegetales y nueces (Gray, 2006).

Hemicelulosas: Son polisacáridos que contienen azúcares distintos a la glucosa, y están asociados con la celulosa en las paredes celulares de las plantas. Incluyen tanto moléculas lineales como ramificadas, más pequeñas que la celulosa; típicamente contienen de 50 a 200 unidades de pentosa (xilosa y

arabinosa) y unidades de hexosas (glucosa, galactosa, manosa, ramnosa, ácido glucurónico y ácido galacturónico). El término hemicelulosa describe entonces, un grupo heterogéneo de estructuras químicas que están presentes en alimentos vegetales en formas solubles e insolubles en agua. Aproximadamente una tercera parte de la FD en vegetales, frutas, legumbres y nueces consiste de hemicelulosas (Gray, 2006).

β-glucanos: son polímeros de glucosa. A diferencia de lo que ocurre en la celulosa, las uniones entre las unidades son variables; éstas presentan estructura ramificada y son de tamaño más pequeño. Estas propiedades influyen en su solubilidad, habilitándolos para formar soluciones viscosas. Los *β-glucanos* son componentes mayoritarios del material de la pared celular en avenas y granos de cebada, pero están presentes en pequeñas cantidades en trigo (Gray, 2006).

Pectinas: son polisacáridos solubles en agua caliente y forman geles por enfriamiento. Están constituidas principalmente por cadenas de ácido galacturónico. Se encuentran en las paredes celulares y tejidos intracelulares de frutas y vegetales y son usadas como agentes gelantes y espesantes en varios productos alimenticios. Aunque las frutas contienen la mayoría de la

pectina; ésta también representa del 15 al 20 % de la FD en vegetales, legumbres y nueces (Gray, 2006).

Oligosacáridos no digeribles: oligosacáridos no digeribles con GP de 3 a 10, se encuentran de manera natural en vegetales, cereales y frutas. También pueden ser sintetizados química o enzimáticamente a partir de monosacáridos y disacáridos u obtenidos por hidrólisis enzimática a partir de polisacáridos. Los oligosacáridos no digeribles son incluidos en la definición de FD debido a que exhiben efectos fisiológicos similares a sus polisacáridos más grandes, como resultado su no digestibilidad. Estos oligosacáridos generalmente son altamente fermentables y algunos presentan propiedades prebióticas. Los más conocidos como prebióticos son los fructanos, los cuales incluyen los fructooligosacáridos u oligofruktosas, obtenidos a partir de la hidrólisis de inulinas (con grado de polimerización de 3 a 60) y sus análogos sintéticos obtenidos mediante síntesis enzimática a partir de sacarosa. Las cebollas y chicoria son las fuentes dietéticas principales de los fructanos, de los cuales la inulina y los fructooligosacáridos son obtenidos. No todos los oligosacáridos no digeribles son universalmente permitidos para uso en alimentos. Los fructooligosacáridos y ciertos galactooligosacáridos son permitidos en la mayoría de los países europeos, EUA y Canadá. Japón permite el uso en alimentos de una gama más amplia de oligosacáridos no digeribles (Escudero y González, 2006; Gray, 2006).

Gomas y mucílagos: son derivados de exudados de plantas (goma arábiga y tragacanto), semillas (guar y goma de algarrobo) y extractos de algas (agar, carrageninas y alginatos). Los mucílagos están presentes en células de las capas más externas de algunas semillas; por ejemplo, semillas del plántago, flores de malva y semillas de lino (Escudero y González, 2006; Gray, 2006).

Aunque se considera que deben desaparecer de la nomenclatura sobre fibra términos como soluble/insoluble, fermentable/no fermentable y viscosa/no viscosa, estas propiedades son la base de sus beneficios fisiológicos por lo que desde un punto de vista práctico sería una clasificación apropiada la siguiente: fibra fermentable, soluble y viscosa y fibras escasamente fermentables, insolubles y no viscosas (García y Álvarez de Frutos, 2000). Las propiedades mencionadas dependen de la composición de la fibra.

Las fibras solubles, en contacto con el agua forman un retículo, originándose dispersiones de gran viscosidad. Los efectos derivados de la viscosidad de la fibra son los responsables de sus acciones sobre el metabolismo lipídico, hidrocarbonado y en parte su potencial anticarcinogénico. Las fibras insolubles o poco solubles, son capaces de retener el agua en su matriz estructural, formando mezclas de baja viscosidad; esto produce un aumento de la masa fecal que acelera el tránsito intestinal. Es la base para utilizar la fibra insoluble en el tratamiento y prevención de la constipación crónica. Por otra parte

también contribuye a disminuir la concentración y el tiempo de contacto de carcinogénicos potenciales con la mucosa del colon (Kin, 2000).

3.3. Pectina

Las pectinas son una familia de polisacáridos complejos y variados, extraídos de algunos vegetales (Canteri-Schemin *et al.*, 2005), y constituyen aproximadamente una tercera parte de la materia seca de la pared celular de las plantas dicotiledóneas y de algunas monocotiledóneas. Químicamente la pectina consiste de polímeros lineales de ácido D- α -(1-4) anhidrogalacturónico. Algunos de los grupos carboxilo de las moléculas de ácido galacturónico se encuentran metil esterificados y el porcentaje de grupos esterificados es expresado como el grado de esterificación (Thakur *et al.*, 1997).

3.3.1 Estructura de la pectina

El término pectina describe a una familia formada por oligosacáridos y polisacáridos, extremadamente diversos en su estructura. La estructura de la pectina está compuesta por cadenas de ácido galacturónico (GalA) (Fig. 2) y contienen también pequeñas cantidades de restos de β -L-ramnosa y otras unidades neutras (galactosa, arabinosa, xilosa). Los residuos de ácido α -D-galacturónico con la conformación $4C_1$, están unidos por enlaces (1 \rightarrow 4)

formando la cadena principal (Brent *et al.*, 2001; William *et al.*, 2006; Pelloux *et al.*, 2007; Lutz *et al.*, 2008).

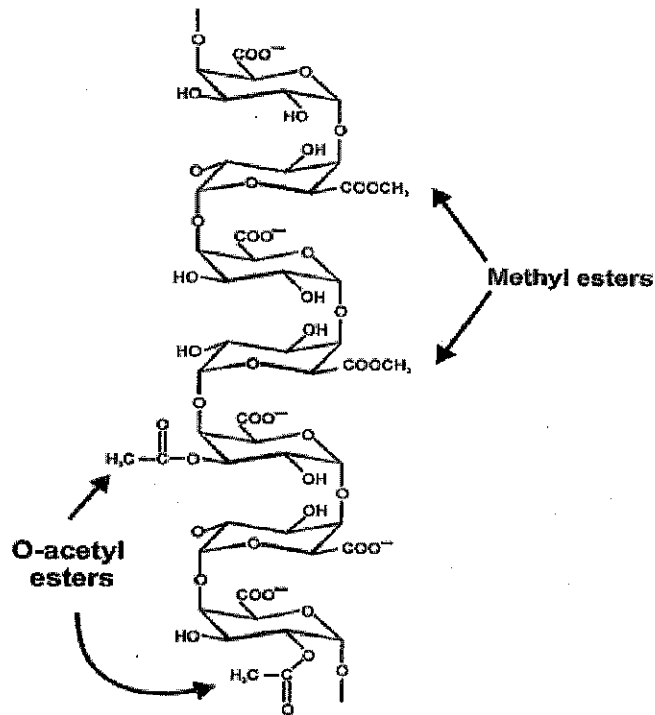


Figura 2. Estructura básica de la pectina y su representación esquemática.

Fuente: Ridley *et al.* (2001).

3.3.2 Clasificación de la pectina

En su estado natural, el ácido galacturónico está esterificado con metanol en distintos grados. Por definición, las preparaciones en las que más de la mitad (> 50 %) de los grupos carboxílicos están en forma de grupos metiléster (-COOCH₃) son clasificadas como pectinas de alto metoxilo o muy metoxiladas; los grupos carboxílicos no esterificados estarán presentes como una mezcla de

grupos libres (-COOH) y en forma de sal (-COO⁻Na⁺). Las preparaciones en las que menos de la mitad (< 50 %) de los grupos carboxílicos están en forma de grupos metiléster se denominan pectinas de bajo metoxilo o poco metoxiladas (Fennema, 1996).

3.4. Funcionalidad de la pectina en los alimentos y en particular en los derivados lácteos

La pectina constituye un ingrediente ampliamente usado en la industria alimentaria. La proporción de grupos carboxilo esterificados a lo largo de la cadena del polímero determina su funcionalidad. Debido a su habilidad para formar dispersiones viscosas, las pectinas de alto metoxilo se usan para regular la viscosidad de sistemas alimenticios, como jugos de frutas, bebidas lácteas ácidas y postres lácteos. En productos conteniendo menos de 55 % de sólidos, las pectinas de alto metoxilo actúan como espesantes, más que como formadores de geles (Gerlat, 2000). Por su parte, las pectinas de bajo metoxilo, poseen la habilidad de formar estructuras de gel en un amplio rango de valores de pH y de concentración de sólidos. La formación de estos geles surge como resultado de fuertes interacciones entre iones calcio y segmentos del ácido galacturónico (Braccini y Pérez, 2001). Lobato-Calleros *et al.* (2009) formularon yogur y productos tipo quesos bajos en grasa con emulsiones múltiples estabilizadas con pectina de bajo metoxilo como sustitutos de grasa láctea. Los

productos lácteos resultantes exhibieron propiedades similares a aquellas de sus contrapartes completas en grasa.

Las pectinas tienen gran aplicación como estabilizantes de bebidas lácteas acidificadas, las cuales comprenden un grupo diverso de productos, desde aquellos preparados a partir de leche fermentada conteniendo estabilizantes y azúcar, incluyendo yogur, hasta aquellos preparados por acidificación directa de la leche con jugos de frutas y/o ácidos. Los bajos valores de pH (3.4 a 4.6) de estos productos, originan inestabilidad de las micelas de caseína, por lo cual es necesaria la adición de un estabilizador que prevenga la agregación de la proteína y conduzca a una adecuada sensación bucal (Nakamura *et al.*, 2006; Janhøj *et al.*, 2008). Es ampliamente aceptado que las pectinas a valores bajos de pH (~5), se adsorben a las micelas de caseína, constituyendo una barrera física a su agregación (Tuinier *et al.*, 2002).

Además de los beneficios que representan las propiedades funcionales de las pectinas en los alimentos, éstas constituyen una buena fuente como fibra dietética (Beristain *et al.*, 2006).

3.5. Coacervación

3.5.1 Fundamentos bioquímicos en la formación de coacervados.

La formación de un biopolímero-biopolímero supramolecular en estructuras complejas y coacervados, es inducida por interacciones electrostáticas, siendo un fenómeno fundamental fisicoquímico relevante en un número conocido de procesos biológicos, como la transcripción proteínica, reacciones antígeno-anticuerpo o reacciones enzimáticas (Turgeon *et al.*, 2007). Los polielectrolitos son polímeros que desarrollan carga sustancial cuando se disuelven o “hinchán” en un disolvente altamente polar como el agua (Walstra, 2003). Los polisacáridos son biomacromoléculas polielectrolitos o poliiones, debido a las cargas que surgen en numerosos grupos funcionales ionizados localizados a lo largo de su estructura básica. Las proteínas por su parte, son conocidas como anfólitos, debido a que contienen simultáneamente cargas positivas y negativas en su estructura básica. La mayoría de los polisacáridos son polielectrolitos aniónicos, tales como la goma arábiga, la pectina, la goma de mezquite, la carragenina, etc. El quitosano es el único polisacárido catiónico pseudonatural (Rinaudo *et al.*, 2005).

Interacciones atractivas entre dos biopolímeros pueden ser evidentes en varias formas: i) formación de complejos solubles pequeños, manifestándose en dispersiones turbias; ii) formación de un gel homogéneo débil, si las

interacciones son débiles y iii) precipitación de ambos biopolímeros si las interacciones son fuertes (Walstra, 2003). En el último caso, la neutralización mutua de las cargas eléctricas de signo opuesto, disminuye la carga neta y el carácter hidrofílico de los biopolímeros, y promueve una conformación compacta del complejo con las zonas de unión orientadas hacia el interior hidrofóbico. La neutralización de cargas de un polisacárido aniónico puede también reducir la rigidez de las cadenas, debido a que disminuyen las interacciones repulsivas entre grupos con cargas semejantes. Estos arreglos intermoleculares dan lugar a la separación de dos fases coexistentes, una rica en disolvente y la otra pobre en disolvente, consistiendo de un coprecipitado de ambos biopolímeros. A este fenómeno se le conoce como coacervación compleja (Dickinson, 1995; de Kruif y Tuinier, 2001; Tolstoguzov, 2003). Los coacervados tienen muchas aplicaciones en los campos de biotecnología, la industria farmacéutica, la industria alimentaria, y su aplicación específica dependerá de su estructura y propiedades reológicas (Espinosa-Andrews *et al.*, 2010).

3.5.2 Formulación de coacervados

Normalmente existen dos tipos de coacervación: simple y compleja: la coacervación simple ocurre cuando el sistema contiene solamente una sustancia coloidal como soluto; mientras que la coacervación compleja se produce en sistemas que contienen más de un coloide. La coacervación simple

se produce cuando al sistema coloidal se le adicionan sustancias fuertemente hidrofílicas, lo que provoca la separación de dos fases, una que contiene una alta cantidad de la sustancia coloidal y otra conteniendo una muy baja cantidad de la sustancia coloidal. La coacervación compleja se produce cuando reaccionan dos sustancias de tipo coloidal produciendo un complejo que tiene una solubilidad menor que la de los coloides en forma separada. Un ejemplo característico, es la interacción de la goma arábiga con la gelatina en condiciones apropiadas (Kumar, 2006).

Cuando dos biopolímeros diferentes se mezclan pueden formar una sola fase o un sistema de dos fases en función de la naturaleza de los biopolímeros que participan, la composición de la solución y las condiciones ambientales (Fig. 3). En un sistema de una fase, los dos biopolímeros pueden existir como moléculas individuales o como complejos solubles que se distribuyen uniformemente en todo el sistema (Fig. 3.b). En un sistema de dos fases, la solución se separa en dos fases distintas que tienen composiciones biopoliméricas diferentes (Fig. 3a); esta separación puede ocurrir a través de dos mecanismos físico-químicos diferentes: separación asociativa y repulsiva (McClements, 2006).

En la separación asociativa, hay una atracción relativamente fuerte entre los dos diferentes tipos de biopolímeros que les lleva a asociarse o atraerse entre sí, el ejemplo más común es la atracción electrostática entre las moléculas con

cargas eléctricas opuestas. El resultado es un sistema que consiste de dos fases: una rica en ambos biopolímeros y otra pobre en los dos biopolímeros (Fig. 3c). La fase rica en biopolímeros forma un coacervado o precipitado, dependiendo de la fuerza de atracción y la naturaleza de los polímeros involucrados (McClements, 2006).

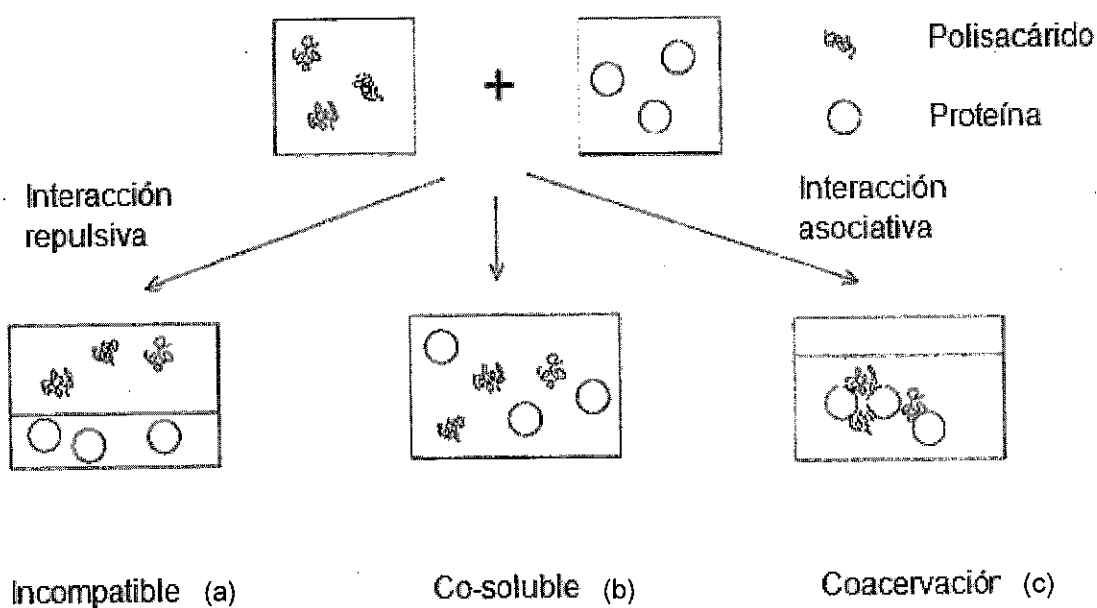


Figura 3. Tendencias principales en el comportamiento de las mezclas proteína-polisacárido.

