



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Obtención y caracterización de hidrocoloides a partir de residuos de la industria frutícola

Mayra Alejandra Quintero Valbuena

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias, Departamento de química
Bogotá, Colombia
2016

Obtención y caracterización de hidrocoloides a partir de residuos de la industria frutícola

Mayra Alejandra Quintero Valbuena

Tesis de Maestría presentada como requisito parcial para optar al título de:

Magíster en Ciencias - Química

Directora: LUZ PATRICIA RESTREPO SÁNCHEZ MSc*

*Profesor Asociado, Departamento de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá

Grupo de Investigación:

Estudio de los cambios químicos y bioquímicos de alimentos frescos y procesados

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias, Departamento de química
Bogotá, Colombia

2016

A Dios por estar siempre presente en mi vida

A ti que siempre me acompañas desde el cielo y eres mi motivación principal.

A mi familia por su apoyo incondicional

A Jhonattan por llegar a mi vida y darme su amor

A Julian por traerle tanta felicidad a mi vida

“La vida no es fácil, para ninguno de nosotros. Pero... ¡Qué importa! Hay que perseverar y, sobre todo, tener confianza en uno mismo. Hay que sentirse dotado para realizar alguna cosa y que esa cosa hay que alcanzarla, cueste lo que cueste”

Marie Curie.

Agradecimientos

A Dios por llenarme de tantas bendiciones

A la Universidad Nacional de Colombia

Al programa “Becas Exención Derechos académicos” de la Facultad de ciencias por el descuento en la matrícula.

Al programa “Admisión automática por los mejores promedios de química” por el ingreso automático a la maestría

Por la financiación al Fondo Nacional de Financiamiento para la Ciencia, la Tecnología y la Innovación, Francisco José de Caldas, contrato No. 04959 – 2013. Red Nacional para la Biosprección de Frutas Tropicales – RIFRUTBIO

A todos los profesores del grupo de investigación “Estudio de los cambios Químicos y Bioquímicos de alimentos Frescos y Procesados”, Fabián Parada, Cecilia Anzola, Laura Ortiz y Liliam Palomeque, Carlos Narváez, por permitirme desarrollar esta investigación y por sus aportes en todos los seminarios.

A la profesora Luz Patricia Restrepo Sánchez por todos sus conocimientos impartidos a lo largo de mis estudios de pregrado y posgrado, por su paciencia y por ser como una madre para mí.

Al profesor Fabián Parada por su incondicional apoyo, por su orientación y sus aportes durante todo este proceso de formación.

Al profesor Carlos Narváez por su transferencia de conocimiento, por cuestionarme tanto, por orientarme y motivarme a ir más allá.

Al profesor Aquiles Enrique Darghan Contreras de la Facultad de Agronomía por su asesoría en la parte estadística de mi tesis.

A los laboratoristas Jonathan Páez y Don Héctor, por ayudarme en equipos y material de laboratorio.

Al laboratorio de hospedero patógeno (Cata y Paty) por los elementos prestados y tantas risas en los almuerzos.

A mis amigos y compañeros de laboratorio, Clara (incondicionalidad), Eliana (por siempre estar ahí), Mauricio Espinal, Diego Dávila, Katherine Montaña, Elizabeth Moreno.

A mi familia porque aunque no entiendan nada de lo que hice siempre estuvieron apoyándome, en especial a mi mamá por ser el motor de mi vida.

A mi amiga Edilene por enseñarme que se pueden superar todos los obstáculos que se presenten para alcanzar los sueños y que es uno el que se pone las limitaciones.

A mi Amore por no dejarme desfallecer al final de esta etapa y motivarme a terminar este proyecto.

Resumen

Los hidrocoloides, algunos, parte de la fibra soluble, tienen múltiples beneficios para la salud humana. Buscando un uso conveniente de dichos residuos en esta investigación se buscó la presencia de hidrocoloides con el fin de darle un uso diferente a residuos (mesocarpio, epicarpio, residuo de jugo, entre otros) de las frutas: curuba (*Passiflora tripartite, mollissima variety*), lulo (*Solanum quitoense*), granadilla (*Passiflora ligularis*), gulupa (*Passiflora edulis f. edulis*), tomate de árbol (*Solanum betaceum*) y maracuyá (*Passiflora edulis var. Flavicarpa*). Se realizó una medida de fibra dietaria (soluble e insoluble) a los residuos, obteniendo en la cáscara sin mesocarpio de la curuba el mayor valor de fibra soluble (35,2%BH) y el mayor contenido de fibra insoluble en residuo de jugo de gulupa (28,5%BH). Posteriormente, se efectuó una extracción de hidrocoloides por tres métodos, uno con HCl (47,5 a 85,7%), otro con una solución ácido oxálico/oxalato de amonio (52,8 – 91,3%) y otro con viscozime L (46,7 – 82,8%). A los hidrocoloides extraídos se les evaluó parámetros (humedad, cenizas), contenido de pectina (método pectato de calcio y ácidos galacturónicos) y propiedades funcionales, capacidad de hinchamiento (CH), Capacidad de retención de agua (CRW), capacidad de adsorción de aceite (CAO). Mediante un método lineal generalizado se establece comportamientos de las variables frente a los métodos evaluados, las frutas estudiadas y se seleccionan dos residuos para determinar el grado de metilación, acetilación, peso molecular y espectro FT-IR.

La cáscara sin mesocarpio de curuba (CEC) y el maracuyá (CSBM) resultaron ser los materiales más promisorios dentro de los materiales estudiados, siendo de los menos pigmentados, ampliando el rango para su uso en alimentos, los hidrocoloides extraídos con contenido de ácidos galacturónicos de 15,4 a 35,5%(p/p) para CEC y 19,3 a 37,8% (p/p) para CSBM; un grado de metoxilación para CEC de 43,3 a 69,3% (mol/mol) y entre 26,8 a 54,7% (mol/mol) para CSBM; un grado de acetilación para CEC de 23,6 a 61,3% (mol/mol) y de 27,0 a 50,1% (mol/mol) para CSBM; y para CEC un peso molecular de 225 a 339kDa y 2 a 821kDa para CSBM.