Fuente: de Kruif, *et al.*, 2001.

En soluciones muy diluidas el sistema es estable pero al aumentar la concentración de los biopolímeros el sistema puede volverse inestable (dependiendo del tipo de interacción) y las mezclas de biopolímeros tienden a segregarse. Una mezcla de polisacáridos y proteínas también puede ser

inestable cuando las interacciones asociativas se presentan, en este caso, ocurre la adsorción del polisacárido en la superficie de la proteína. Si la cantidad de polímero no es lo suficientemente grande para cubrir la proteína, el polisacárido puede adsorberse a más de una superficie de las proteínas, provocando así la atracción entre dos o más partículas de proteína. Este proceso se llama también coacervación compleja. En resumen, los polisacáridos adsorbidos en las proteínas inducen la atracción entre las proteínas y partículas coloidales (de Kruif, *et al.*, 2001).

En la separación repulsiva, hay una repulsión relativamente fuerte entre los dos diferentes tipos de biopolímeros, es decir, hay una energía libre positiva relativamente alta (desfavorable) de la mezcla. Este tipo de separación de fases a menudo se produce cuando uno o ambos biopolímeros son sin carga, o también ambos biopolímeros tienen cargas eléctricas similares. Dos biopolímeros en concentraciones bajas y bien mezclados forman una fase en solución, pero una vez que la concentración de biopolímeros excede cierto nivel, ocurre una separación y se produce una solución de dos fases: una rica en un tipo de biopolímero y pobre en el otro polímero y viceversa (Fig. 3^a, b ó c).

3.6. Potencial Zeta

El potencial Zeta (Z) es una medida de la magnitud de la repulsión o atracción entre partículas, por lo que su medición es una herramienta importante para el conocimiento sobre los mecanismos de dispersión y atracción de partículas coloidales. Generalmente, la mayoría de las superficies sólidas tienen cargas electrostáticas cuando están en contacto con un medio líquido. Si el líquido contiene un número pequeño de iones (por ejemplo, debido a impurezas), la carga electrostática sobre la superficie sólida atraerá los iones de carga eléctrica de signo opuesto (contra-iones) del líquido. El re-arreglo de las cargas sobre la superficie sólida y las cargas en el líquido es llamado como la doble capa eléctrica (EDL) o capa Debye. Debido a la interacción electrostática, la concentración de contra-iones cerca de la superficie sólida es más alta que en el seno del líquido, lejos de la superficie. Inmediatamente próxima a la superficie, hay una capa de iones que están fuertemente atraídos a la superficie sólida y son inmóviles. Esta capa es llamada capa compacta, normalmente de menos de 1 nm de grosor. A partir de la capa compacta hacia el seno del líquido uniforme, la concentración de contra-iones disminuye gradualmente. Los iones en esta región son menos afectados por la interacción electrostática y son móviles. Esta capa es llamada capa difusa de la EDL. El grosor de la capa difusa depende de la concentración de iones en el seno del líquido y de las propiedades del líquido, variando de unos pocos nanómetros para soluciones de concentración iónica alta hasta varios micrómetros para agua destilada y líquidos orgánicos puros. El límite entre la capa compacta y la capa difusa es

usualmente referido como el plano de corte. El potencial eléctrico en la superficie sólido-líquido es difícil de medir directamente; sin embargo, el potencial eléctrico en el plano de corte, llamado potencial Z, es una propiedad del par sólido-líquido y puede ser medido experimentalmente (Erickson *et al.*, 2000).

La magnitud del potencial Z proporciona información sobre la estabilidad del sistema coloidal. Si todas las partículas en suspensión tienen un potencial Z elevado, positivo o negativo, entonces tenderán a repelerse unas de otras y no habrá tendencia a su agregación. Por el contrario, si las partículas tienen valores de potencial Z bajos, no habrá fuerzas que prevengan la agregación de las partículas y su floculación. En medio acuoso, el pH de la muestra es uno de los más importantes factores que afectan su potencial Z. Si a una partícula en suspensión que presenta un potencial Z, se le añade más álcali, las partículas tenderán a adquirir mayor carga negativa. Si por el contrario, se añade ácido a esta suspensión se alcanzará un punto en el que la carga será neutralizada. La adición de más ácido causará una carga positiva. La curva pH contra potencial Z, será positiva a bajo pH o negativa a alto pH. Puede haber un punto donde la gráfica pase a través de un potencial Z igual a cero. Este punto es llamado el punto isoeléctrico; normalmente es el punto en el que el sistema coloidal es menos estable (Malvern Instruments, 2010a).

El potencial Z es medido por la aplicación de un campo eléctrico a través de la dispersión. Las partículas dispersas con un potencial Z migrarán hacia el electrodo de carga opuesta con una velocidad proporcional de la magnitud del potencial Z (Malvern Instruments, 2010b).

3.7. Queso tipo Petit suisse

Este tipo de queso, desarrollado por Charles Chervais en 1850, es elaborado a partir de leche entera, descremada o semidescremada, mediante coagulación mixta (ácida y enzimática); pudiendo adicionar condimentos dulces o salados. El queso Petit suisse posee consistencia fresca, cremosa, untable y contiene un extracto seco de 16 % en promedio. El queso tipo Petit Suisse es consumido principalmente por niños (Yukie, 2006). Los cultivos lácticos comúnmente empleados para la elaboración de este queso son *Streptococcus thermophilus* y en poca cantidad *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, *Lb. helveticus*, *Lb. Lactis*, y *Lactococcus* spp (Cabeza, 2006). El queso Petit suisse muestra características viscoelásticas, textura suave y estable. Las pruebas oscilatorias dinámicas (no destructivas), son técnicas reológicas eficaces para medir las propiedades de estos quesos (Veiga *et al.*, 2000).

3.7.1 Composición

La Norma Oficial Mexicana (NOM-121-SSA1-1994), clasifica al queso Petit suisse como fresco, acidificado, permitiendo sólo la presencia de colorantes orgánicos sintéticos como efecto de transferencia de los ingredientes opcionales. Se permite el uso de espesantes como: agar-agar, alginatos, carragenina, goma arábica, goma de algarrobo, pectina y grenetina. La composición de este queso (cuadro 2) puede variar dependiendo de la región donde se elabore y de la leche utilizada.

Cuadro 2. Composición química proximal de queso Petit suisse.

Componente	g/100 g
Agua	68.1
Proteína	14.1
Grasa	14.0
Cenizas	3.8
Fibra dietética	0.0
Energía (Kcal)	182.0

Fuente: FAO, 2002.

La Secretaría de Economía (2007) considera como queso Petit suisse, al queso semiduro con composición: humedad (68-70 %), grasa en base húmeda (6-8

%), extracto seco (30-32 %), proteína mínima (6 %) y fermentos con o sin adición de frutas, azúcares, verduras, chocolate o miel.

3.7.2 Estudios sobre la incorporación de polisacáridos en queso Petit suisse

Las grasas están presentes en la mayoría de los alimentos para proporcionarles un sabor agradable, textura y apariencia; la cremosidad se asocia con indicadores de riqueza y alta calidad de algunos productos alimenticios, especialmente los que contienen grasas. En la reducción del contenido graso de los alimentos, se considera como clave importante el efecto reológico de la grasa a través del uso de los sistemas en la sustitución de grasa (Mahmood *et al.*, 2008).

Maruyama *et al.*, (2006), determinaron la textura instrumental de queso Petit suisse incorporado con diferentes combinaciones de gomas: xantana, carragenina, guar y pectina. Estos autores diseñaron tres formulaciones de queso Petit suisse, sustituyendo 0.75 % (p/p) del total del producto por las siguientes combinaciones de gomas: F1 (0.1875% xantana, 0.1875% carragenina, 0.375% guar y 0% pectina); F2 (0.15% xantana, 0.225% carragenina, 0% guar y 0.375% pectina) y F3 (0% xantana, 0.375% carragenina, 0.375% guar y 0% pectina). Las distintas formulaciones de quesos

presentaron diferencias significativas en los parámetros de textura estudiados, principalmente en firmeza. La formulación F1 contribuyó en mayor grado a la estabilidad del queso durante el almacenamiento. Los valores de gomosidad disminuyeron significativamente respecto a la estabilidad proporcionada por la interacción entre las gomas y demás componentes de cada formulación.

Veiga *et al.*, (2000), evaluaron seis marcas comerciales de queso Petit suisse conteniendo distintos biopolímeros: A (guar, xantana); B (pectina y concentrado de proteína de suero); C (pectina); D (guar y carragenina); E (guar y algarrobo) y F (algarrobo). Los quesos mostraron diferencias en su composición química, pero en general presentaron una capacidad de retención de humedad similar. El queso E mostró el comportamiento pseudoplástico más alto, así como valores elevados de índice de consistencia y viscosidad aparente; mientras que el queso C, formulado sólo con pectina, presentó la tasa de corte más alta y los valores más bajos de índice de consistencia y viscosidad aparente.

El uso de sustitutos de grasa en la elaboración de queso y análogos bajos en grasa es con el propósito de desarrollar propiedades mecánicas en el producto para que cumplan con las expectativas sensoriales de los consumidores. Los sustitutos de grasa influyen de distinta manera en la composición química, el arreglo estructural y el comportamiento mecánico del producto, de acuerdo a características particulares como la naturaleza química, capacidad ligante,

actividad emulsificante, nivel de microparticulación y distribución e interacción con otros componentes del alimento (McMahon *et al.*, 1996; Everett y Auty, 2008).

Sin embargo, poco ha sido estudiado respecto a la proporción en composición que deben guardar el sustituto de grasa, la grasa y la humedad, para que las propiedades mecánicas del queso bajo en grasa sean similares a las del producto completo en este componente (Lobato *et al.*, 1999).

4. Materiales y métodos

4.1. Materiales

Se adquirió jícama de la variedad Morelos (*Pachyrhizus erosus*) en el mercado proveniente del estado de Veracruz, para la obtención de pectina. La proteína de lactosuero que se utilizó fue de la marca comercial WPI HilmarTM; Hilmar, CA, EUA (93 % de proteína).

4.2. Contenido de humedad

Se determinó el contenido de humedad de la jícama, mediante el método de secado por estufa (920.151, AOAC, 1995). Tres gramos de jícama finamente picada colocados en crisoles a peso constante, se secaron en una estufa a 85 °C durante 4 h. Con base en los resultados de humedad se calcularon los sólidos totales de este tubérculo.

4.3. Extracción de la pectina de jícama (*Pachyrhizus erosus*)

Las jícamas se lavaron con agua y jabón, pelaron y molieron con una disolución de oxalato de amonio (ReasolMR, México, D.F.) (0.5 g/100 mL) en una relación jícama-disolución de 1:2 (licuadora industrial, modelo CB-6, Waring Products Division, New Hartford, CT, EUA). La pectina de jícama (PJ) se extrajo mediante el método propuesto por Álvarez y Peña-Valdivia (2009). La mezcla

jícama-disolución de oxalato de amonio se colocó en tubos eppendorf y se calentó en baño de agua (85 °C, 30 min) para solubilizar la PJ. El sobrenadante conteniendo la PJ, se separó de la fase sólida (remanente vegetal) por centrifugación (3500 rpm, durante 10 min) (PR-J Centrifuge, DAMON/IEC, MA, EUA). La PJ se precipitó del sobrenadante mediante la adición de una mezcla etanol-HCl (99:1) (3 ± 2 °C), en una relación sobrenadante-mezcla etanol-HCl de 1:3, durante 12 h, a temperatura de refrigeración (4 ± 1 °C). La PJ se recuperó por centrifugación (3500 rpm, 10 min) y purificó por diálisis contra agua desionizada (membranas para diálisis, No. 6, Spectrum Laboratories, Inc. CA, EUA). La PJ pura se congeló a -4 °C (Refrigerador Whirlpool 11' modelo WT1503 D, Whirlpool Corporation, MI, EUA) y liofilizó (Liofilizador modelo 195, ©LABCONCO Corp., Lyph Lock® 4.5, Kansas City, MO, EUA) a una temperatura de -47 °C y presión de 0.096 mBar. La PJ liofilizada se guardó en frascos sellados herméticamente para su posterior análisis.

4.4. Contenido de proteína de la PJ

El contenido de proteína asociado a la PJ se determinó mediante el método Kjeldahl (978.04, AOAC, 1995).

4.5. Grado de esterificación de la pectina de jícama

El grado de esterificación (DE) de la PJ se determinó por el método del Food Chemical Codex (FCC, 1981) y USP 26 NF 21 (2003) con modificaciones ligeras (Singthong *et al.*, 2004). Una cantidad de 500 mg de pectina deshidratada se colocó en un matraz erlenmeyer de 250 mL, se humedeció con 2 mL de etanol y disolvió en 100 mL de agua libre de dióxido de carbono. Se añadieron 5 gotas de fenolftaleína a la muestra disuelta y se procedió a su titulación con hidróxido de sodio 0.5 M; el volumen usado se registró como titulación inicial (t_i). En ese momento la muestra se adicionó con 10 mL de hidróxido de sodio 0.5 M, se agitó vigorosamente y dejó reposar por 15 min; entonces 10 ml de ácido clorhídrico 0.5 M se adicionaron, agitando hasta que el color rosa desapareció. Se adicionaron 5 gotas de fenolftaleína y la solución se tituló con hidróxido de sodio 0.5 M a un punto de color rosa tenue que persistió después de agitación vigorosa. Este volumen de titulación se registró como titulación final (t_f). El grado de esterificación (DE) se calculó usando la siguiente fórmula:

$$\% DE = \frac{t_f}{t_i + t_f} \times 100$$

4.6. Punto de equivalencia de dispersiones de pectina de jícama y proteína de lactosuero

Se prepararon dispersiones de PJ y proteína de lactosuero (WPI, 93 % de proteína, WPI HilmarTM; Hilmar, CA, EUA) en una concentración de 1 % (p/p), a temperatura ambiente (22 ± 3 °C), aplicando agitación (Termoagitador FELISA, modelo FE-311, Zapopan, Jalisco, México) durante 2 h. Posteriormente, las dispersiones de biopolímeros se refrigeraron (4 ± 1 °C) durante 12 h para lograr hidratación completa de la proteína y pectina. El punto de equivalencia de las dispersiones de PJ y WPI se determinó a partir de las curvas potenciométricas de titulación. Las titulaciones se llevaron a cabo adicionando alícuotas de 0.1 mL de HCl 0.05 N a 40 mL de cada dispersión (25 ± 1 °C). Los valores de pH se determinaron después de cada adición de alícuota de HCl con un potenciómetro (Hanna Instruments®, HI98240; pH/°C Meter R-4-45 FC231D; Padova, Italia). Para obtener los puntos de equivalencia de la pectina y proteína de lactosuero se determinó el punto de inflexión de las curvas de titulación respectivas. La concentración exacta de la disolución de HCl se obtuvo por titulación con una disolución valorada comercial de NaOH 0.05 N (J.T. Baker, Xalostoc, Edo. de México).

4.7. Medición del potencial Z de la pectina y proteína de lactosuero

Se determinó el valor del potencial zeta de las dispersiones de PJ y WPI (1% p/p), a distintos valores de pH (2, 3, 4, 5, 6 y 7), empleando un equipo Zetasizer

Nano Z modelo Zen2600 Malvern Instruments (Worcestershire, RU), con la finalidad de determinar los cambios en la densidad de carga de sus moléculas, en función del valor de pH de sus dispersiones. Los valores de potencial Z constituyen un criterio para la selección del valor de pH al cual existirá mayor interacción entre biopolímeros para la formación de coacervados estables (Espinosa-Andrews *et al.*, 2007).

4.8. Preparación y formación del coacervado

Se prepararon soluciones de pectina jícama (1% p/p) y WPI (1% p/p). La determinación del punto de equivalencia y la medición del potencial Z de las dispersiones de PJ y WPI permitieron fijar las condiciones para la formación del coacervado: relación idónea en peso entre estos biopolímeros y valor de pH en el cual la magnitud de sus cargas de signo opuesto es elevada; estos datos se presentan en la sección de resultados. Las dispersiones de PJ y WPI en la relación en peso determinada, se mezclaron a temperatura ambiente (22 ± 3 °C) y el valor de pH de la mezcla se ajustó al determinado como idóneo con HCl 0.1 N. La mezcla de biopolímeros se dejó 48 h a temperatura ambiente para dar lugar a la formación del coacervado. Posteriormente, el coacervado se separó del sobrenadante mediante filtración. El coacervado PJ-WPI se preparó por triplicado.

4.9. Contenido de humedad y rendimiento de la fase coacervada

Al coacervado se le determinó contenido de humedad (método AOAC-926.08, 1998) y se calculó su rendimiento, usando la siguiente ecuación (Espinosa *et al.*, 2007):

$$\% \text{ rendimiento} = [m_i/m_0] \times 100$$

Donde, m_0 : peso de los biopolímeros en las dispersiones; m_i : peso del coacervado seco.

4.10. Caracterización reológica de los coacervados.

El coacervado PJ/WPI, después de un día de preparado, se sometió a pruebas oscilatorias dinámicas en un reómetro Physica MCR 301 Dynamic Shear Rheometer (Antón Paar Messtechnik, Stuttgart, Alemania), acoplado con una geometría cono-plato, de 50 mm de diámetro y un ángulo de 1° (CP50-1-SN5550); la distancia cono-plato se fijó en 0.051 mm. Muestras de 1.5 g de coacervado se colocaron cuidadosamente en el plato a una temperatura de 25 ± 0.1 °C. Después de un tiempo de reposo de 15 min para permitir la recuperación de la estructura, se aplicaron barridos de amplitud (0.01–100 % de deformación, 1 Hz) para caracterizar la región de comportamiento viscoelástico lineal del coacervado. Posteriormente, muestras de 1.5 g de coacervado se sometieron a barridos de frecuencia (0.1 a 50 Hz a 0.2 % de deformación). Los valores de los módulos de almacenamiento (G') y de pérdida (G''), así como los

del factor de cedencia ($\tan \delta = G''/G'$), se obtuvieron mediante el software RheoPlus/32 V2.62 del equipo para todos los casos. Todas las mediciones se llevaron a cabo por triplicado a $25 \pm 0.1^\circ\text{C}$.

4.11. Variaciones de queso tipo Petit suisse

Se elaboraron variaciones de queso Petit suisse que difirieron en dos factores de composición de la leche a partir de la que se prepararon, en dos niveles: contenido de grasa láctea (1.5 y 3.0 g/100 g) y contenido de coacervado pectina de jícama-proteína de lactosuero (0 y 1.5 g/100 g).

Cuadro 3. Códigos de las variaciones de queso Petit suisse, contenidos de grasa láctea y de coacervado de pectina de jícama-proteína de lactosuero en la leche a partir de la que se prepararon.

Código del queso Petit suisse ^a	Grasa láctea (g/100 g)	Coacervado pectina de jícama-proteína de lactosuero (g/100g)
QPS _{1.5G-0.0C}	1.5	0.0
QPS _{1.5G-1.5C}	1.5	1.5
QPS _{3.0G-0.0C}	3.0	0.0
QPS _{3.0G-1.5C}	3.0	1.5

^aCódigos de las variaciones de queso Petit suisse, donde G: grasa láctea (g/100 g de leche); C: coacervado pectina de jícama-proteína de lactosuero (g/100 g de leche).

El establecimiento de las variaciones de queso Petit suisse se realizó aplicando un experimento factorial 2^2 , resultando cuatro formulaciones (Cuadro 3).

4.12. Proceso de elaboración de las variaciones de queso tipo Petit suisse

Todas las variaciones de queso Petit suisse se elaboraron por triplicado a partir de lotes de 5 kg de leche cruda entera (3.5 g de grasa láctea/L), proveniente de vacas raza Holstein (Granja Experimental, Universidad Autónoma Chapingo). El proceso de elaboración de las variaciones de queso Petit suisse se realizó de acuerdo al método propuesto por Maruyama *et al.* (2006), con las adecuaciones necesarias para estandarizar la composición de la leche a la establecida en el Cuadro 3. El contenido graso de la leche se estandarizó en 1.5 y 3.0 g/100 g de leche, dependiendo de la variación de queso a preparar (Cuadro 3). La leche se precalentó a 60 ± 1 °C, se adicionó con 1.5 g de sacarosa/100 g de leche y homogenizó (1000 psi; homogeneizador Metron, modelo 5K182BL, General Electric, EUA). Posteriormente, la leche se pasteurizó (63 ± 1 °C, 30 min) y enfrió (25 - 28 °C); en este momento se incorporó el coacervado de PJ-WPI para la elaboración de los quesos QPS_{1.5G-1.5C} y QPS_{3.0G-1.5C}, de forma directa con agitación constante (5 min). A cada lote de 5 kg de leche se le adicionó: 0.25 g de cultivo láctico liofilizado (*Lactococcus lactis* ssp. *lactis* y *Lactococcus lactis* ssp. *cremoris*, Choozit MA 11, Danisco, Dangé, Francia); 0.4 mL de cuajo (CUAMEX, fuerza 1:10000, HANSEN de, México, D.F.) y 0.4 g de cloruro de

calcio anhidro purificado (Laboratorios Laitz, México, D.F.) previamente disuelto en agua. El cuajado se llevó a cabo a 25-28°C durante 20 a 22 h. La cuajada formada se cortó en cubos de aproximadamente 1 cm³, y se desueró por filtración usando una manta (4 ± 1 °C, 24 h). El queso obtenido se batió suavemente, se envasó en bolsas de polietileno y se conservó en refrigeración hasta su caracterización

4.13. Composición químico proximal de las variaciones de queso

Petit suisse

A los quesos, al segundo día de elaborados, se les determinó humedad (método AOAC-926.08, 1995), grasa (método de la AOAC-933.05, 1995), proteína (método de Kjeldahl AOAC-920.123, 1995) y pH, con un potenciómetro (HI98240 pH/°C Meter R-4-45 FC231D, Hanna Instruments, Padova, Italia) para quesos (el electrodo se introduce directamente a la muestra). Todas las determinaciones se efectuaron por triplicado.

4.14. Grado de sinéresis de las variaciones de queso Petit suisse

durante el almacenamiento

Los quesos, después de 7 y 14 días de elaborados, se sometieron a determinaciones de sinéresis (Kalab, 1998). Se colocaron 40 g de muestra (4 °C ± 0.1) en tubos de centrifuga, cuyo peso fue previamente registrado, y se

centrifugaron a $222 \times g$ a $4 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0.1$ por 10 min. Después de retirar el sobrenadante mediante decantación, los tubos se pesaron y se calculó el porcentaje de sinéresis de las muestras usando la siguiente ecuación:

$$\% \text{ sinéresis} = [P_{mo} - P_{mc}/P_{mo}] \times 100$$

Donde, P_{mo} : peso de la muestra original (40 g); P_{mc} : peso de la muestra centrifugada y decantada.

4.15. Propiedades reológicas de las variaciones de queso tipo Petit suisse

Las variaciones de quesos Petit suisse a los 1, 7 y 14 de elaborados, se sometieron a pruebas oscilatorias dinámicas en un reómetro Physica MCR 301 Dynamic Shear Rheometer (Antón Paar Messtechnik, Stuttgart, Alemania), acoplado con una geometría cono-plato, de 50 mm de diámetro y un ángulo de 1° (CP50-1-SN5550); la distancia cono-plato se fijó en 0.051 mm. Muestras de 1.5 g de los quesos se colocaron cuidadosamente en el plato, a una temperatura de $4 \pm 0.1 \text{ }^\circ\text{C}$. Después de un tiempo de reposo de 15 min para permitir la recuperación de la estructura, se aplicaron barridos de amplitud (0.01 a 100 % de deformación, 1 Hz de frecuencia), con objeto de caracterizar la región de comportamiento viscoelástico lineal de los quesos. Posteriormente, muestras de 1.5 g de las variaciones de queso Petit suisse se sometieron a barridos de frecuencia (0.01 a 10 Hz a 0.1 % de deformación). Los valores de

los módulos de almacenamiento (G') y de pérdida (G''), así como los del factor de cedencia ($\tan \delta = G''/G'$), se obtuvieron mediante el software RheoPlus/32 V2.62 del equipo para todos los casos. Todas las mediciones se llevaron a cabo por triplicado a $4 \pm 0.1^\circ\text{C}$ para cada queso.

4.16. Evaluación de la aceptabilidad global sensorial de las variaciones de queso Petit suisse

Para conocer el tamaño de muestra (número de evaluadores) necesarios para la evaluación sensorial de los quesos y después inferir sobre los resultados obtenidos de esta evaluación, se usó la siguiente fórmula (Fuentelsaz, 2004; Jones *et al.*, 2003):

$$n = \frac{Z_{\alpha}^2 \cdot p \cdot q}{d^2}$$

Donde, n : tamaño de muestra; Z_{α} : nivel de confianza elegido; p : especificidad mínima aceptable o probabilidad de éxito del evento; q : probabilidad de no éxito del evento ($q = 1-p$); y d : la precisión o error admitido 0.1.

Para el cálculo del número de evaluadores en este estudio, se establecieron los siguientes valores: $Z_{\alpha} = 1.96$ (para una confianza del 95 %; $\alpha = 0.05$), $p = 0.5$, $q = 0.5$ y $d = 0.1$, resultando $n = 96$. Con base en lo expuesto, se decidió aplicar

una prueba de aceptabilidad global a las variaciones de queso Petit suisse, con la participación de 100 personas no entrenadas (50 hombres y 50 mujeres, de edades entre 16 y 20 años), todos estudiantes de la Universidad Autónoma Chapingo. A las personas participantes, se les proporcionó, en orden aleatorio, muestras de 2.5 g de las diferentes variaciones de quesos ($4 \pm 1^\circ\text{C}$) en pequeños vasos de plástico, codificadas con números aleatorios de tres dígitos, y se les solicitó que indicaran el grado de aceptabilidad de cada una de ellas; para ello se utilizó una escala hedónica de 9 puntos en donde: 1= me disgusta extremadamente, 2= me disgusta mucho, 3= me disgusta moderadamente, 4=me disgusta poco, 5= ni me disgusta ni me gusta, 6= me gusta poco, 7= me gusta moderadamente, 8= me gusta mucho y 9 = me gusta extremadamente (Anzaldúa, 1994).

4.17. Análisis de datos

Los datos de composición química, sinéresis y comportamiento reológico de las variaciones de queso Petit suisse, se sometieron a Análisis de Varianza de Clasificación Simple ($p \leq 0.05$) y se aplicó prueba de Tukey de comparación de medias ($p \leq 0.05$) en los casos pertinentes. Los datos de la evaluación sensorial se sometieron a Análisis de Varianza usando un diseño de bloques completos al azar. El paquete estadístico usado para los análisis de varianza fue el paquete SAS versión 9 en español (Instituto SAS, 2002, Cary, North Carolina, EUA).

5. Resultados y discusión

5.1. Contenido de pectina en jícama (*Pachyrhizus erosus*)

El contenido de humedad que presentó la jícama fue de 88.44 ± 0.75 %. Sorensen (1990) y Heredia (1998) informaron variaciones en el contenido de humedad de la jícama de 78 a 94 %, dependiendo de la región, el clima y la variedad cultivada.

El rendimiento de pectina en base seca fue de 2.94 ± 0.47 %. Nawirska y Kwaśniewska (2005) determinaron algunos componentes de fibra dietética (pectina, hemicelulosa, celulosa y lignina) en manzana (11.7 %), cereza (1.51 %), grosella (2.73 %), pera (13.4 %) y zanahoria (3.88 %) en base seca.

5.2. Contenido de proteína de la pectina de jícama

El contenido de proteína en la pectina de jícama fue de 0.1 ± 0.01 %, resultado que indica que dicho polisacárido no posee un buen potencial como agente emulsificante por sí solo. Leroux *et al.* (2003) encontraron que el peso molecular, los contenidos de acetilo y proteína (0.77 a 2.28 %), influyeron significativamente en las propiedades emulsificantes de pectinas extraídas, mediante ácido nítrico, a partir de cáscaras de cítricos y de pulpa de remolacha. Estos autores observaron que la fracción de pectina adsorbida en la superficie

de glóbulos de aceite en emulsiones aceite-en-agua, contenían más proteína que la fracción que permaneció en la fase acuosa, concluyendo que la proteína asociada con la pectina juega un papel importante en la estabilización de emulsiones.

Se ha informado que los polisacáridos pueden desempeñar un papel importante en la estabilización de emulsiones, a través de la formación de complejos proteína-polisacárido (McClements, 2004). Polisacáridos cargados negativamente pueden formar complejos solubles con proteínas globulares a valores de pH superiores al punto isoeléctrico (pI) de la proteína por interacción entre el polisacárido aniónico con porciones moleculares cargadas positivamente de la proteína (Park *et al.*, 1992; Dickinson, 1998). Complejos preformados proteína-polisacárido se pueden usar como agentes emulsificantes adsorbiéndose junto en interfases aceite-agua, (Dickinson, 2008).

5.3. Grado de esterificación de la pectina de jícama

El grado de esterificación de la pectina de jícama fue de 46.9 ± 0.4 %, indicando que menos del 50 % de los grupos carboxilo de la pectina estuvieron esterificados, así la pectina de jícama puede clasificarse como una pectina de bajo metoxilo. En teoría, el grado de esterificación (DE) puede variar de 0 a

100%. Pectinas con un grado de esterificación DE > 50 % son conocidas como pectinas de alto metoxilo (HM) y consecuentemente las pectinas de bajo metoxilo (LM) tienen un DE < 50 % (Van Buren, 1991). El grado de esterificación de las pectinas afecta significativamente su uso comercial como agentes gelificantes y espesantes (Morris *et al.*, 2000). Pectinas HM forman geles a pH bajo (<4.0) o en la presencia de cantidades elevadas de sólidos solubles, usualmente sacarosa (>55%). Las pectinas LM por su parte, forman redes de gel con cationes divalentes, usualmente calcio (Ca^{+2}) (Morris *et al.*, 2000).

5.4. Potencial Zeta de la pectina de jícama y proteínas de lactosuero

Las variaciones en los valores de potencial Z en función del pH fueron más pronunciadas para WPI que para PJ (Fig. 4). WPI presentó valores de potencial Z que variaron desde -20.6 a pH 7 hasta 19.45 a pH 2, pasando por 0 a pH 5.0. Se ha reportado que el punto isoelectrico (pi) de las proteínas de lactosuero ocurre a pH alrededor de 5.2 (de Kruif *et al.*, 2004). En contraste, los valores de potencial Z de la PJ variaron desde -25.5 a pH 6 hasta -7.94 a pH 2. Los valores de potencial Z de la PJ fueron negativos en todo el intervalo de pH estudiado y presentaron disminución en su magnitud conforme aumentó la acidez del medio. Incrementos en la acidez del medio, estuvieron asociados con disminución en la ionización de los grupos carboxilato ($-\text{COO}^-$) de la PJ, aumentando la presencia de grupos carboxílico ($-\text{COOH}$) sin carga eléctrica,

explicando con ello la disminución en la magnitud de la carga negativa de la PJ. Pectinas con mayores grados de metilación presentan menos aniones carboxilato a cualquier valor de pH (Sriamornsak, 2003).

Las proteínas de lactosuero incluidas en el WPI, exhibieron carga negativa a valores de pH superiores a 5.0, debido a la ionización de sus grupos carboxílico (-COOH) en grupos carboxilato ($-\text{COO}^-$); de esta manera la carga negativa de WPI aumentó al incrementar el pH (Fig. 4). Debajo de un pH de 5, WPI adquirió una carga positiva debido a la ionización de sus grupos amino ($-\text{NH}_2$) en grupos $-\text{NH}_3^+$. El aislado de proteína de lactosuero contiene alrededor de 75 % de β -lactoglobulina y 15 % de α -lactoalbúmina. La β -lactoglobulina nativa tiene un punto isoeléctrico pI a pH 5.2 y la α -lactoalbúmina a pH 4.1, así ambas proteínas se encuentran cargadas positivamente debajo de su pI (Weinbreck, 2004).

Puede observarse en la figura 4, que el rango teórico de interacciones electrostáticas entre PJ y WPI, en el cual las moléculas de la primera se encuentran cargadas positivamente y aquellas del segundo negativamente, está comprendido en el intervalo de pH entre 2 y menos de 5, pero una interacción máxima es esperada en el rango de pH entre 3 y 4, donde las densidades de cargas positivas y negativas de WPI y PJ, respectivamente, estuvieron

balanceadas. Con base en estos resultados, la preparación del coacervado pectina de jícama-proteína de lactosuero, se realizó a pH de 4.0.