Palabras clave: Hidrocoloide, residuos frutas, extracción

Abstract

Hydrocolloids, some, part of the soluble fiber, have multiple benefits for human health. Looking for convenient use of these residues in this investigation we sought the presence of hydrocolloids in order to give a different use to waste (epicarp, mesocarp, residue of juice, among others) of fruits: Banana Passion fruit (*Passiflora tripartite*, mollissima variety), Naranjilla (*Solanum quitoense*), Sweet Passion Fruit (*Passiflora ligularis*), Purple Passion Fruit (*Passiflora edulis* f. *edulis*), Tree tomato (*Solanum betaceum*) and Yellow Passion Fruit (*Passiflora edulis* var. *Flavicarpa*). We were a measure of dietary fiber (both soluble and insoluble) in the wastes, obtaining the highest value of soluble fiber in the shell without mesocarp of the Banana Passion Fruit (35.2% BH) and the higher content of fiber, insoluble residue of Purple Passion Fruit juice (28.5% BH). Subsequently, is performed an extraction of hydrocolloids by three methods, one with HCl (47.5 to 85.7%), another with a solution acid oxalic / oxalate of ammonium (52.8-91.3%) and another with viscozyme L (46.7-82.8%). Assessed to the extracted hydrocolloids parameters (humidity, ash), pectin (method of calcium pectate and uronic acid) and functional properties, swelling capacity (CH), capacity of water retention (CRW), adsorption capacity of oil (CAO). Using a generalized linear method sets variables over evaluated methods, studied fruit behaviors and two residues are selected to determine the degree of methylation, acetylation, molecular weight and FT-IR spectrum.

Shell without mesocarp of Banana Passion Fruit (CEC) and Yellow Passion Fruit (CSBM) proved to be the most promising within the materials studied, being the least pigmented, expanding the range for use in food, the hydrocolloid extracted with content of uronic acids of 15.4 to 35,5% (w/w) for CEC and CSBM 19.3 and 37.8% (w/w); a degree of methylation for CEC from 43.3 to 69.3% (mol / mol) and between 26.8 to 54.7% (mol / mol) for CSBM; a degree of acetylation for CEC 23,6 a 61,3% (mol/mol) and 27,0 a 50,1% (mol/mol) for CSBM; and for CEC a molecular weight 225 to 339kDa and 2 to 821kDa for CSBM.

Keywords: Hydrocolloids, waste fruit, extraction, Passifloraceae, Solanaceae

Contenido

	Pág.
Resumen	VII
Lista de figuras	11
Lista de ilustraciones	13
Lista de tablas	14
Lista de abreviaturas	16
Introducción	18
1. Estado actual del tema	20
1.1 Frutas	20
1.1.1 Generalidades de los frutos.....	20
1.1.2 Composición nutricional	24
1.2 Residuos agroindustriales.....	24
1.3 Fibra dietaria.....	26
1.4 Hidrocoloides.....	27
1.4.1 Pectina.....	28
1.4.2 Localización	28
1.4.3 Clasificación de las sustancias pécticas	30
1.4.4 Estructura.....	30
1.4.5 Clasificación Comercial	32
1.4.6 Calidad de la pectina.....	34
1.4.7 Usos de la Pectina	35
2. Materiales y Métodos	37
2.1 Muestras de residuos de fruta.....	37
2.1.1 Preparación y liofilización	37
2.1.2 Caracterización de residuos de frutas	39
2.1.3 Aporte a la ingesta alimentaria de referencia de nutrientes	40
2.1.4 Estadística para la caracterización de residuos.....	40
2.2 Extracción de hidrocoloides	40
2.2.1 Método con ácido clorhídrico (clásico)	40
2.2.2 Método con ácido oxálico (químico)	41
2.2.3 Método enzimático	41
2.3 Caracterización hidrocoloides	41
2.3.1 Cuantificación de Pectato de calcio.....	42
2.3.2 Contenido total de ácido galacturónico.....	42
2.3.3 Capacidad de hinchamiento (CH).....	43
2.3.4 Capacidad de retención de agua (CRW).....	43
2.3.5 Capacidad de adsorción de aceite (CAO):	43
2.4 Estadística de extracción de hidrocoloides y caracterización.....	44

2.5	Caracterización hidrocoloides seleccionados	45
2.5.1	Determinación de grado de metilación y acetilación.....	45
2.5.2	Evaluación del peso molecular promedio.....	45
2.5.3	Espectro Infrarojo	46
2.5.4	Comparación con pectinas comerciales.....	46
3.	Resultados y Discusión.....	47
3.1	Residuos de frutas	47
3.1.1	Caracterización de los residuos de frutas	47
3.1.2	Contribución a las ingestas alimentarias de nutrientes.....	54
3.2	Extracción de hidrocoloides.....	55
3.2.1	Método con ácido clorhídrico (clásico)	55
3.2.2	Método con ácido oxálico (químico).....	56
3.2.3	Método enzimático.....	57
3.3	Estadística.....	60
3.4	Caracterización de hidrocoloides.....	63
3.4.1	Cuantificación de Pectato de calcio	65
3.4.2	Ácidos Galacturónicos	67
3.4.3	Capacidad de hinchamiento (CH)	71
3.4.4	Capacidad de retención de agua (CRW).....	73
3.4.5	Capacidad de adsorción de aceite (CAO):.....	75
3.5	Caracterización hidrocoloides seleccionados	77
3.5.1	Determinación de grado de metilación y acetilación.....	77
3.5.2	Evaluación del peso molecular promedio.....	78
3.5.3	Determinación Espectro Infrarrojo - Transformada de Fourier	80
3.5.4	Comparación con pectinas	81
4.	Conclusiones y recomendaciones	90
4.1	Conclusiones.....	90
4.2	Recomendaciones.....	92
A.	Anexo A: Anova simple caracterización de residuos.....	95
B.	Anexo B: Cromatogramas metilaciones y acetilaciones.....	105
C.	Anexo C: Cromatogramas peso molecular	109
D.	Anexo D: Espectros IR-FT.....	112
E.	Anexo: Curvas de calibración.....	115
F.	Anexo: Divulgación de los resultados	116
	Bibliografía	117

Lista de figuras

	Pág.
Figura 2-1: Identificación de las partes de la fruta de las <i>Passifloras</i> (izq) y <i>Solanáceas</i> (der) empleadas en la separación de residuos.	38
Figura 2-2: Metodología general para el estudio de la obtención de hidrocoloides a partir de residuos de frutas de la industria frutícola.	39
Figura 3-1: Contenido de humedad de 20 residuos de frutas de la familia Passifloraceae y Solanaceae	48
Figura 3-2: Contenido de grasa de 20 residuos de frutas de la familia Passifloraceae y Solanaceae	49
Figura 3-3: Contenido de fibra dietaria total soluble en 20 residuos de frutas de la familia Passifloraceae y Solanaceae.	50
Figura 3-4: Contenido de fibra dietaria soluble en 20 residuos de frutas de la familia Passifloraceae y Solanaceae.	51
Figura 3-5: Contenido de fibra dietaria insoluble en 20 residuos de frutas de la familia Passifloraceae y Solanaceae.	52
Figura 3-6: Gráfica de las interacciones de los residuos de frutas en la variable de rendimiento en los métodos de extracción. Método clásico (HCl)=1, Método químico = 2, Método enzimático = 3. Cu: curuba, G: Gulupa, Gr: granadilla, L: lulo, M: maracuyá, TA: tomate de árbol.	60
Figura 3-7: Gráfica de las interacciones de los residuos de frutas en la variable de rendimiento en los métodos de extracción. Cu: curuba, G: Gulupa, Gr: granadilla, L: lulo, M: maracuyá, TA: tomate de árbol.....	61
Figura 3-8: Gráfica de medias para el rendimiento de los residuos de frutas extraídas por los diferentes métodos. Método clásico (HCl)=1, Método químico = 2, Método enzimático = 3.....	62
Figura 3-9: Gráfica de medias para el rendimiento de los residuos de frutas extraídas por los diferentes métodos. Cu: curuba, G: Gulupa, Gr: granadilla, L: lulo, M: maracuyá, TA: tomate de árbol.	63
Figura 3-10: Gráfica de las interacciones de los residuos de frutas en la variable de rendimiento en los métodos de extracción. Método clásico (HCl)=1, Método químico = 2, Método enzimático = 3.	66
Figura 3-11: Gráfica de medias para el contenido de pectato de calcio en los residuos de frutas extraídas por los diferentes métodos. Método clásico (HCl)=1, Método químico = 2, Método enzimático = 3.	67

Figura 3-12: Gráfica de las interacciones de los residuos de frutas en la variable de ácidos galacturónicos a los métodos de extracción. Método clásico (HCl)=1, Método químico = 2, Método enzimático = 3. 69

Figura 3-13: Gráfica de las interacciones de los residuos de frutas en la variable de ácidos galacturónicos a los métodos de extracción. Método clásico (HCl)=1, Método químico = 2, Método enzimático = 3. 69

Figura 3-14: Gráfica de medias para el contenido de ácidos galacturónicos de los residuos de frutas extraídas por los diferentes métodos. Método clásico (HCl)=1, Método químico = 2, Método enzimático = 3. 70

Figura 3-15: Gráfica de medias para el contenido de ácidos galacturónicos de los hidrocoloides extraídas para cada fruta los diferentes métodos. Cu: curuba, G: Gulupa, Gr: granadilla, L: lulo, M: maracuyá, TA: tomate de árbol. 71

Figura 3-16: Gráfica de medias para la capacidad de hinchamiento de los residuos de frutas extraídas por los diferentes métodos. Cu: curuba, G: Gulupa, Gr: granadilla, L: lulo, M: maracuyá, TA: tomate de árbol. 73

Figura 3-17: Contenido de humedad y cenizas de 4 pectinas comerciales, un patrón y 6 hidrocoloides extraídos. 81

Figura 3-18: Contenido de ácidos galacturónicos y pectato de calcio de 4 pectinas comerciales, un patrón y 6 hidrocoloides extraídos. 82

Figura 3-19: Determinación de las propiedades funcionales, capacidad de retención de agua (CRW), capacidad de adsorción de aceite (CAO) y capacidad de hinchamiento (CH) en 4 pectinas comerciales, un patrón y 6 hidrocoloides extraídos. 85

Figura 3-20: Cantidad de grados de metoxilación (DM) y acetilación (DA) de 4 pectinas comerciales, un patrón y 6 hidrocoloides extraídos. 86

Figura 3-21: Peso molecular de 4 pectinas comerciales, un patrón y 6 hidrocoloides extraídos. 87

Figura 3-22: Espectro infrarrojo transformada de Fourier (FT-IR) de pectina bajo metoxilo (LMP), alto metoxilo (HMP), pectina de manzana (A) y pectina cítrica cimpa (C)..... 88

Figura B-4-1: Perfil cromatografico obtenido para el hidrocoloide extraído por el método 1 de cáscara sin mesocarpio de curuba (CEC). Ac: ácido acético, MeOH: Metanol..... 105

Figura B-4-2: Perfil cromatografico obtenido para el hidrocoloide extraído por el método 2 de cáscara sin mesocarpio de curuba (CEC). Ac: ácido acético, MeOH: Metanol..... 106

Figura B-4-3: Perfil cromatografico para el hidrocoloide extraído por el método 3 de cáscara sin mesocarpio de curuba (CEC). Ac: ácido acético, MeOH: Metanol 106

Figura B-4-4: Perfil cromatografico obtenido para el hidrocoloide extraído por el método 1 de Cáscara sin mesocarpio de maracuyá (CSBM). Ac: ácido acético, MeOH: Metanol. 107

Figura B-4-5: Perfil cromatografico obtenido para el hidrocoloide extraído por el método 2 de Cáscara sin mesocarpio de maracuyá (CSBM). Ac: ácido acético, MeOH: Metanol. 107

Figura B-4-6: Perfil cromatografico obtenido para el hidrocoloide extraído por el método 3 de cáscara sin mesocarpio de maracuyá (CSBM). Ac: ácido acético, MeOH: Metanol . 108