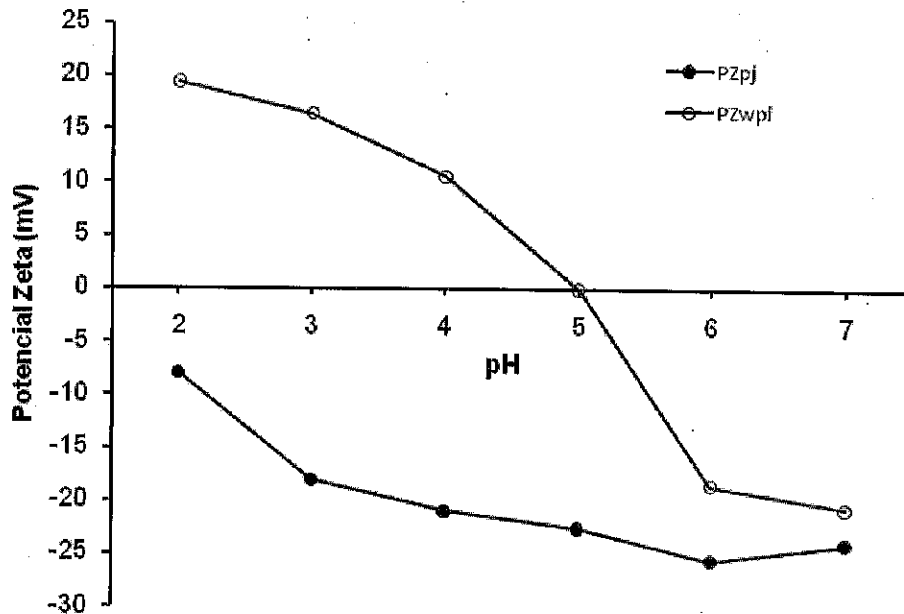


Figura 4. Variación del potencial Zeta de la pectina de jícama y proteínas de lactosuero en función del pH.

5.5. Punto de equivalencia de la pectina de jícama y de la proteína de lactosuero

Los puntos de equivalencia de las dispersiones de biopolímeros se determinaron por el punto de inflexión de las curvas de titulación (Figs. 5 y 6). Los miliequivalentes de HCL necesarios para alcanzar el punto de inflexión durante la titulación de PJ y WPI fueron 0.210 y 0.02, respectivamente. Cuando

HCl fue adicionado a la dispersión de biopolímeros, se disoció completamente produciendo cationes H^+ , los cuales neutralizaron los grupos carboxilato de la PJ y del WPI. Cuando ambos biopolímeros son mezclados en una relación donde sus cargas opuestas presentan la misma magnitud, la fuerza de atracción entre ambos polisacáridos es máxima y una intensa interacción toma lugar. En este punto, los grupos ionizados de ambos biopolímeros son mutuamente neutralizados llevando a la formación de complejos insolubles (coacervación compleja) (Espinosa-Andrews *et al.*, 2010). Una coacervación máxima (en términos de rendimiento de coacervado) se esperaría en una relación de mezcla equivalente de los biopolímeros (1:10) correspondiente a 1 g de PJ a 10 g de WPI, la cual fue utilizada para preparar el coacervado pectina de jícama-proteína de lactosuero.

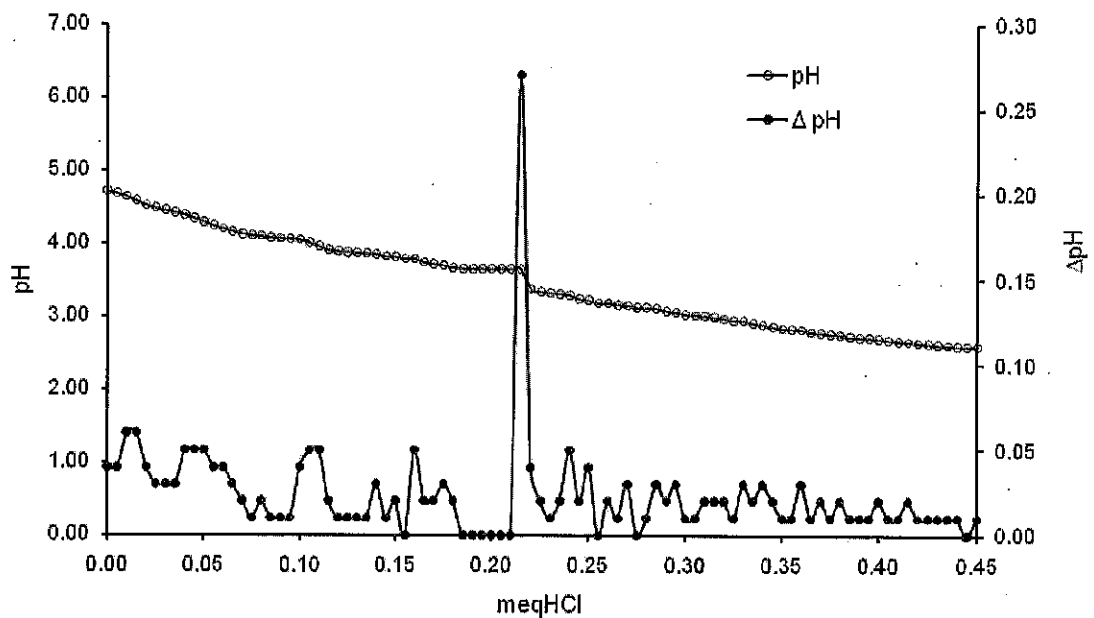


Figura 5. Curva de titulación de 0.4 g de pectina de jícama (Miliequivalentes de HCl).

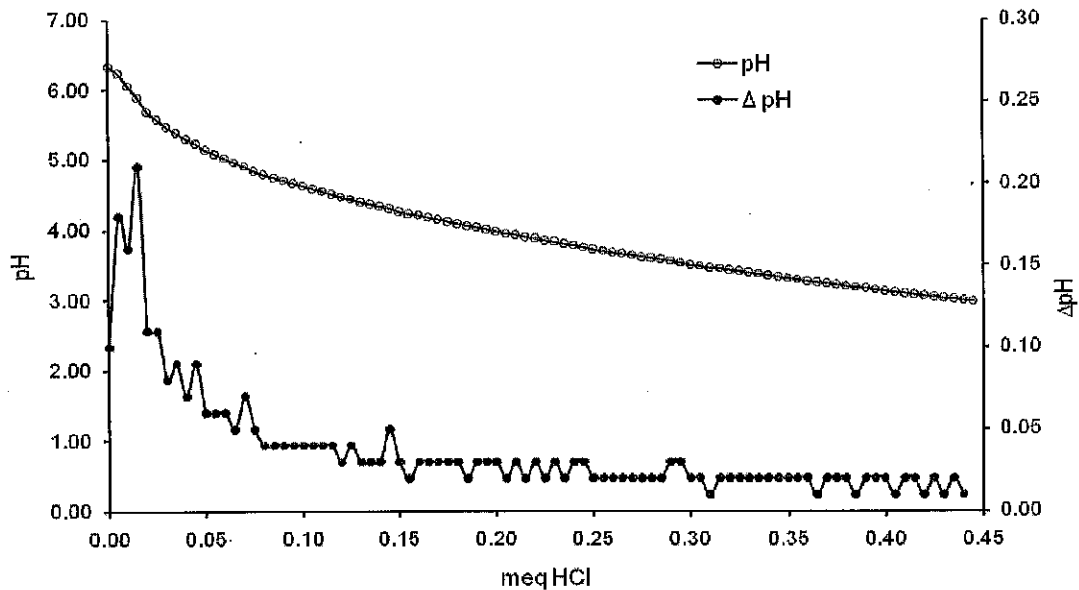


Figura 6. Curva de titulación de 0.4 g de proteína de lactosuero (Miliequivalentes de HCl).

5.6. Rendimiento y contenido de humedad del coacervado pectina de jícama-proteína de lactosuero

El coacervado PJ/WPI producido, se caracterizó por ser un material blanquecino, viscoso (espeso), de textura suave y con sabor ligeramente dulce. La formación del coacervado PJ/WPI ocurrió mediante la atracción electrostática entre los grupos carboxílico de la pectina cargados negativamente y los enlaces peptídicos de la proteína de lactosuero cargados positivamente (Zaleska *et al.*, 2000), y debido a que la β -lactoglobulina se encuentra en mucho mayor cantidad que la α -lactoalbúmina (Weinbreck, 2004), puede suponerse que la interacción entre WPI y PJ fue dominada por la β -lactoglobulina.

Overbeek y Voorn (1957) explicaron la coacervación de biopolímeros como una competencia entre las fuerzas de atracción electrostática que tienden a acumularse en poliones cargados y los efectos de entropía que tienden a dispersarlos. Leisner y Imae (2003), mencionaron que la transición de complejos electrostáticos interpoliméricos a coacervados puede ser explicada por la agregación de racimos intermoleculares dando lugar a microgeles intermoleculares, los cuales coagulan para formar coacervados.

El rendimiento de coacervado pectina de PJ/WPI fue de 83.63 ± 0.57 %, valor mayor al informado para la formación de otros coacervados proteína-polisacárido; por ejemplo, Wang *et al.* (2007), obtuvieron un rendimiento en coacervados β -lactoglobulina/pectina, de 3% a 7%. Estos autores señalaron que la concentración de NaCl, relación entre biopolímeros y pH fueron las condiciones que influyeron en la formación de los coacervados.

El contenido de humedad del coacervado PJ/WPI fue de 89.21 ± 0.04 %.

5.7. Propiedades reológicas del coacervado pectina de jícama-proteína de lactosuero

5.7.1 Barrido de amplitud.

El coacervado PJ/WPI es un material viscoelástico, sus propiedades reológicas pueden ser descritas mediante dos parámetros, el módulo de almacenamiento (G'), el cual es una medida de su naturaleza elástica y el módulo de pérdida (G''), el cual es una medida de su naturaleza viscosa (Lobato-Calleros *et al.*, 2006). La figura 7 muestra la variación de los valores de los módulos de almacenamiento (G') y de pérdida (G'') del coacervado en función de la deformación aplicada (0.01 a 100%). La región de comportamiento viscoelástico lineal del coacervado, en la que los valores de G' y G'' , fueron independientes de la deformación, comprendió hasta una deformación de 0.38 %. Los valores de G' y G'' en esta zona fueron 18.98 y 2.81 kPa, respectivamente. En el rango de deformación 0.46 a 1.74 %, los valores de G' disminuyeron ligeramente (de 18.98 a 17.18 kPa), mientras que aquellos de G'' aumentaron de 2.81 a 3.30 kPa. Dicho comportamiento se acentúa en el rango de valores de deformación de 2.11 a 3.89 % de deformación, pudiendo observarse un decremento considerable en los valores de G' y un aumento importante en los valores de G'' . A deformaciones mayores (> 4.76 %), los valores de ambos módulos decrecieron.

Un comportamiento de G' y G'' similar fue observado en dispersiones de goma de xantana al 4 % p/p por Hyun *et al.*, (2002). Estos autores clasificaron dicho comportamiento reológico como tipo III y lo nombraron como “weak strain overshoot o exceso de deformación débil” (G' decreciendo, G'' incrementando, seguido por decremento de ambos módulos). Este comportamiento fue explicado con base en la formación de complejos estructurales moleculares débiles a través de sus cadenas laterales largas. En solución, el esqueleto de xantana se encuentra desordenado pero altamente extendido, debido a la repulsión electrostática de los grupos cargados en las cadenas laterales, pudiendo las moléculas alinearse y asociarse (parcialmente debido a enlaces de hidrógeno) para formar un material estructurado débilmente.

Cuando una deformación externa es impuesta, la estructura del complejo resiste la deformación hasta cierto valor, donde G'' incrementa. Entonces, la estructura del complejo es destruida por la aplicación de una deformación elevada, mayor a la deformación crítica, ocurriendo alineación de las cadenas del polímero con el campo de flujo y disminución de G'' . Con base en lo expuesto se puede inferir que el coacervado PJ/WPI formó un complejo con una estructura que resistió una deformación hasta de 3.89 %, punto en el cual se cruzan las curvas de G' y G'' (Fig. 7) indicando la destrucción del complejo y su alineación con el campo de flujo.

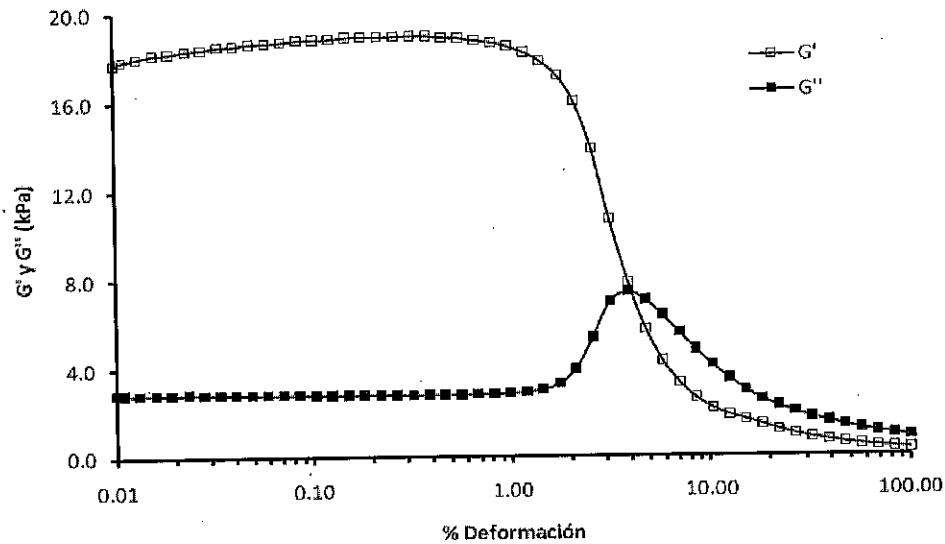


Figura 7. Variación de los módulos de almacenamiento (G') y de pérdida (G'') del coacervado pectina de jícama-proteína de lactosuero.

Los valores de $\tan \delta$ varían como función de la relación G''/G' , por lo que los cambios en los módulos G' y G'' determinaron la curva de este parámetro. Los valores del factor de cedencia $\tan \delta$ (G''/G') del coacervado PJ/WPI, permanecieron prácticamente constantes (≈ 0.150) hasta una deformación de 1 % (Fig. 8). A deformaciones mayores, los valores de $\tan \delta$ se incrementaron de manera pronunciada, en particular en los rangos de 2.1 a 10.3 % y 18.2 a 100 % de deformación, alcanzando valores ≥ 1 a partir de una deformación de 3.89 %. $\tan \delta$ es un valor adimensional que compara la cantidad de energía pérdida durante un ciclo de prueba con la cantidad de energía almacenada durante este tiempo (Ferry 1980), e indica si las propiedades viscosas o elásticas predominan (Lobato-Calleros *et al.*, 2009). De esta manera puede inferirse que el coacervado PJ/WPI mostró un comportamiento reológico predominantemente

eástico bajo deformaciones menores a 3.89 % ($\tan \delta < 1$); mientras que su comportamiento reológico fue predominantemente viscoso a deformaciones mayores de 3.89 % ($\tan \delta > 1$).

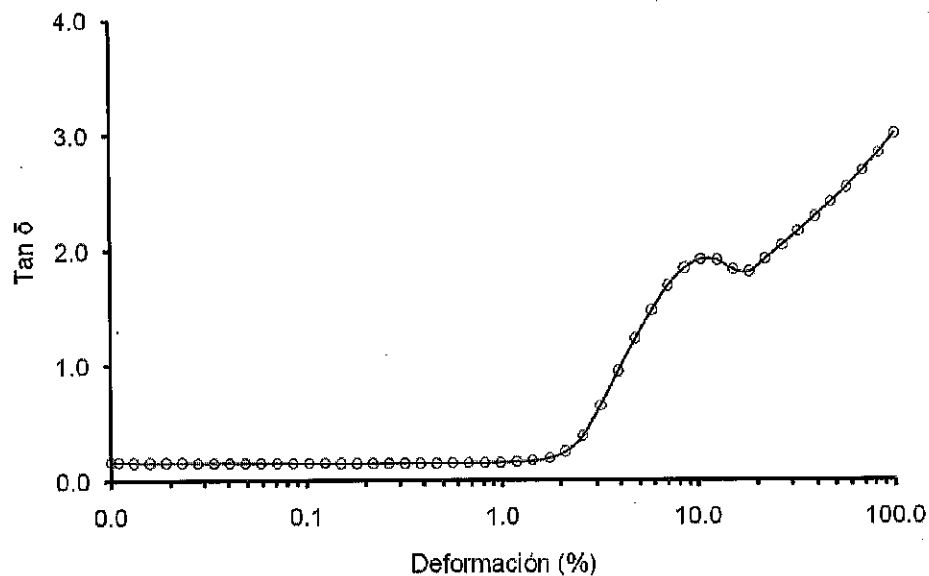


Figura 8. Variación del factor de cedencia ($\tan \delta$) del coacervado pectina de jícama-proteína de lactosuero en función de la deformación.