Lista de ilustraciones

	Pág.
Ilustración 1-1: Fruto de curuba (ICA, 2016).....	20
Ilustración 1-2: fruto de granadilla (ICA, 2016)	21
Ilustración 1-3: Fruto de Gulupa (ICA, 2016)	22
Ilustración 1-4: Fruto de Maracuyá(ICA, 2016)).....	22
Ilustración 1-5: fruto de tomate de árbol (ICA, 2016)	23
Ilustración 1-6: Fruto de lulo (ICA, 2016)	24
Ilustración 1-7: Modelo de la estructura de los polisacáridos en la pared celular vegetal. 1, celulosa: microfibrillas de celulosa; 2-6, Hemicelulosas: 2, xiloglucano; 3, glucano enlazado-mixto; 4, xilano y heteroxilanos relacionados; 5, calosa; 6, manano y heteromananos relacionados; 7 – 11, pectinas, 7, galactano; 8, arabinano; 9, homogalacturonano; ramnogalacturonano I; 11, ramnogalacturonano II; 12, puente de boro; 13, “caja – huevo” con puentes con calcio, 14 – 16, componentes no polisacáridos. 14, enzimas y proteínas estructurales; 15, complejo celulosa sintasa; 16, vesículas de transporte (Franková & Fry, 2013).....	29
Ilustración 1-8: Homogalacturano constituido de ácido D-Galacturónico enlazado α -1,4	30
Ilustración 1-9: Estructura de la pectina mostrando la región lisa (homogalacturanos) y la región densa (zona ramificada rica en ramnosa)	31
Ilustración 1-10: Representación esquemática de estructura de la pectina. La pectina consiste de cuatro diferentes tipos de polisacáridos y se muestran sus estructuras. DHA, ácido 3-deoxi-D-lixo-heptulosarico; Kdo, ácido 2-ceto-3-deoxi-D-mano-octulosonico (Harholt, Suttangkakul, & Vibe Scheller, 2010).....	31
Ilustración 1-11: Representación de los diferentes sustituyentes potenciales presentes en las pectinas comerciales (metil-ester, grupo amida y grupo acetilo, respectivamente) ...	32
Ilustración 1-12: Esquema de la estructura química de la pectina de alto metoxilo (Serguschenko et al., 2007).....	33
Ilustración 1-13: Esquema de la estructura química de la pectina de bajo metoxilo (Serguschenko et al., 2007).....	33
Ilustración 1-14: Mecanismo de gelificación de la pectina LM en presencia de calcio, modelo “egg box”(Guillotin, 2005).....	34

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1-1: Cantidad de carbohidratos y fibra dietaria en frutos de interés ("Tabla de composición de alimentos colombianos (TCAC)," 2015)	24
Tabla 1-2: Disposición actual de los residuos en las empresas agroindustriales de Medellín y el sur del Valle de Aburrá, Colombia y tipos de residuos que manejan.....	25
Tabla 1-3: Clasificación de los hidrocoloides (Rodríguez & Sandoval, 2003)	27
Tabla 1-4: Clasificación de las pectinas de alto metoxilo (Ardila, 2007)	33
Tabla 2-1: Especificaciones del modelo lineal general	44
Tabla 3-1. Contenido de fibra bruta, FD, FI y FS en frutas de la familia <i>Passifloraceae</i> y <i>Solanaceae</i>	53
Tabla 3-2. Porcentaje de contribución a la dieta de acuerdo a las recomendaciones de la ingesta recomendada para adultos, basados en las porciones para cada residuo de fruta.	54
Tabla 3-3: Rendimiento de extracción del método 1 de 20 residuos de frutas de la familia <i>Passifloraceae</i> y <i>Solanaceae</i>	55
Tabla 3-4: Rendimiento de extracción del método 2 de 20 residuos de frutas de la familia <i>Passifloraceae</i> y <i>Solanaceae</i>	56
Tabla 3-5: Rendimiento de extracción del método 3 de 20 residuos de frutas de la familia <i>Passifloraceae</i> y <i>Solanaceae</i>	57
Tabla 3-6: Condiciones y rendimientos de extracción de pectina de <i>Passifloraceae</i> y <i>Solanaceae</i>	59
Tabla 3-7: contenido de humedad y cenizas de los hidrocoloides extraídos	63
Tabla 3-8. Contenido de pectato de calcio en los hidrocoloides extraídos	65
Tabla 3-9. Contenido de ácidos galacturónicos de los hidrocoloides extraídos	67
Tabla 3-10: Capacidad de hinchamiento de los hidrocoloides extraídos por los tres métodos estudiados	72
Tabla 3-11: Capacidad de retención de agua de los hidrocoloides extraídos por los tres métodos estudiados.....	74
Tabla 3-12: Capacidad de adsorción de aceite de los hidrocoloides extraídos por los tres métodos estudiados.....	75
Tabla 3-13: Grados de metilación y acetilación para hidrocoloides extraídos por los tres diferentes métodos.	77
Tabla 3-14: Peso molecular para hidrocoloides extraídos por los tres diferentes métodos.	79

Tabla 3-15. Frecuencias e intensidades de grupos funcionales presentes en los hidrocoloides analizados por FT-IR (Gnanasambandam & Proctor, 2000)	80
Tabla E-4-1: Curvas de Calibración.....	115

Lista de abreviaturas

Abreviaturas

Abreviatura	Término
<i>RJTA</i>	Residuos de jugo tomate de árbol
<i>CTA</i>	Cáscara tomate de árbol
<i>RJG</i>	Residuos de jugo de gulupa
<i>CG</i>	Cáscara de gulupa
<i>RJL</i>	Residuos de jugo de lulo
<i>CTL</i>	Corteza total lulo
<i>EBL</i>	Mesocarpio blanco de lulo
<i>CEL</i>	Cáscara sin mesocarpio de lulo
<i>RJC</i>	Residuos de jugo curuba
<i>EBC</i>	Mesocarpio blanco curuba
<i>CTC</i>	Cáscara total de curuba
<i>CEC</i>	Cáscara sin mesocarpio de curuba
<i>RJGR</i>	Residuos de jugo de granadilla
<i>CSG</i>	Cáscara sin mesocarpio de granadilla
<i>CAG</i>	Cáscara total de granadilla
<i>ABG</i>	Mesocarpio blanco de granadilla
<i>RJM</i>	Residuos de jugo maracuyá
<i>ABM</i>	Mesocarpio blanco de maracuyá
<i>CTM</i>	Cáscara total de maracuyá
<i>CSBM</i>	Cáscara sin mesocarpio de maracuyá
<i>BS</i>	Base seca
<i>BH</i>	Base húmeda