5.7.2 Barrido de frecuencia.

Una deformación constante de 0.2 % se usó para trabajar bajo régimen lineal durante los barridos de frecuencia, de acuerdo a los resultados obtenidos en los barridos de deformación previamente efectuados a una frecuencia constante de 1 Hz. En la figura 9 se muestra la variación de los módulos G' y G'' y de la viscosidad compleja (η^*) del coacervado PJ/WPI, en función de la frecuencia. El espectro mecánico del coacervado PJ/WPI correspondió a aquellos de sistemas

reales de geles de biopolímeros, evidenciado por sólo un ligero incremento en los valores de G' (León *et al.*, 2009), de 14.37 a 29.03 kPa, en el rango de frecuencias estudiado (0.1 a 50 Hz). Al mismo tiempo, la línea de variación de los valores de G'' fue en general paralela a la de G' y mostró valores alrededor de 7 veces menores que aquellos de G' , en todo el rango de frecuencia estudiado, lo cual indica que se trata del espectro mecánico de un material viscoelástico sólido (Senff y Richterling, 1999). Los datos de G' y G'' sugieren que la estructura del coacervado consistió de una red de polímeros entrecruzada ligeramente (Ferry 1980).

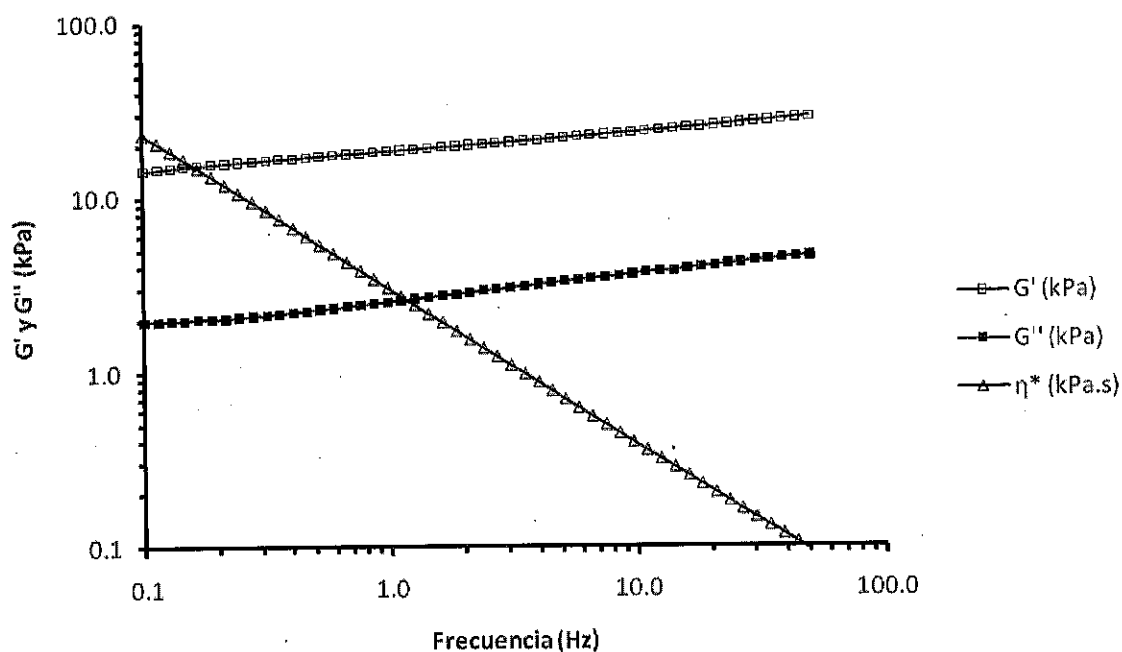


Figura 9. Variación de la viscosidad compleja (η^*), los módulos de almacenamiento (G') y de pérdida (G'') del coacervado pectina de jícama-proteína de lactosuero en función de la frecuencia.

La viscosidad compleja (η^*) del coacervado fue relativamente alta a bajas frecuencias, lo cual indica la presencia de una estructura intacta (Fig. 9). En contraste, altas frecuencias llevaron a la destrucción y desorientación de la estructura del coacervado, reduciéndose su viscosidad. Tabilo y Barbosa (2005), explican que la viscosidad compleja (η^*) es la relación entre el esfuerzo con la velocidad de deformación y el modulo complejo (G^*). Se define como: $\eta^* = (G^*/\omega)$, donde ω es la frecuencia de oscilación (rad^{-s}) y $G^* = \sqrt{((G')^2 + (G'')^2)}$ y G' es el módulo de almacenamiento, como G'' es el módulo de pérdida.

5.8. Composición química, rendimiento y sinéresis de los quesos

Petit suisse

Las variaciones de queso Petit suisse difirieron significativamente en sus contenidos de grasa, proteína y humedad (Cuadro 4). Los resultados de humedad (70%) y pH (4.3) obtenidos son similares a aquellos valores reportados para el queso Petit suisse por Veiga (2000) y Maruyama (2006). Veiga (2000) explicó que las diferencias en los valores de pH pueden atribuirse al proceso de elaboración del queso y a la cantidad de cultivo láctico adicionado, debido a que la fermentación de la lactosa es rápida. Los quesos QPS_{1.5G-0.0C} y QPS_{1.5G-1.5C}, mostraron contenidos de grasa significativamente menores a los determinados en los quesos QPS_{3.0G-1.5C}, QPS_{3.0G-0.0C} (Cuadro 4); resultados congruentes con el contenido graso de la leche a partir de la que se elaboraron: 1.5% y 3%, respectivamente. Los quesos QPS_{1.5G-1.5C} y QPS_{3.0G-1.5C},

elaborados a partir de leche adicionada con el coacervado PJ/WPI (1.5%), tuvieron contenidos de proteína mayores ($p \leq 0.05$) a los obtenidos en los quesos exentos de coacervado (QPS_{1.5G-0.0C} y QPS_{3.0G-0.0C}) (Cuadro 4), debido a la elevada presencia de proteínas (93 %) en el WPI usado para la preparación del coacervado PJ/WPI. El valor de pH de los quesos elaborados fue de 4.0 ± 0.1 . Los quesos QPS_{3.0G-1.5C} y QPS_{3.0G-0.0C}, presentaron menor contenido de humedad ($p \leq 0.05$) que los quesos QPS_{1.5G-0.0C} y QPS_{1.5G-1.5C}, como consecuencia de su mayor contenido en sólidos (Cuadro 4).

Cuadro 4. Composición química proximal y sinéresis de las variaciones de queso Petit suisse.

Código del queso	Humedad (%)	Grasa (%)	Proteína (%)	Rend. (%)	Sinéresis día 7 (%)	Sinéresis día 14 (%)
QPS _{1.5G-0.0C}	66.8 ± 0.1 ^b	3.1 ± 0.1 ^a	10.3 ± 0.2 ^a	17.2 ± 0.1 ^a	1.9 ± 0.2 ^b	2.5 ± 0.2 ^b
QPS _{1.5G-1.5C}	66.6 ± 0.2 ^b	3.1 ± 0.1 ^a	11.6 ± 0.3 ^b	20.1 ± 0.1 ^c	3.7 ± 0.3 ^c	5.9 ± 0.1 ^c
QPS _{3.0G-0.0C}	65.6 ± 0.2 ^a	5.1 ± 0.1 ^b	10.4 ± 0.1 ^a	18.9 ± 0.2 ^b	1.1 ± 0.1 ^a	1.4 ± 0.1 ^a
QPS _{3.0G-1.5C}	65.2 ± 0.5 ^a	5.0 ± 0.1 ^b	11.6 ± 0.1 ^b	22.5 ± 0.5 ^d	3.9 ± 0.1 ^c	9.3 ± 0.4 ^d

^{a,b,c,d} Superíndices distintos en una misma columna, indican que las medias difieren significativamente ($p \leq 0.05$).

Variaciones en la composición de la leche utilizada para la elaboración del queso Petit suisse, resultaron en distintos rendimientos (Cuadro 4). El rendimiento de queso QPS_{1.5G-0.0C} fue menor ($p \leq 0.05$) al observado en el resto de los quesos; en contraste, el rendimiento de queso QPS_{3.0G-1.5C} fue mayor ($p \leq 0.05$) al obtenido para el resto de los quesos. Los resultados de rendimiento indican que, en general, mayores contenidos de sólidos, determinados en este caso por la grasa láctea y el coacervado PJ/WPI, contribuyeron a mayor rendimiento quesero. Lobato-Calleros *et al.* (2008), informaron que mayores rendimientos de productos tipo queso estuvieron relacionados con mayores contenidos de grasa en la leche usada para su elaboración, debido a la inclusión de esta última en la matriz de caseína del queso. A partir de los resultados de rendimiento, puede inferirse que el coacervado PJ/WPI, al igual que la grasa láctea, quedó atrapado en la matriz de caseína de los quesos, contribuyendo a la elevación en los valores de estos parámetros.

El grado de sinéresis de los quesos fue afectado por variaciones en el contenido de grasa y presencia de coacervado PJ/WPI en los quesos Petit suisse (Cuadro 4). Después de 7 días de elaboración, el queso QPS_{3.0G-0.0C} presentó menor grado de sinéresis ($p \leq 0.05$) que el queso QPS_{1.5G-0.0C}, indicando que la disminución en el número de glóbulos de grasa láctea en el segundo, favoreció la expulsión de lactosuero, probablemente debido a una mayor contracción de la red proteínica. Se ha informado que los glóbulos de grasa láctea son parte estructural muy importante de los derivados lácteos y

que su disminución causa una mayor compactación de la red proteínica (Keogh y O'Kennedy, 1998; Lobato-Calleros *et al.*, 2004). En este mismo período de almacenamiento, los quesos QPS_{1.5G-1.5C} y QPS_{3.0G-3.0C} conteniendo coacervado de PJ/WPI, mostraron valores de sinéresis similares entre sí ($p > 0.05$), los cuales fueron mayores ($p \leq 0.05$) a los observados en los quesos exentos de coacervado (QPS_{1.5-0.0} y QPS_{3.0-0.0}) (Cuadro 4). Estos resultados indican que la presencia de coacervado de PJ/WPI favoreció la expulsión de lactosuero de los quesos.

El carácter insoluble del coacervado de PJ/WPI, resultado de la neutralización de las cargas eléctricas en las cadenas de los dos biopolímeros, pudo ser responsable de una menor capacidad ligante de agua en el interior de la matriz proteínica de los quesos que lo contuvieron. Los valores de sinéresis de los quesos Petit suisse aumentaron con el tiempo de almacenamiento; sus valores fueron mayores a los 14 días, en comparación con aquellos observados a los 7 días (Cuadro 4). La tendencia a sinéresis de los quesos a los 14 días de almacenamiento, en general, fue muy similar a la mostrada a los 7 días de almacenamiento.

5.9. Caracterización reológica de los quesos Petit suisse

5.9.1 Barridos de amplitud.

La naturaleza viscoelástica de las variaciones de queso Petit suisse puede apreciarse en las figuras 10, 11 y 12, correspondientes a los barridos de amplitud efectuados después de 1, 7 y 14 días de su elaboración. Todos los quesos mostraron variaciones de los valores de G' caracterizadas por: (a) una región lineal exhibiendo valores constantes de este parámetro a bajos porcentajes de deformación (menores a 0.2 %), en la cual los valores de ambos módulos (G' y G'') fueron independientes de la deformación y todos los quesos mostraron valores de G' mayores a G'' , indicando ello que los quesos presentaron un comportamiento reológico predominantemente elástico y (b) una región de comportamiento no lineal, a mayores deformaciones, en la cual se origina una inflexión pronunciada de los valores de G' (Figs. 10 a 12), indicando la ruptura de la estructura de los quesos (Tunick *et al.* 1990), hasta el punto en que su comportamiento reológico se convierte en predominantemente viscoso ($G' < G''$) a deformaciones alrededor de 24 a 49 %.

Los valores máximos de deformación en la región viscoelástica lineal de los quesos, después de un día de preparados, fueron: $QPS_{1.5G-0.0C}$ (0.20 %) > $QPS_{1.5G-1.5C}$ (0.16 %) > $QPS_{3.0G-0.0C}$ y $QPS_{3.0G-1.5C}$ (0.13 %) (Fig. 10). El valor máximo de deformación en la región lineal mostrado por el queso $QPS_{1.5G-0.0C}$,

en comparación con aquellos del resto de los quesos, se observó también a los 7 y 14 días de almacenamiento: QPS_{1.5G-0.0C} (0.16 %) y QPS_{1.5G-1.5C}, QPS_{3.0G-0.0C} y QPS_{3.0G-1.5C} (0.13 %) (Figs. 11 y 12).

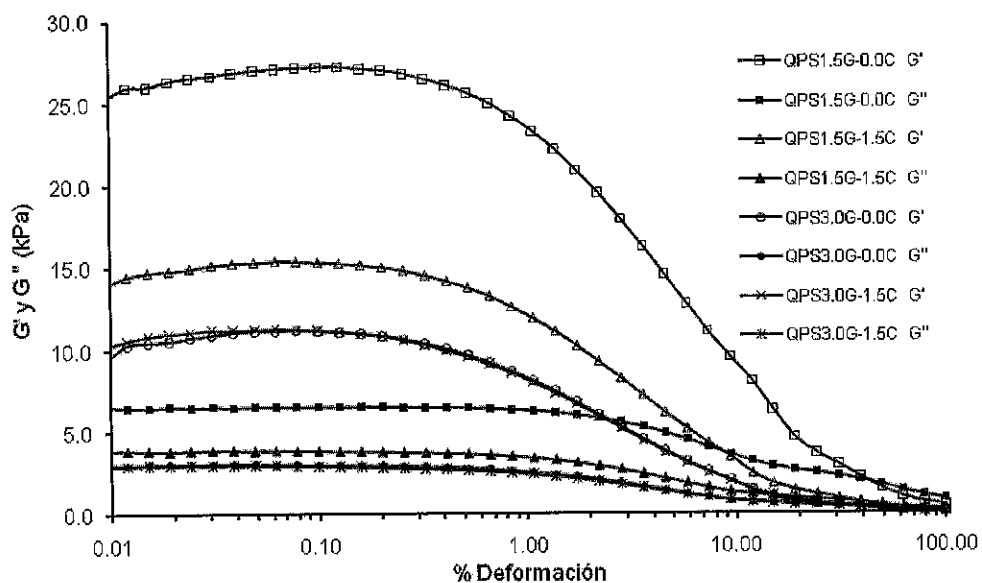


Figura 10. Variación de los módulos de almacenamiento (G') y de pérdida (G'') de los quesos Petit suisse en función de la deformación, después de un día de preparados.

Adicionalmente, el queso QPS_{1.5G-0.0C} tuvo el módulo de almacenamiento más elevado en la región viscoelástica lineal a los 1, 7 y 14 días de almacenamiento ($p \leq 0.05$), en comparación con el resto de los quesos Petit suisse (Figs. 10 a 12, Cuadro 5). Los resultados expuestos, indican que el queso QPS_{1.5G-0.0C} exhibió un comportamiento más elástico a bajas deformaciones que el resto de los quesos. Lobato-Calleros *et al.* (2001) informaron que conforme el componente graso de los quesos es reducido, más zonas de proteína

ininterrumpida componen su estructura; en consecuencia, ocurre un alto grado de entrecruzamiento entre moléculas de proteína, resultando una red tridimensional exhibiendo alta resistencia a la deformación.

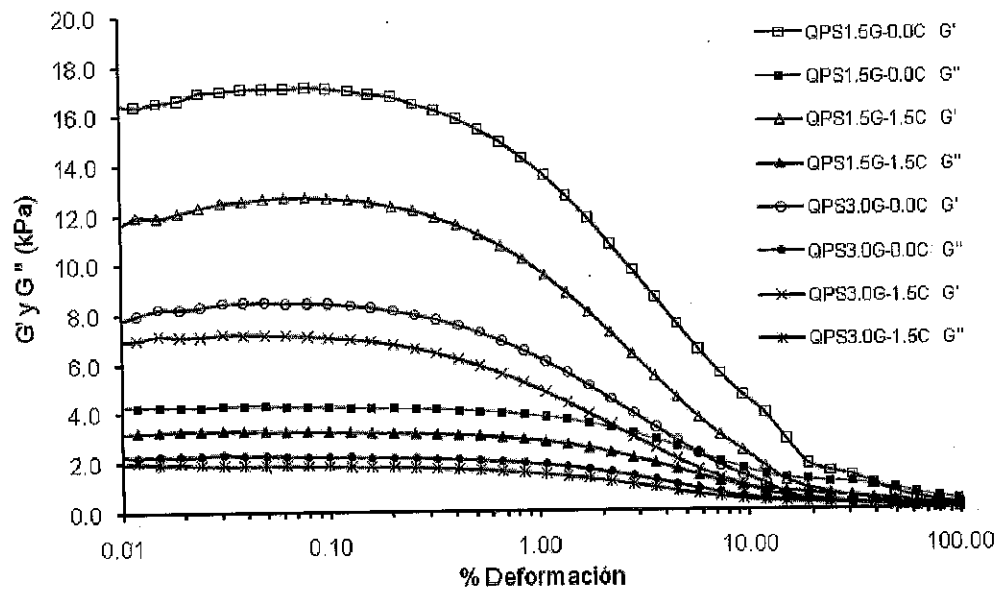


Figura 11. Variación de los módulos de almacenamiento (G') y de pérdida (G'') de los quesos Petit suisse en función de la deformación, después de siete días de preparados.