Abreviatura Término

<i>FDT</i>	Fibra dietaria total
<i>FDI</i>	Fibra dietaria insoluble
<i>FDS</i>	Fibra dietaria soluble
<i>Método 1</i>	Método con ácido clorhídrico, clásico
<i>Método 2</i>	Método con ácido oxálico, químico
<i>Método 3</i>	Método enzimático
<i>CH</i>	Capacidad de hinchamiento
<i>CRW</i>	Capacidad de retención de agua
<i>CAO</i>	Capacidad de adsorción de aceite
<i>C</i>	Pectina cítrica, cimpa
<i>A</i>	Pectina de manzana, Sigma Aldrich
<i>HMP</i>	pectina alto metoxilo, Kelco
<i>LMP</i>	pectina de bajo metoxilo, Tic Gums
<i>PGA</i>	ácido poligalacturónico, Sigma Aldrich

Introducción

En Colombia, existe una amplia variedad de frutas, en cuanto a las pasifloras y solanáceas, se producen al año en el departamento del huila 47.891 ton de granadilla, 7.467 ton de gulupa, 92.930 ton de maracuyá y 14.268 ton de curuba ("Frutas & Hortalizas," 2012), en todo el país 161.748 ton de tomate de arbol(*Manual Tomate de Árbol*, 2015) y 34.635 ton de lulo ("El cultivo del lulo (*Solanum quitoense*), una fruta agradable y de gran valor nutritivo," 2014), evidenciando la importancia de estas frutas.

La población actual en busca de un estilo de vida más saludable incluye en sus dietas frutas y verduras. En el procesamiento y preparación de estas se podría estimar que un tercio de frutas y verduras se va en forma de cáscaras, semillas, produciendo residuos y disminuyendo el aprovechamiento nutricional máximo de la fruta o verdura.

Las frutas son de interés nutricional ya que ayudan a combatir diferentes enfermedades, entre estas, enfermedades coronarias. Nutricionalmente son ricas en carbohidratos, dentro de los que se encuentra la fibra dietaria, pobres en grasas y proteínas, poseen vitaminas tales como β -caroteno y vitamina C, no aportan minerales en grado importante y poseen una apreciable cantidad de fibra dietaria, principalmente pectina (Verdú, 2013).

La pectina es empleada como agente gelificante, en la fabricación de compotas y mermeladas, en la estabilización de emulsiones y suspensiones, y en soluciones para recubrir salchichas y carnes enlatadas (Cubides, 2007). En Colombia la totalidad de pectina consumida es importada, según informes del 2004 al 2006 las cantidades de importación ascienden en promedio a 223 toneladas anuales, ya que no existe ninguna empresa productora de esta sustancia, hecho que conlleva altos precios de venta de dicho producto(Ordóñez, 2011).

Buscando explotar fuentes naturales y su potencial para ser capitalizado como ingrediente saludable, no de los principales nutrientes empleados en las dietas actuales es la fibra dietaria (O'Shea, Arendt, & Gallagher, 2012). Con el tiempo, la fibra dietaria ha recibido alta atención en cuanto a su uso como "pharmafood" (producto alimenticio con un aditivo farmacológico destinado a mejorar la salud), debido a su capacidad para reducir el colesterol, actuar en diabetes, enfermedad coronaria cardiaca y aliviar el estreñimiento (Umesh B. Telrandhe, 2012).

En otros tiempos, las fibras tales como el trigo, el maíz y el arroz se ha empleado en la producción de alimentos. Sin embargo, recientemente se han descubierto y utilizado nuevas fuentes de fibra, como la fracción de subproductos de diferentes tipos de procesamiento de alimentos. En particular los subproductos obtenidos del procesamiento de frutas y verduras (por ejemplo. Jugos, zumos, bebidas, entre otros) están ganando gran atención como nuevas y económicas fuentes de un ingrediente funcional sano (Ayala-Zavala et al., 2011).

Esta tesis tuvo como objetivo extraer y caracterizar hidrocoloides a partir de residuos de la industria frutícola, dichos residuos provenientes de Curuba, Maracuyá, Lulo, Tomate de árbol, Gulupa y Granadilla. Se realizó un análisis proximal de los residuos frutales estudiados con el fin de caracterizar la materia de partida y principalmente establecer los contenidos de fibra dietaria. Luego la extracción de hidrocoloides mediante tres métodos, uno de condiciones agresivas (método HCl), otro media (método ácido oxálico / oxalato de amonio) y el otro enzimático (Viscozyme L), para establecer diferencias entre ellos en cuanto al rendimiento, los parámetros, a la estructura y las propiedades químicas. Después se realiza una caracterización de los hidrocoloides obtenidos, analizando las diferencias en las propiedades medidas (pectato de calcio, ácidos galacturónicos, capacidad de hinchamiento, capacidad de retención de agua, capacidad de adsorción de aceite), ocasionadas producto de los métodos de extracción evaluados. Finalmente se realizó un análisis estadístico que permitió seleccionar dos hidrocoloides y determinar el grado de metoxilación, acetilación, peso molecular y espectro IR-FT, para establecer más características de la estructura de los hidrocoloides obtenidos.

1.Estado actual del tema

1.1 Frutas

1.1.1 Generalidades de los frutos

Curuba (*Passiflora tripartita var. mollissima*)

La curuba larga (Ilustración 1-1) es originaria de la zona andina del continente americano (Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia). En Colombia se destaca por su área sembrada el departamento de Boyacá, con 1.122 ha, con el 48% de la producción nacional, seguido en orden decreciente por los departamentos de Cundinamarca, Norte de Santander, Cauca, Santander, Antioquia, Huila, Córdoba, Arauca y Valle del Cauca. En Colombia esta fruta es de producción anual y es exportada en bajas cantidades a Europa (Chaparro D., Franco M., Urango L., 2014)

Ilustración 1-1: Fruto de curuba (ICA, 2016)



Granadilla (*Passiflora ligularis* Juss)

La granadilla (Ilustración 1-2) es originaria de América Tropical, que se cultiva desde el norte de Argentina hasta México. Por su exquisito sabor dulce y aromático, la granadilla es una fruta de gran aceptación para el consumo fresco; el jugo dulce y agradable se consume con las semillas. Colombia es uno de los más importantes productores de fruta a nivel mundial junto con Venezuela, Sudáfrica, Kenia y Australia. Entre 2004 y 2007, la superficie de granadilla corresponde al 1,36% del área Nacional dedicada a las frutas. Las áreas más representativas de cultivo están en los departamentos de Cundinamarca, Caldas, Huila, Quindío, Valle y Santander (Carranza et Al, 2009).