El queso QPS_{1.5G-1.5C}, mostró valores de G' significativamente menores a aquellos del queso QPS_{1.5G-0.0C}, a los 1, 7 y 14 días de almacenamiento (Figs. 10 a 12, Cuadro 5), a pesar de que ambos quesos contuvieron porcentajes de grasa láctea similares (Cuadro 4). A partir de las diferencias en el comportamiento mecánico de los quesos QPS_{1.5G-1.5C} y QPS_{1.5G-0.0C}, se infiere la intervención del coacervado PJWPI en la formación de una red proteínica más abierta en el queso QPS_{1.5G-1.5C}, la cual exhibió menor carácter elástico que

aquella correspondiente al queso QPS_{1.5G-0.0C}. Asimismo, la incorporación del coacervado PJWPI en el queso QPS_{3.0G-1.5C}, contribuyó a la obtención de una red proteínica con menor elasticidad que la exhibida en el queso QPS_{3.0G-0.0C}, siendo evidente este efecto a los 7 y 14 días de almacenamiento (Figs. 10 a 12, Cuadro 5).

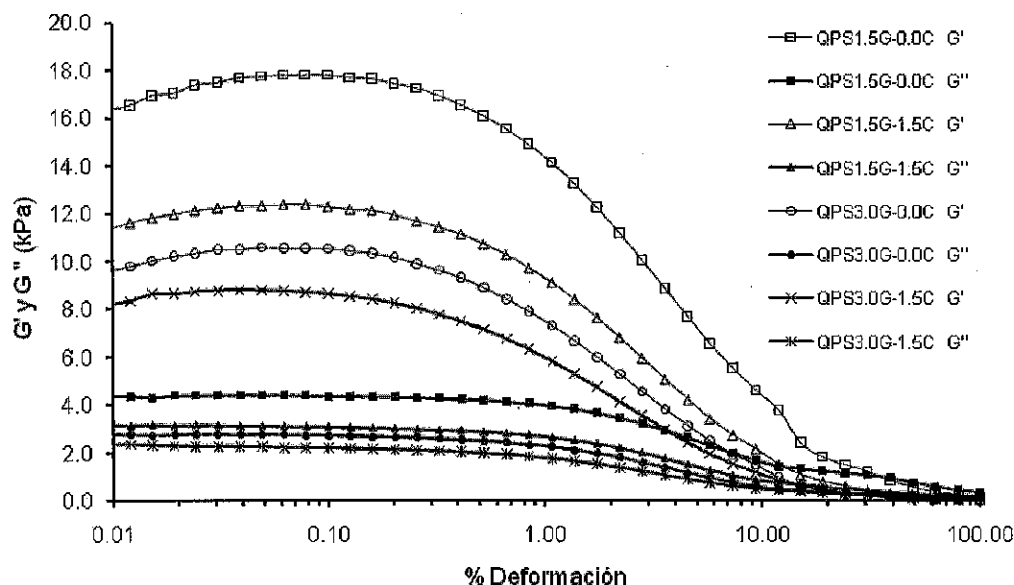


Figura 12. Variación de los módulos de almacenamiento (G') y de pérdida (G'') de los quesos Petit suisse en función de la deformación, después de catorce días de preparados.

Diferencias en el comportamiento reológico de quesos puede ser explicado en términos de las propiedades estructurales de la red proteínica y de las gotas de grasa inmersas en la primera (Lobato-Calleros *et al.*, 2007). En la estructuración de la primera pueden además intervenir ingredientes distintos a los de la leche, los cuales modifican el entrecruzamiento de cadenas de caseína mediante

interacciones con la misma (Lobato-Calleros *et al.*, 2006) o mediante impedimento estérico. Este último al parecer, fue ejercido por las partículas de coacervado de PJWPI, generando una red proteínica con menor grado de entrecruzamiento y en consecuencia, con menor resistencia a la deformación.

Cuadro 5. Valores medios (\pm DE) de los módulos de almacenamiento (G') y de pérdida (G'') en la región viscoelástica lineal, de los quesos Petit suisse.

Código de queso	Día 1		Día 7		Día 14	
	G' (kPa)	G'' (kPa)	G' (kPa)	G'' (kPa)	G' (kPa)	G'' (kPa)
QPS _{1.5G-0.0C}	27.2 \pm	6.5 \pm	17.1 \pm	4.3 \pm	17.8 \pm	4.4 \pm
	0.4 ^{c,A}	0.2 ^{c,A}	0.2 ^{d,B}	0.2 ^{d,B}	0.1 ^{d,C}	0.1 ^{d,C}
QPS _{1.5G-1.5C}	15.4 \pm	3.9 \pm	12.7 \pm	3.3 \pm	12.3 \pm	3.1 \pm
	0.2 ^{b,A}	0.1 ^{b,A}	0.2 ^{c,B}	0.2 ^{c,B}	0.3 ^{c,C}	0.2 ^{c,C}
QPS _{3.0G-0.0C}	11.2 \pm	3.0 \pm	8.5 \pm	2.3 \pm	10.5 \pm	2.7 \pm
	0.1 ^{a,A}	0.2 ^{a,A}	0.1 ^{b,B}	0.1 ^{b,B}	0.2 ^{b,C}	0.1 ^{b,C}
QPS _{3.0G-1.5C}	11.3 \pm	2.9 \pm	7.1 \pm	1.9 \pm	8.7 \pm	2.2 \pm
	0.2 ^{a,A}	0.2 ^{a,A}	0.2 ^{a,B}	0.1 ^{a,B}	0.3 ^{a,C}	0.2 ^{a,C}

^{a,b,c,d} Superíndices distintos en la misma columna, indican que las medias difieren significativamente ($p \leq 0.05$).

^{A,B,C} Superíndices distintos en la misma fila, indican que las medias difieren significativamente ($p \leq 0.05$).

Los valores de los módulos de almacenamiento de los quesos Petit suisse disminuyeron con el tiempo de almacenamiento (Cuadro 5), probablemente debido a fenómenos de proteólisis causados por enzimas propias de la leche y del cuajo usado para su elaboración.

El comportamiento del módulo viscoso (G'') de los quesos Petit suisse en función de la deformación, mostró una tendencia similar a aquél de G' , pero con variaciones menores a aquellas de G' (Figs. 10 a 12). Al parecer, el componente viscoso de los quesos fue más resistente a la deformación que su componente elástico; el primero constituido por el lactosuero y sus componentes y el segundo por la red proteínica. Los valores de G'' en la región viscoelástica lineal para los distintos quesos durante el período de almacenamiento, variaron de manera semejante a aquellos de G' (Cuadro 5).

La figura 13 muestra las variaciones en los valores de $\tan \delta$ de los quesos $QPS_{1.5G-0.0C}$, $QPS_{3.0G-0.0C}$, $QPS_{1.5G-1.5C}$ y $QPS_{3.0G-1.5C}$ en función de la deformación, después de 1, 7 y 14 días de almacenamiento. Los valores de este parámetro fueron similares para todos los quesos a bajas deformaciones; por ejemplo, en la región lineal, sus valores variaron 0.24 a 0.26. Sin embargo, a deformaciones mayores, la variación de los valores de $\tan \delta$ fue distinta para los diferentes quesos Petit suisse. Los porcentajes de deformación aplicados a los quesos, después de un día de preparados, a los que se obtuvieron valores de este parámetro reológico que rebasaron la unidad fueron: $QPS_{1.5G-0.0C}$ (49.1) > $QPS_{1.5G-1.5C}$ y $QPS_{3.0G-1.5C}$ (38.8) > ($QPS_{3.0G-0.0C}$) (30.6 %) (Fig. 10). Cabe señalar que valores de $\tan \delta > 1.0$ reflejan el comportamiento reológico predominantemente viscoso que muestran los quesos, al ser su estructura destruida mediante la aplicación de deformaciones relativamente elevadas.

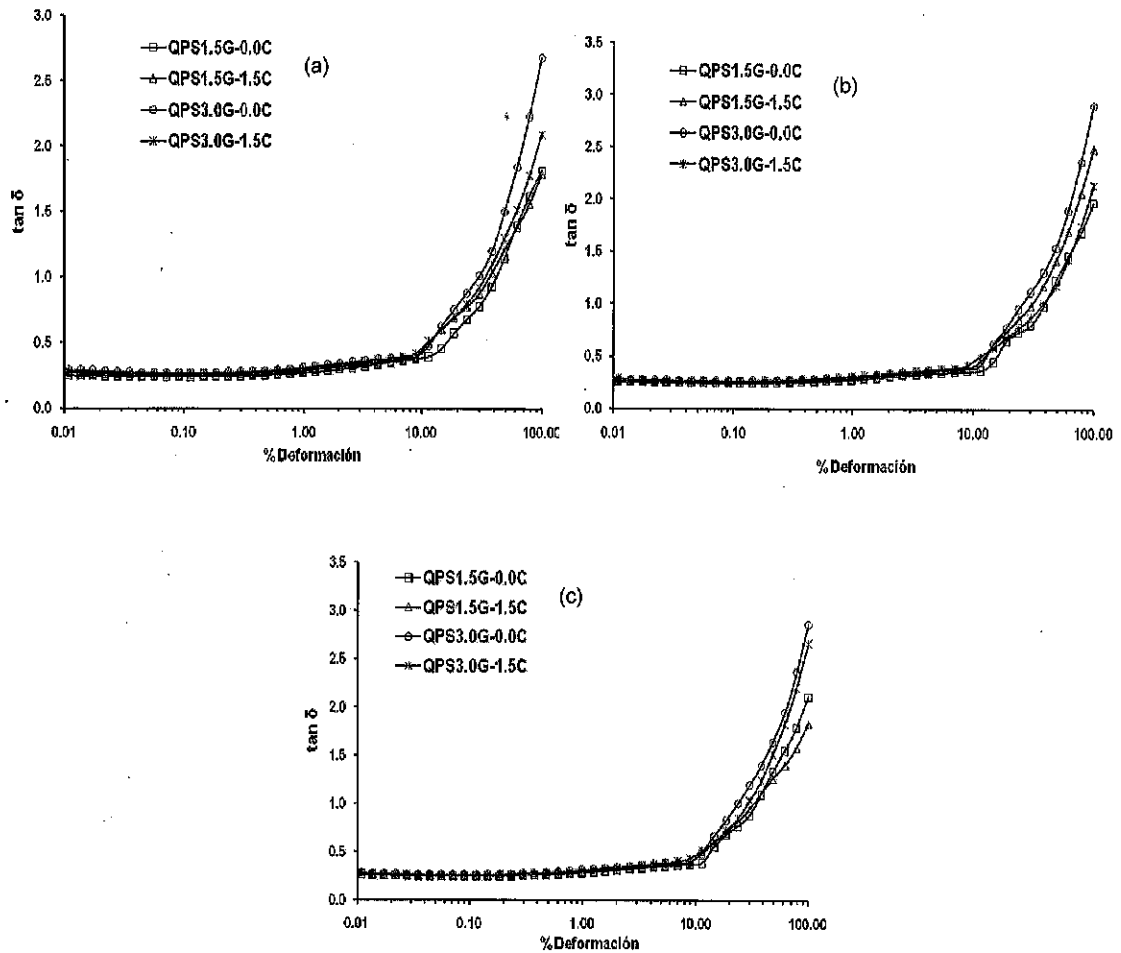


Figura 13. Variación de los valores de $\tan \delta$ de los quesos Petit suisse en función de la deformación, al 1 (a), 7 (b) y 14 (c) días de elaborados.

La tendencia de los valores de $\tan \delta$ en los quesos, después de 7 y 14 días de almacenamiento fueron similares a la señalada para el día primero. Los datos de $\tan \delta$ confirman el comportamiento reológico diferenciado de los quesos, dependiente de su composición, mencionado en líneas anteriores.

5.9.2 Barridos de frecuencia.

Las figuras 14, 15 y 16 muestran el comportamiento de los módulos de almacenamiento (G') y de pérdida (G'') en función de la frecuencia, de los quesos Petit suisse, a los 1, 7 y 14 días de almacenamiento, respectivamente. A partir de los resultados de los barridos de amplitud, se seleccionó una deformación de 0.1 % para efectuar los barridos de frecuencia (0.01 a 10 Hz) bajo condiciones de comportamiento viscoelástico lineal de los quesos. El análisis dinámico viscoelástico aplicado a los quesos Petit suisse (Figs. 14 a 16), reveló que todos los quesos se comportaron como materiales viscoelásticos predominantemente sólidos, en los que ambos módulos G' y G'' fueron dependientes de la frecuencia, siendo los valores de G' mayores que los de G'' en todo el rango de frecuencia estudiado. Este comportamiento reológico es característico de geles viscoelásticos débiles y ha sido observado en queso (Ma *et al.*, 1996; Nolan *et al.*, 1989). Ambos módulos G' y G'' tuvieron valores más bajos a menores frecuencias, reflejando la relajación de más enlaces conforme el tiempo de prueba bajo esfuerzo se prolonga (Walstra, 1993).

Al observar las figuras 14 a 16 y el cuadro 6, pueden apreciarse dos grupos de quesos de acuerdo a la magnitud de los valores de G' y G'' ; el primero presentando los valores más elevados de estos módulos, formado por los quesos bajos en grasa sin y con coacervado QPS_{1.5G-0.0C} y QPS_{1.5G-1.5C} y el segundo formado por los quesos mostrando valores más bajos de G' y G'' ,

formado por los quesos completos en grasa sin y con coacervado QPS_{3.0G-0.0C} y QPS_{3.0G-1.5C}. En el primer grupo puede apreciarse que en general los valores de G' y G'' del queso QPS_{1.5G-1.5C} fueron menores que aquellos del queso QPS_{1.5G-0.0C}, como efecto de la incorporación del coacervado PJ/WPI en la microestructura del primero. En el segundo grupo, los valores de G' y G'' de los quesos QPS_{3.0G-0.0C} y QPS_{3.0G-1.5C} estuvieron muy cercanos después de 1 y 7 días de almacenamiento, presentándose en el 14º día de almacenamiento una diferencia mayor en sus valores, la cual revela un carácter menos viscoelástico en el queso QPS_{3.0G-1.5C}. En efecto, el queso QPS_{3.0G-1.5C}, a los 14 días de elaborado, se comportó como un producto más blando y más untable respecto a los otros quesos. Los valores de G' y G'' permiten inferir que el queso QPS_{1.5G-0.0C} fue el que presentó mayores valores de energía almacenada por ciclo de oscilación (G') y de energía disipada como calor por ciclo (G'') (Lucey, 2002), como resultado de la formación de una estructura en la que predominó la proteína láctea; en contraste, los quesos QPS_{3.0G-0.0C} y QPS_{3.0G-1.5C}, mostraron los valores más bajos de este tipo de energías, como consecuencia de la intervención de la grasa láctea y el coacervado de PJ/WPI en la interrupción de la red proteínica que los conformó. Por su parte, el queso QPS_{1.5G-1.5C}, exhibió un comportamiento menos viscoelástico que el queso QPS_{1.5G-0.0C}, pero más viscoelástico que el queso QPS_{3.0G-0.0C}, al intervenir en su estructuración el coacervado de PJ/WPI.

Cuadro 6. Valores medios de los módulos de almacenamiento (G') y de pérdida (G'') a 1Hz de frecuencia, de los quesos Petit suisse.

Código de queso	Día 1		Día 7		Día 14	
	G' (kPa)	G'' (kPa)	G' (kPa)	G'' (kPa)	G' (kPa)	G'' (kPa)
QPS _{1.5G-0.0C}	18.4 ±	4.8 ±	14.5 ±	3.8 ±	13.9 ±	3.7 ±
	0.3 ^{aA}	0.2 ^{aA}	0.2 ^{aB}	0.2 ^{aB}	0.2 ^{aC}	0.3 ^{aB}
QPS _{1.5G-1.5C}	15.8 ±	4.2 ±	11.5 ±	3.1 ±	11.2 ±	3.1 ±
	0.2 ^{bA}	0.2 ^{bA}	0.1 ^{bB}	0.1 ^{bB}	0.2 ^{bB}	0.3 ^{aB}
QPS _{3.0G-0.0C}	9.2 ±	2.6 ±	7.5 ±	2.2 ±	7.2 ±	2.1 ±
	0.2 ^{cA}	0.2 ^{cA}	0.2 ^{cB}	0.1 ^{cB}	0.2 ^{cB}	0.2 ^{bB}
QPS _{3.0G-1.5C}	10.6 ±	2.9 ±	7.1 ±	2.0 ±	6.9 ±	1.9 ±
	0.2 ^{dA}	0.2 ^{cA}	0.2 ^{cB}	0.2 ^{cB}	0.2 ^{cB}	0.2 ^{bB}

^{a,b,c,d} Superíndices distintos en la misma columna, indican que las medias difieren significativamente ($p \leq 0.05$).

^{A,B,C} Superíndices distintos en la misma fila, indican que las medias difieren significativamente ($p \leq 0.05$).

En términos generales, a mayor número de interacciones tomando lugar a través de la red proteínica del queso, mayor es el número de uniones dentro de la matriz y mayor es la elasticidad de su estructura de gel (Everett y Olson, 2000).

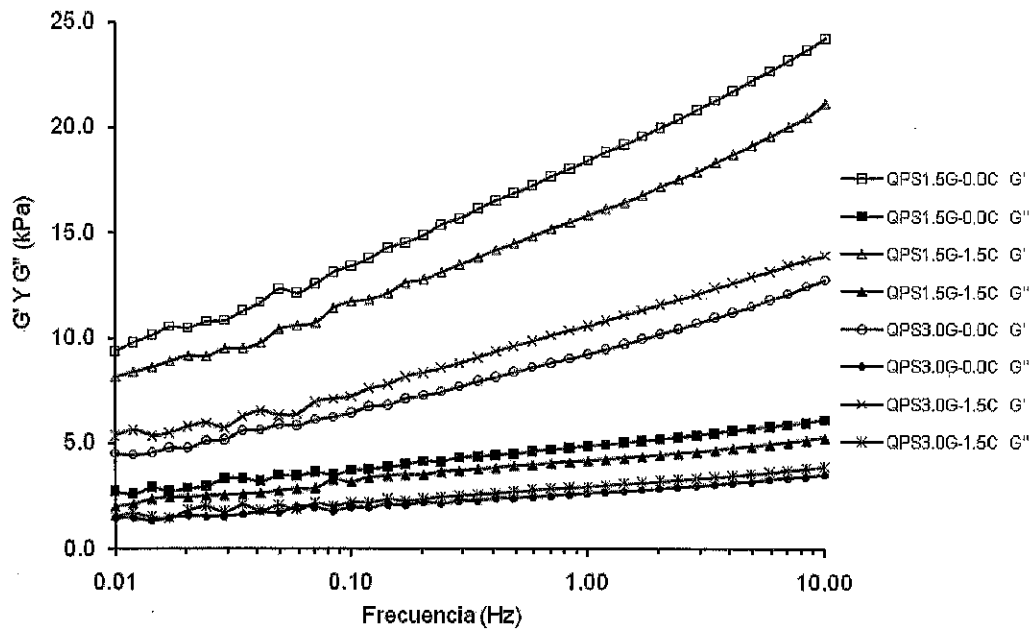


Figura 14. Variación de los módulos de almacenamiento (G') y de pérdida (G'') de los quesos Petit suisse en función de la frecuencia (Hz), después de un día de preparados.

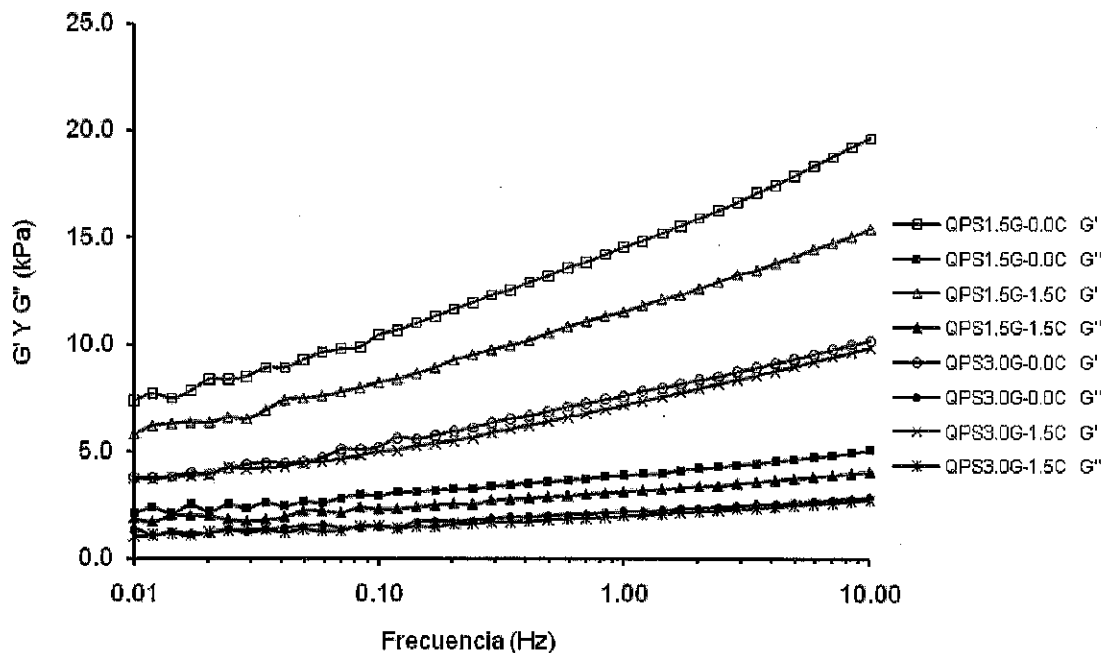


Figura 15. Variación de los módulos de almacenamiento (G') y de pérdida (G'') de los quesos Petit suisse en función de la frecuencia (Hz), después de siete días de preparados.

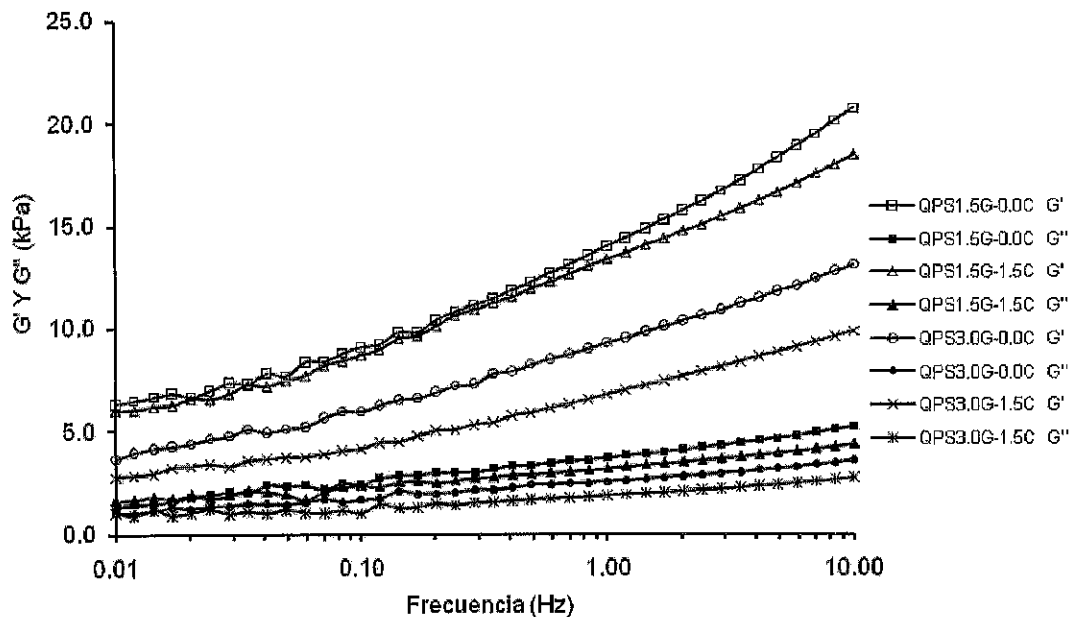


Figura 16. Variación de los módulos de almacenamiento (G') y de pérdida (G'') de los quesos Petit suisse en función de la frecuencia (Hz), después de catorce días de preparados.

5.10. Evaluación sensorial

El análisis de varianza aplicado a los resultados de la evaluación sensorial de los quesos, mostró que las calificaciones de aceptabilidad global asignadas por los 100 consumidores encuestados, a los quesos QPS_{1.5G-0.0C}, QPS_{1.5G-1.5C} y QPS_{3.0G-0.0C}, no difirieron significativamente (Cuadro 7). Los tres quesos recibieron calificaciones que los ubican en el rango de “me gusta poco a me gusta moderadamente”. Por su parte, el queso QPS_{3.0G-1.5C}, recibió una calificación media de aceptabilidad global menor ($p \leq 0.05$) a aquellas asignadas al resto de los quesos, la cual lo clasificó en el rango de “me disgusta poco y ni me disgusta ni me gusta” (Cuadro 7).

Cuadro 7. Valores medios (\pm DE) de aceptabilidad global asignados a las variaciones de queso Petit suisse.

Código del queso	Aceptabilidad
Petit suisse	
QPS _{1.5G-0.0C}	6.30 ^a \pm 1.9
QPS _{1.5G-1.5C}	5.90 ^a \pm 1.8
QPS _{3.0G-0.0C}	6.46 ^a \pm 1.6
QPS _{3.0G-1.5C}	4.73 ^b \pm 2.2

^{a,b}Superíndices distintos en la misma columna, indican que las medias difieren significativamente ($p \leq 0.05$).

Estos resultados indican que los consumidores no mostraron diferencias en la aceptabilidad de los quesos, en relación a su composición y propiedades mecánicas; para ellos, los quesos QPS_{1.5G-0.0C}, QPS_{1.5G-1.5C} y QPS_{3.0G-0.0C}, les provocaron un agrado comparable.

6. Conclusiones

El comportamiento reológico viscoelástico del coacervado de pectina de jícama/proteína de lactosuero (PJ/WPI) indica que la interacción electrostática entre las moléculas de estos biopolímeros, llevó a la formación de una red tridimensional de un gel con carácter predominantemente elástico.

Variaciones en el contenido graso y la incorporación o no del coacervado de PJ/WPI en la leche usada para la preparación de quesos Petit suisse resultó en productos que difirieron en su composición química, sinéresis y propiedades reológicas.

Se demostró que la presencia del coacervado PJ/WPI en queso Petit suisse, contribuyó al mejoramiento de las propiedades reológicas viscoelásticas de quesos reducidos en grasa, obteniéndose un producto (QPS_{1.5G-1.5C}) que además de presentar una reducción de 39.2 % en su contenido graso y un aumento de 11.5 % en su contenido proteínico respecto al queso completo en grasa, exhibió una aceptabilidad global comparable a la presentada por este último.

Los resultados de esta investigación proporcionan herramientas para el uso de coacervados formados por polisacáridos y proteínas, como sustitutos de grasa en queso, resultando productos novedosos, con variadas propiedades reológicas y composición química mejorada desde un punto de vista nutrimental.

7. Bibliografía

- Alanis-Guzmán, M. G., Burciaga-Dávila, C., García-Díaz, C., Bautista-Justo, M. (2003). Composición química del tubérculo de jícama durante el desarrollo hasta tiempo de cosecha. *Revista Salud Pública y Nutrición*. Edición Especial No.3. Congreso Regional en Ciencias de los Alimentos, Monterrey Nuevo León, México.
- Akhtar, M., Murray, B. S., Dickinson, E. (2008). Perception of creaminess of model oil-in-water dairy emulsions: Influence of the shear-thinning nature of a viscosity-controlling hydrocolloid. *Food Hydrocolloids*, 20, 839-847.
- Álvarez A., R; Peña-Valdivia, C. B. (2009). Structural polysaccharides in xoconostle (*Opuntia matudae*) fruits with different ripening stages. *Journal of Professional Association for Cactus Development*, 11, 26-44.
- American Association of Cereal Chemists. (2001). The definition of dietary fiber. Dietary Fiber Technical Committee. *Cereal Foods World*, 46,112.
- Anzaldúa, M. A. 1994. *La Evaluación Sensorial de los Alimentos en la teoría y la práctica*. Ed. Acribia, Zaragoza, España.
- AOAC. (1995). Métodos 920.151, 978.04, 926.08, 933.05 y 920.123. *Official methods of analysis* (16th ed.). Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists.
- Beristain, C.I., Cruz-Sosa, F., Lobato-Calleros, C, Pedroza-Islas, R., Rodríguez-Huezo, M.E. y Verde-Calvo, J.R. (2006). Applications of soluble dietary fibers in beverages. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 5(1), 81-95.

- Braccini, I., Pérez, S. 2001. Molecular basis of Ca^{2+} induced gelation in alginates and pectins: The egg-box model revisited. *Biomacromolecules*, 2, 1089–1096.
- Brent, L. R., Malcolm, A. O., Debra, M. (2001). Pectins: structure, biosynthesis, and oligogalacturonide-related signaling. *Phytochemistry*, 57, 929–967.
- Cabeza, H. E. A. (2006). *Bacterias ácido-lácticas (BAL): aplicaciones como cultivos estarter para la industria láctea y cárnica*. Departamento de Microbiología, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad de Pamplona. Pamplona, Norte de Santander. Colombia.
- Canteri-Schemin, M. H., Ramos, H., Waszczynskyj, N. (2005). Extraction of pectin from apple pomace. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 48(2), 259-266.
- Cantwell, M. (2006). Jícama (jícama de agua, yuca de bejuco). *Recomendaciones para mantener la calidad postcosecha*. Postharvest Technology Research and Information Center. Department of Plant Sciences, University of California, Davis, CA, EUA.
- Champ, M., Guillon, F. (2000). Structural and physical properties of dietary fibres, and consequences of processing on human physiology. *Food Research International*, 33, 233-245.
- de Kruif, C. G., Tuinier, R. (2001). Polysaccharide protein interactions. *Food Hydrocolloids*, 15, 555–563.
- de Kruif, C.G., Weinbreck, F., de Vries, R. (2004). complex coacervation of proteins and anionic polysaccharides. *Colloid & Interface Science*, 9, 340-349.

- Díaz, J.B., Sosa, M.M.E., Vélez, R.J.F. (2004). Efecto de la adición de fibra y la disminución de grasa en las propiedades fisicoquímicas del yogur. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 3, 287-305.
- Dickinson, E. (1995). Emulsion stabilization by polysaccharides and protein polysaccharide complexes. En: *Food polysaccharides and their applications*, (Stephen, A.M., ed.), Pp. 501-515. Marcel Dekker, NY, EUA.
- Dickinson, E. (1998). Stability and rheological implications of electrostatic milk protein-polysaccharide interactions. *Trends in Food Science and Technology*, 9, 347-354.
- Dickinson, E. (2008). Interfacial structure and stability of food emulsions as affected by protein-polysaccharide interactions. *Soft Matter*, 4, 932-942.
- Dongowski, G., Schnorrenberger, B., Platzer, M., Schwarz, M., Neubert, R. (1997). Interactions between food components and drugs. Part 5: effect of acetylation and amidation of pectins on the interactions with drugs. *International Journal of Pharmacy*, 158, 99-107.
- Erickson, D., Li, D., Werner, C. (2000). An Improved Method of Determining the ξ -Potential and Surface Conductance. *Journal of Colloid and Interface Science* 232, 186-197.
- Escudero, A. E., González, S. P. (2006). La fibra dietética. *Nutrición Hospitalaria*, 21, (Supl. 2), 61-72.
- Espinosa-Andrews, H., Baéz-González, J.G., Cruz-Sosa, F., Vernon-Carter, E.J. (2007). Gum Arabic-chitosan complex coacervation. *Biomacromolecules* 8, 1313-1318.

- Espinosa-Andrews, H., Sandoval-Castilla, O., Vázquez Torres, H., Vernon-Carter, E. J., Lobato-Calleros, C. (2009). Determination of the gum arabic-chitosan interactions by Fourier Transform Infrared Spectroscopy and characterization of the microstructure and rheological features of their coacervates. *Carbohydrate Polymers*, doi: 10.1016/j.carbpol.2009.08.040.
- Everett, D. W., Auty, M. A. E. (2008). Cheese structure and current methods of analysis. *International Dairy Journal*, 18, 759-773.
- Everett, D. W., Olson, N. F. (2000). Dynamic rheology of renneted milk gels containing fat globules stabilized with different surfactants. *Journal of Dairy Science*, 83, 1203–1209.
- FAO. (2002). Tabla de composición de alimentos de América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Oficina Regional para América Latina y el Caribe. <http://www.rlc.fao.org/es/bases/alimento/resulta.asp?currentPage=244&cla=&gen=&pais=>, consultada 01.02.10.
- FAO-OMS. (2007). Comisión del Codex Alimentarius. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación y Organización Mundial de la Salud.
- Fennema, O. R. (1996). *Food chemistry*. Marcel Dekker, Inc. NY, EUA.
- Ferguson, L. R., Harris, P. J. (2003). The dietary fibre debate: more food for thought. *The Lancet*, 361, 1487-1488.
- FCC (1981). *Food chemical codex*. Washington, DC: National Academy of Sciences pp. 283–286.