Ilustración 1-2: fruto de granadilla (ICA, 2016)



Gulupa (*Passiflora edulis f. edulis*)

Esta fruta (Ilustración 1-3) es una planta nativa del Brasil y se ha distribuido ampliamente en los países andinos. El fruto es muy apetecido para el consumo en fresco debido a su sabor y aroma, también se emplea procesado y para fines medicinales. Su producción se concentra principalmente en los departamentos del Huila, Valle del Cauca, Magdalena, Cundinamarca y Santander. Actualmente no se posee un dato exacto del área sembrada a nivel nacional, pero datos no oficiales la aproximan a 700 ha y se espera para los próximos tres años un incremento entre el 30 al 40% del área sembrada.

Ilustración 1-3: Fruto de Gulupa (ICA, 2016)**Maracuyá (*Passiflora edulis f. flavicarpa*)**

La fruta (Ilustración 1-4) es originaria de la región amazónica del Brasil, de donde fue difundida a Australia, pasando en 1923 a Hawai. En la actualidad se cultiva en Australia, Nueva Guinea, Sri Lanka, Sudáfrica, India, Taiwán, Hawai, Brasil, Perú, Ecuador, Venezuela y Colombia. Los principales exportadores de maracuyá son Brasil, Kenia, Tailandia, Sudáfrica, Ecuador, Colombia y Perú. El maracuyá es uno de los frutos más apetecidos a nivel mundial debido a su sabor particular intenso y su alta acidez, siendo uno de los cultivos más importantes para Colombia debido a que nuestro país es un destacado productor de esta fruta. Se exporta como fruta fresca y procesada. Es el tercer jugo exótico en importancia, después de los jugos de mango y de piña. En Colombia se concentra en los departamentos de Huila, Valle del Cauca, Meta, Córdoba, Cesar, Santander y Magdalena con una productividad promedio entre 19 y 20 t ha⁻¹ (Carranza et Al, 2009).

Ilustración 1-4: Fruto de Maracuyá(ICA, 2016))

Tomate de árbol (*solanum betaceum*)

La fruta (Ilustración 1-5) es originaria de América del sur. Se cree que su centro de origen está ubicado en los bosques de la reserva de Tucumano entre Bolivia y el norte de Argentina, ya que en dicha zona se ha encontrado una alta diversidad genética. El área total sembrada con tomate de árbol en 2013 en Colombia corresponde a 8.399 hectáreas, de las cuales el 29,2% se encuentran en el departamento de Antioquia, 26,2% en Cundinamarca, 8,5 en Tolima, 7,7 en Huila y 6,2 en Boyacá. Para el año 2013 en Colombia se produjeron de 161.748 ton, siendo Antioquia el principal departamento productor con 82.390,8 ton, seguido por Cundinamarca con 42.120,2 ton, Tolima con 10.905 ton, Boyacá con 6.543,2 ton y Huila con 4.307 ton (*Manual Tomate de Árbol*, 2015).

Ilustración 1-5: fruto de tomate de árbol (ICA, 2016)



Lulo (*Solanum quitoense*)

Es un arbusto originario de la cordillera de los Andes, ampliamente cultivado desde Chile a México, siendo los principales productores Perú, Ecuador, Colombia, Panamá, Costa Rica y Honduras. Esta especie produce una fruta con alta demanda en los mercados nacionales e internacionales dadas sus características y propiedades nutricionales.

El área total establecida en cultivos de lulo, reportada por DANE-ENA en el 2013, fue de 8.372 hectáreas, y de estas 3.889 hectáreas en etapa productiva con una producción de 34.635 toneladas de fruta. El mayor productor fue el departamento del Huila con 18.357 toneladas, seguido por los departamentos de Boyacá, Magdalena y Santander (DANE, 2014).

Ilustración 1-6: Fruto de lulo (ICA, 2016)

1.1.2 Composición nutricional

Es de interés en cuanto a la composición nutricional se refiere, la cantidad de carbohidratos totales presentes en el fruto y de más significancia la cantidad de fibra dietaria, puesto que esta daría un estimado de la cantidad de pectina que posee el fruto, pero solo se conoce la cantidad de fibra dietaria total, para la granadilla, mientras que para el resto de frutos es conocido la cantidad de carbohidratos totales, valor dentro del cual se encuentra la fibra dietaria total.

Tabla 1-1: Cantidad de carbohidratos y fibra dietaria en frutos de interés ("Tabla de composición de alimentos colombianos (TCAC)," 2015)

Pulpa fruta	Carbohidratos Totales	Fibra dietaria total
<i>Lulo</i>	8,20g/100g comestible	---
<i>Curuba</i>	7,80g/100g comestible	---
<i>Gulupa</i>	17,0g/100g comestible	---
<i>Granadilla</i>	10,70g/100g comestible	5,9 g/100g comestible
<i>Tomate de árbol , Rojo</i>	7,8g/100g comestible	---
<i>Maracuyá</i>	12,0 g/100g comestible	---

1.2 Residuos agroindustriales

Los residuos industriales siguen convirtiéndose en un gran problema no sólo ambiental sino económico, ya que las mismas empresas tienen que asumir altos costos de disposición de éstos. Tal es el caso de la gran cantidad de residuos de frutas que se

producen en la ciudad de Medellín y sus alrededores, debido al número extenso de empresas de este sector agroindustrial (Yepes, Naranjo & Sánchez, 2008).

La industria de alimentos produce grandes cantidades de residuos que pueden ser aprovechados de diversas formas. Entre estos residuos se encuentran los provenientes de las frutas, los cuales pueden ser utilizados en alimentación animal y humana, abono, obtención de biogás, en la extracción de aceites esenciales, pectinas, flavonoides, entre otros. Para la elección adecuada de alguna de estas tecnologías se deben realizar evaluaciones tecnológicas, comerciales y de riesgos. En los últimos años en Medellín y municipios al sur del Valle de Aburrá (Caldas, Itagüí, Envigado, La Estrella y Sabaneta) los residuos agroindustriales se arrojan en las basuras o en algunos casos, se utilizan como abono y concentrados para animales (Yepes, Naranjo & Sánchez, 2008).

La disposición actual que se le da a los diferentes residuos de empresas en Medellín (Tabla 1-2) no es muy amplia, puesto que la mayoría se va a relleno sanitario (Yepes, Naranjo & Sánchez, 2008).

Tabla 1-2: Disposición actual de los residuos en las empresas agroindustriales de Medellín y el sur del Valle de Aburrá, Colombia y tipos de residuos que manejan (Yepes, Naranjo & Sánchez, 2008).

Disposición actual	Tipo de residuo (Empresa)
Alimentos para cerdos y lombricultura	Guayaba, limón, papaya, piña, sandía
Compostaje	Tomate de árbol, mango, papaya, sandía, durazno, pera, uchuva, melón, manzana, guayaba
	Mango, lulo, guanábana, guayaba, curuba, papaya, piña, tomate de árbol, mandarina
Concentrado para animales	Naranja, guayaba
Relleno sanitario	Tomate de árbol, mango, papaya, sandía, durazno, pera, uchuva, melón, manzana, guayaba
	Naranja, guayaba
	Mango, lulo, guanábana, guayaba, curuba, papaya, piña, tomate de árbol, mandarina
	Guayaba

Guanábana, mango, maracuyá, guayaba, <u>tomate de árbol</u> , piña
Maracuyá, naranja, mandarina, mango, <u>lulo</u> , guanábana, <u>curuba</u> , <u>tomate de árbol</u>
Varios
Guanábana, mango, <u>lulo</u> , maracuyá, <u>tomate de árbol</u> , piña, uva, <u>curuba</u>

1.3 Fibra dietaria

La fibra dietaria está constituida por la lignina y por los carbohidratos no digeribles de las plantas presentes en los alimentos los cuales están compuestos, generalmente, por una mezcla de polisacáridos que forman parte integral de la pared celular de las plantas o de su estructura intercelular, lo que indica que la matriz tridimensional de las plantas es responsable de algunas de las propiedades fisicoquímicas que se atribuyen a este tipo de fibra. Estos componentes de los tejidos vegetales son considerados fibra dietaria si las células de la planta y sus 30 interrelaciones tridimensionales permanecen intactas. La fibra funcional involucra a todos los carbohidratos no digeribles que son aislados o extraídos empleando métodos químicos, enzimáticos o extractos acuosos. Dentro de este tipo de fibra se incluyen los oligosacaridos y los polisacaridos obtenidos sintéticamente o aislados de fuentes naturales con o sin modificación (Trumbo, Schlicker, Yates, & Poos, 2002).

Existen numerosas definiciones en relación con el término de fibra, donde la causa principal de estas diferencias es el método analítico empleado para la determinación de sus componentes. Una de estas definiciones resulta de “Dietary reference intake (DRI)”, donde se definen tres clases de fibra. Fibra dietaria constituida por carbohidratos no digeribles y lignina funcional que son intrínsecos e intactos en plantas. Fibra funcional, compuestos aislados, carbohidratos no digeribles que tienen efectos benéficos, demostrados, en humanos. Finalmente, la fibra total es la suma de la fibra dietaria y la fibra funcional (Jenkins, Marchie, Augustin, Ros, & Kendall, 2004).

El término fibra dietaria en los Estados Unidos es definido con base en diferentes métodos analíticos aceptados por la Asociación Oficial Internacional de Químicos Analíticos (AOAC) en los cuales se aíslan carbohidratos no digeribles de animales y plantas, mientras que en países como Canadá la definición de fibra involucra solo carbohidratos no digeribles de

origen vegetal. El Instituto de medicina (IOM) en el año 2001 estableció que el término fibra total comprende la suma de fibra dietaria y fibra funcional (Ruiz, 2010).

Previos estudios evidencian que la fibra proveniente de frutas tiene un efecto positivo en el tratamiento de enfermedades tales como, hiperlipidemia, enfermedades coronarias del corazón y algunos tipos de cáncer (Kumar, Sinha, Makkar, de Boeck, & Becker, 2012). La mejor fuente de fibra dietaria no celulósica en las frutas es la pectina (F. G. J. Voragen, Timmers, Linssen, Schols, & Pilnik, 1983); un reciente estudio muestra que las pectinas reducen la cantidad de lípidos digeridos en el tracto gastrointestinal (Espinal-Ruiz, Parada-Alfonso, Restrepo-Sánchez, Narváez-Cuenca, & McClements, 2014). Incrementar el consumo de pectina puede ser una estrategia de reducir el contenido calórico de productos alimenticios grasos o de modular los niveles de lípidos en sangre (Mesbahi, Jamalain, & Farahnaky, 2005).

1.4 Hidrocoloides

Son polímeros de largas cadenas y alto peso molecular, imparten viscosidad a los sistemas acuosos, aunque solo algunos son capaces de formar gel bajo ciertas condiciones de proceso. Los hidrocoloides se pueden agrupar en tres categorías principales como se muestra en la Tabla 1-3 (Penna, 2002).

Tabla 1-3: Clasificación de los hidrocoloides (Rodríguez & Sandoval, 2003)

Clasificación	Compuestos
Hidrocoloides Naturales	<i>Exudados de plantas:</i> arábica, tragacano, karaya, ghatti
	<i>Semillas de plantas:</i> Garrofin, guar
	<i>Extractos de algas marinas:</i> agar, alginatos, carragenina
	<i>Almidones</i>
	<i>Animal:</i> gelatina, albumina, caseína
	<i>Subproducto vegetal:</i> pectina, arabinogalactano
Hidrocoloides semisintéticos	<i>Derivados de la celulosa:</i> CMC, metilcelulosa, hidroxipropilcelulosa

	<i>Gomas de fermentación microbiano: xantan, gelano</i>
	<i>Almidones modificados: carboximetil almidón, hidroxipropil almidón</i>
	<i>Modificados químicamente: alginato de propilenglicol, pectina metoxilada</i>
Hidrocoloides sintéticos	<i>Polímeros vinílicos: polivinilalcohol (PVA), polivilpirolidina (PVP)</i>
	<i>Polímeros de óxido de etileno: Poliox</i>

La utilidad e importancia de los hidrocoloides se fundamentan en sus propiedades funcionales: la estabilización, el espesamiento y la gelificación. Estas propiedades son originadas principalmente por las interacciones de los polisacáridos con el agua, actuando de dos formas distintas: como espesantes por la retención de agua o como gelificantes por la construcción de una red tridimensional macroscópica de cadenas interconectadas, dentro de la cual se liga un sistema acuoso (Rodríguez & Sandoval, 2003).