- Fuentelsaz, G. (2004). Cálculo del tamaño de la muestra. *Matronas Profesión*; vol. 5 (18); 5-13. Barcelona, España.
- Ferry, J. S. (1980). *Viscoelastic properties of polymers*, 3rd ed. Wiley: Nueva York.
- García, P. P., Álvarez de Frutos, V. (2000). Fibra y salud. *Nutrición y Obesidad*, 3:127-135.
- Gerlat, P. (2000). Beverage stabilizers. *Food Product Design*. <http://www.foodproductdesign.com/archive/2000/1000ap.html>. Consultado 22.11.06.
- Gray, J. (2006). *Dietary fibre. Definition, analysis, physiology & health*. International Life Sciences Institute (ILSI). Bruselas, Bélgica.
- Heredia, Z. A. (1998). El cultivo de la jícama (*Pachyrhizus erosus* (L.) Urban) en la región del Bajío en el estado de Guanajuato, México. In: *Proceedings of 2nd International Symposium on Tuberous Legumes* (Sørensen, M., Estrella E. J. E., Hamann, O.J., Ríos, R. S. A. Eds.), Pp: 167-174. MacKeenzie, Copenhague Dinamarca.
- Hyun, K., Kim, S. H., Ahn, K. H., Lee, S. J. (2002). Large amplitude oscillatory shear as a way to classify the complex fluids. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 107, 51-65.
- Janhøj, T., Frøst, M.B., Ipsen, R. (2008). Sensory and rheological characterization of acidified milk drinks. *Food Hydrocolloids*, 22, 798-806.
- Jenkins, D. J. A., Kendall, C. W. C., Ransom, T. P. P. (1998). Dietary fiber, the evolution of the human diet and coronary heart disease. *Nutrition Research*, 18, 633-652.

- Jiménez-Escrig, A., Sánchez-Muniz, F. J. (2000). Dietary fibre from edible seaweeds: chemical structure, physicochemical properties and effects on cholesterol metabolism. *Nutrition Research*, 20, 585-598.
- Jones, S. R., Carley, S., Harrison, M. (2003). An introduction to power and sample size estimation. *Emerg. Med. J.* 20; 453-458. Manchester, U. K.
- Kalab, M. (1998). Watery yogurt?©SCIMAT. Disponible en: www.ciberus.ca/~scimat. Consultado en Septiembre 2009.
- Keogh, M. K., O'Kennedy, B. T. (1998). Rheology of stirred yogurt as affected by added milk fat, protein and hydrocolloids. *Journal of Food Science*, 63, 108-112.
- Keogh, G. F., Cooper, G. J., Mulvey, T.B., McArdle, B.H., Coles, G.D., Monro, J. A., Poppitt, S.D. (2003). Randomized controlled crossover study of the effect of a highly beta-glucan-enriched barley on cardiovascular disease risk factors in mildly hypercholesterolemic men. *American Journal of Clinical Nutrition*, 78, 711-718.
- Kin, Y-I (2000). Aga technical review: Impact of dietary fiber on colon cancer occurrence. *Gastroenterology*, 118:1235-1257.
- Kumar, G. S. (2006). Functional coatings and microencapsulation: A general perspective. En *Functional coatings: by polymer microencapsulation* (Kumar G. S. Ed.), Pp. 1-28. Wiley-VCH Verlag GmbH and Co. KGaA, Weinheim, República Federal de Alemania.
- León, P. G., Chillo, S., Conte, A., Gerschenson, L. N., Del Nobile, M. A., Rojas, A. M. (2009). Rheological characterization of deacylated/acylated gellan films carrying L-(+)-ascorbic acid. *Food Hydrocolloids*, 23, 1660-1669.

- Leroux, J., Langendorff, V., Schick, G., Vaishnav, V., Mazoyer, J. (2003). Emulsion stabilizing properties of pectin. Elsevier-Science Direct. Food Hydrocolloids, 17, 455-462.
- Leisner, D., Imae, T. (2003). Interpolyelectrolyte complex and coacervate formation of poly(glutamic acid) with a dendrimer studied by light scattering and SAXS. The Journal of Physical Chemistry B, 107, 8078-8087.
- Liu, L., Fishman, M. L., Kost, J. Hicks, K. B. (2003). Pectin-based systems for colon-specific drug delivery via oral route. Biomaterials, 24, 3333-3343.
- Lobato-Calleros, C., Aguirre-Mandujano, E., Vernon-Carter, E. (1999). Propiedades reológicas de análogos de queso: efectos de sustituto de grasa, grasa y humedad. Ciencia y tecnología de los alimentos (ALTAGA). Vol. 2, No. 3, pp. 119-124.
- Lobato-Calleros, C., Robles-Martínez, J. C., Caballero-Pérez, J. F., Aguirre-Mandujano, E., Vernon-Carter, E. J. (2001). Fat replacers in low-fat mexican manchego cheese. Journal of Texture Studies, 32, 1-14.
- Lobato-Calleros, C., Martínez-Torrijos, O., Sandoval-Castilla, O., Pérez-Orozco, J. P., Vernon-Carter, E. J. 2004. Flow and creep compliance properties of reduced-fat yoghurts containing protein based fat replacers. International Dairy Journal, 14, 777-782.
- Lobato-Calleros, C., Rodríguez, E., Sandoval-Castilla, O, Vernon-Carter, E. J., Alvarez-Ramirez, J. (2006). Reduced-fat white fresh cheese-like products obtained from $W_1/O/W_2$ multiple emulsions: viscoelastic and high-resolution image analyses. Food Research International, 39, 678-685.

- Lobato-Calleros, C., Sosa-Pérez, A., Rodríguez-Tafoya, J., Sandoval-Castilla, O., Pérez-Alonso, C. y Vernon-Carter, E.J. (2008). Structural and textural characteristics of reduced-fat cheese-like products made from $W_1/O/W_2$ emulsions and skim milk. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, 41, 1847-1856.
- Lobato-Calleros, C., Recillas-Mota, M. T., Espinosa-Solares, T., Alvarez-Ramirez, J., Vernon-Carter, E. J. (2009). Microstructural and rheological properties of low-fat stirred yogurts made with skim milk and multiple emulsions. *Journal of Texture Studies*, 40, 657-675.
- Lutz, R., Aserin, A., Wicker, L., Garti, N. (2008). Structure and physical properties of pectins with block-wise distribution of carboxylic acid groups. *Food Hydrocolloids*, 23, 786–794.
- Ma, L., Drake, M. A., Barbosa Canovas, G. V., Swanson, B. G. (1996). Viscoelastic properties of reduced-fat and full-fat cheddar cheeses. *Journal of Food Science*, 61, 821–823.
- Ma, Y., Griffith, J. A., Chasan-Taber, L., Olendzki, B.C., Jackson, E., Stanek, E. J. 3rd, Li, W., Pagoto, S. L., Hafner, A.R., Ockene, I. S. (2006). Association between dietary fiber and serum C-reactive protein. *American Journal of Clinical Nutrition*, 83(4):760-766.
- Malvern Instruments (2010a). Zeta potential. An introduction in 30 minutes. <http://www.nbtc.cornell.edu/facilities/downloads/Zeta%20potential%20-%20An%20introduction%20in%2030%20minutes.pdf>, consultada 12.03.10.

- Malvern Instruments (2010b). Zeta potential measurement using laser Doppler electrophoresis(LDE).http://www.malvern.com/LabEng/technology/zeta_potential/zeta_potential_LDE.htm, consultada 12.03.10.
- Maruyama, L. Y., Cardarelli, H. R., Buriti, F. C., Saad, S. M. (2006). Textura instrumental de queijo petit-suisse potencialmente probiótico: influência de diferentes combinações de gomas. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 26, 386-393.
- McClements, D. J. *Food Emulsions: Principles, practices, and techniques*, 2nd ed., CRC Press, Boca Raton, Florida; 2004.
- McClements, D. J. 2006. Non-covalent interactions between proteins and polysaccharides. *Biotechnology Advances*, 24, 621–625.
- McMahon, D.J.; Alleyne, M.C.; Fife, R.L.; Oberg, C.J. (1996). Use of fat replacers in low fat Mozzarella cheese. *Journal Dairy Science*, 79, 1911-1921.
- Mercado, S. E., Amador, V. L., Aquino, B. (2006). Efecto de la relación área/volumen y tratamientos térmicos ligeros en la calidad de jícama mínimamente procesada. I Simpósio Ibero-Americano de Vegetais Frescos Cortados, San Pedro, SP Brazil. Pp. 75-81.
- Meyer, P. D. (2004). Nondigestible oligosaccharides as dietary fiber. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists International*, 87(3), 718–726.
- Morris, G. A., Foster, T. J., Harding, S. E. (2000). The effect of the degree of esterification on the hydrodynamic properties of citrus pectin. *Food Hydrocolloids*, 14, 227–235.

- Nakamura, A., Yoshida, R., Maeda, H., Carredig, M. (2006). The stabilizing behaviour of soybean soluble polysaccharide and pectin in acidified milk beverages. *International Dairy Journal*, 16, 361–369.
- Nawirska, A., Kwaśniewska, M. (2005). Dietary fibre fractions from fruit and vegetable processing waste. *Food Chemistry*, 91, 221–225.
- Nolan, E. J., Holsinger, V. H., Sheih, J. J. (1989). Dynamic rheological properties of natural and imitation Mozzarella cheeses. *Journal of Texture Studies*, 20, 179–183.
- NOM-121-SSA1-1994. (1994). Norma Oficial Mexicana, Bienes y servicios. Quesos: frescos, madurados y procesados. Especificaciones sanitarias.
- Noman, A. S. M., Hoque, M. A., Haque, M. M., Pervin, F., Karim, M. R. (2007). Nutritional and anti-nutritional components in *Pachyrhizus erosus* L. tuber. *Food Chemistry*, 102, 1112-1118.
- Noronha, N., O’Riordan, E. D., O’Sullivan, M. (2007). Replacement of fat with functional fibre in imitation cheese. *International Dairy Journal*, 17, 1073–1082.
- Park, J. M., Muhoberac, B. B., Dubin, P. L. and Xia, J. (1992). Effects of protein charge heterogeneity in protein-polyelectrolyte complexation. *Macromolecules*, 25, 290-295.
- Pelloux, J., Rustérucci, C., Mellerowicz, E. J. (2007). New insights into pectin methylesterase structure and function. *Trends in Plant Science*, 12, 1360-1385.

- Pérez-Gago, M.B., and Krochta, J.M. (1999). Water vapor permeability of whey protein emulsion films as affected by pH. *Journal of Food Science*, 64, 695-698.
- Ridley, B. L., O'Neill, M. A., Mohnen, D. (2001). Pectins: structure, biosynthesis, and oligogalacturonide-related signaling. *Phytochemistry*, 57, 929-967.
- Rinaudo, M., Auzely, R., Vallin, C., Mullagaliev, I. (2005). Specific interactions in modified chitosan systems. *Biomacromolecules* 6, 2396-2407.
- Secretaría de Economía. (2007). Diario Oficial, lunes 1º de enero de 2007. Mecanismo de asignación de los contingentes arancelarios para importar en 2007, con los aranceles preferenciales establecidos en el marco de los compromisos contraídos por México en la Organización Mundial del Comercio. México, D.F.
- Senff, H., Richtering, W. J. (1999). Temperature sensitive microgel suspensions: colloidal phase behavior and rheology of soft spheres. *Journal of Chemical Physics*, 111(4), 1705-1711.
- Serguschenko, I., Kolenchenko, E., Kothimchenko, M. (2007). Low esterified pectin accelerates removal of lead ions in rats. *Nutrition Research*, 27, 633-639.
- SIAP. (2008). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SAGARPA.
- Singthong, J., Cui, S.W., Ningsanond, S., Goff, H.D. (2004). Structural characterization, degree of esterification and some gelling properties of Krueo Ma Noy (*Cissampelos pareira*) pectin. *Carbohydrate Polymers*, 58, 391-400.

- Sørensen, M. (1990). Observations on distribution ecology and cultivation of the tuber-bearing legume genus *Pachyrhizus* Rich. ex DC (Fabaceae Phaseoleae), Wageningen Papers, 90(3), 1-38.
- Tabilo, M. G., Barbosa, C. G. V. (2005). Rheology for the food industry. *Journal of Food Engineering*, 67, 147-156.
- Thakur, B. R., Singh, R. K., Handa, A. K. (1997). Chemistry and uses of pectin - A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 37, 47-73.
- Titcomb, S. T., Juers, A. A. (1986). Reduced calorie, high fiber content breads and methods of making same. US Patent No. 4,590,076.
- Tolstoguzov, V. B. (2003). Some thermodynamic considerations in food formulation. *Food Hydrocolloids*, 17, 1-23.
- Trumbo, P., Schliker, S., Yates, A., Poos, M. (2002). Dietary references intakes for energy carbohydrate, fiber, fatty acids, cholesterol, protein, and amino acids. *Journal of the American Dietetic Association*, 102 (11), 1621-1630.
- Tuinier, R., Rolin, C., de Kruif, C. G. (2002). Electrosorption of pectin onto casein micelles. *Biomacromolecules*, 3(3), 632-638.
- Tungland, B.C., Meyer, D. (2002). Nondigestible oligo- and polysaccharides (dietary fiber): their physiology and role in human health and food. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 1, 73-92.
- Tunick, M. H., Nolan, E. J., Shieh, J. J., Basch, J. J., Thompson, M. P., Maleeff, B. E. (1990). Cheddar and cheshire rheology. *Journal of Dairy Science*, 73, 1671-1675.

- Turgeon, S.L., Schmitt, C., Sanchez, C. (2007). Protein-polysaccharide complexes and coacervates. *Current Opinion in Colloid and Interface Science*, 12, 166-178.
- USP 26 NF 21 (2003). *The United States pharmacopeia—The National Formulary*. Rockville, MD: United States Pharmacopeial Convention pp. 1401-1402.
- Van Buren, J. P. (1991). Function of pectin in plant tissue structure and firmness. En *The chemistry and technology of pectins* (Walter R. H., Ed.), Pp. 1-18. Academic Press, Inc. San Diego, CA, EUA.
- Veiga, P. G., Cunha, R. L., Viotto, W. H., Petenate, A. J. (2000). Caracterização química, reológica e aceitação sensorial do queijo petit suisse brasileiro. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 20(3), 61-101.
- Veldman, F. J., Nair, Ch. H., Vorster, H. H., Veraak, W. J. H., Jerling, J. C., Oosthuizen, W., Venter, Ch., S. (1997). Dietary pectin influences fibrin network structure in hypercholesterolaemic subjects. *Thrombosis Research*, 86, 183-196.
- Walstra, P. (1993). The syneresis of curd. En *Cheese: chemistry, physics and microbiology. Vol. 1. General aspects*. 2nd ed. (P. F. Fox, ed.), Pp. 141-191, Chapman and Hall, Londres.
- Walstra, P. (2003). *Physical chemistry of foods*. Marcel Dekker, Inc. NY, EUA.
- Wang, J., Rosell, C. M., Benedito de Barber, C. (2002). Effect of the addition of different fibres on wheat dough performance and bread quality. *Food Chemistry*, 79, 221-226.

- Wang, H., Lee, J., Wang, Y., Huang, Q. (2007). Composition and rheological properties of β -Lactoglobulin/pectin coacervates: effects of salt concentration and initial protein/polysaccharide ratio. *Biomacromolecules*, 8(3), 992-997.
- Weinbreck, F. C. J. (2004). *Whey protein / polysaccharide coacervates: structure and dynamics*. Universiteit Utrecht, The Netherlands.
- William, G. T., Knox, P., Mikkelsen, D. (2006). Pectin: new insights into an old polymer are starting to gel. *Food Science and Technology*, 17, 97-104.
- Ylönen, K., Saloranta, C., Kronberg-Kippilä, C., Groop, L., Aro, A., Suvi, M. V. (2003). Associations of dietary fiber with glucose metabolism in nondiabetic relatives of subjects with type 2 diabetes: the botnia dietary study. *Diabetes Care*, 26(7), 1979-1985.
- Yukie, M. L., Cardarelli, H. R., Buriti, F. C. (2006). Textura instrumental de queijo petit-suisse potencialmente probiótico: influência de diferentes combinações de gomas. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 26, 386-393.
- Zaleska, H., Ring, S. G., Tomasik, P. (2000). Apple pectin complexes with whey protein isolate. *Food Hydrocolloids*, 14, 377-382.