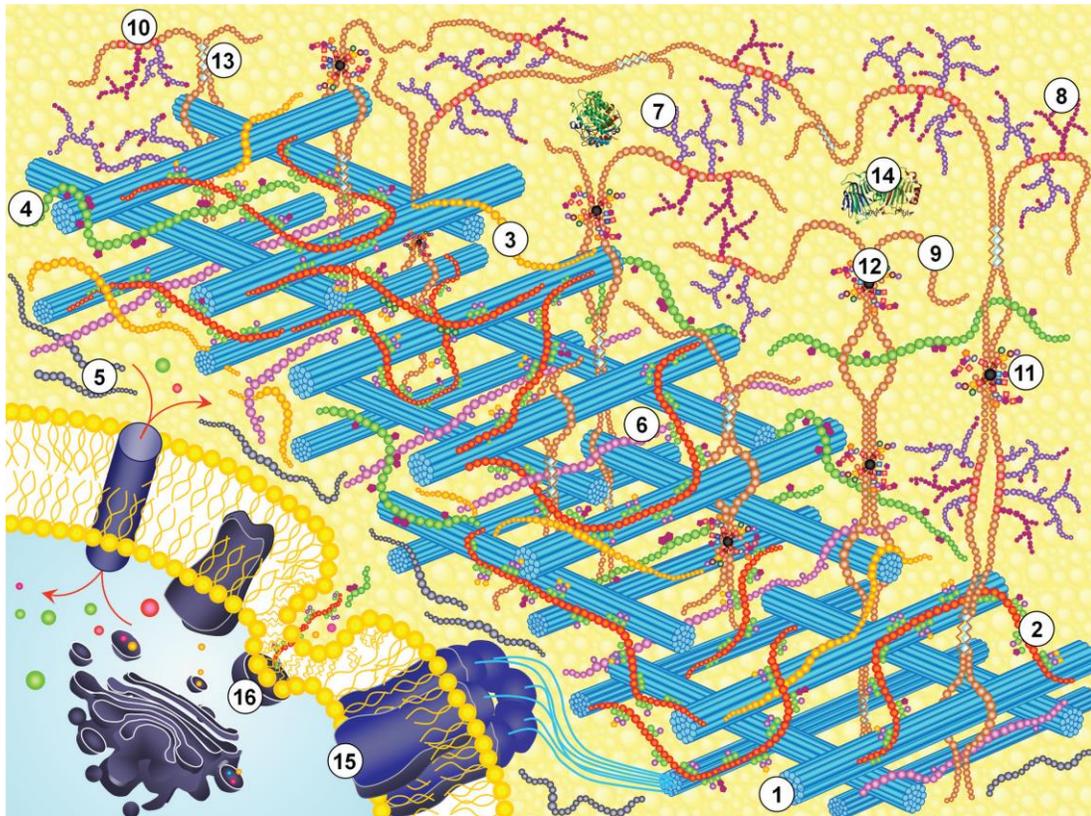
1.4.1 Pectina

1.4.2 Localización

Las sustancias pécticas son mezclas complejas de polisacáridos que constituyen una tercera parte de la pared celular de las plantas dicotiledóneas y de algunas monocotiledóneas. Menor proporción de estas sustancias se encuentran en las paredes celulares de las plantas herbáceas. Las sustancias pécticas se encuentran en la mayor parte de los tejidos vegetales, y muy especialmente en los tejidos parenquimáticos y meristemáticos. En ellos, las zonas más ricas corresponden a la pared primaria de las células y a la lámina media que las separa (Navarro García & Navarro García, 1985)

La localización de estas sustancias ha sido precisada por microscopía y micrografía electrónica. En las microfotografías obtenidas, las zonas pécticas quedaban resaltadas por una mayor densidad electrónica. Para revelar la forma y el emplazamiento exacto de los tejidos observados, utilizaron la reacción específica de los grupos metilésteres con hidroxilamina, y la formación de complejos insolubles a partir de iones férricos y las hidroxamidas producidas (Gilabert, 2001).

Ilustración 1-7: Modelo de la estructura de los polisacáridos en la pared celular vegetal. 1, celulosa: microfibrillas de celulosa; 2-6, Hemicelulosas: 2, xiloglucano; 3, glucano enlazado-mixto; 4, xilano y heteroxilanos relacionados; 5, calosa; 6, manano y heteromananos relacionados; 7 – 11, pectinas, 7, galactano; 8, arabinano; 9, homogalacturonano; ramnogalacturonano I; 11, ramnogalacturonano II; 12, puente de boro; 13, “caja – huevo” con puentes con calcio, 14 – 16, componentes no polisacáridos. 14, enzimas y proteínas estructurales; 15, complejo celulosa sintasa; 16, vesículas de transporte (Franková & Fry, 2013).



En las diferentes zonas de la pared celular, la protopectina, término utilizado para designar a las sustancias pécticas recién sintetizadas e insolubles de los tejidos vegetales, se halla asociada a los otros constituyentes de la membrana (celulosa, hemicelulosa, lignina, etc.) mediante uniones físicas y/o químicas, aún mal conocidas, actuando como cementante intercelular y dando así rigidez a los tejidos (Pilnik y Voragen, 1970).

1.4.3 Clasificación de las sustancias pécticas

Se pueden distinguir dos clases principales de sustancias pécticas: los ácidos pectínicos, que tienen una pequeña porción de sus ácidos galacturónicos como ésteres metílicos, y los ácidos pécticos, que sólo contienen moléculas de ácido galacturónico libre de esterificación. Por definición las pectinas son ácidos pectínicos con diferentes grados de esterificación y neutralización, que pueden contener de 200 a 1000 unidades de ácido galacturónico. Existen otros compuestos de este tipo, las protopectinas, altamente esterificadas con metanol y muy insolubles en agua, que se encuentran en los tejidos de los frutos y son responsables de su textura rígida; sin embargo, la acción de la enzima protopectinasa hace que se conviertan en pectinas solubles o ácido pectínico, en un proceso que ocurre durante la maduración y que trae consigo el ablandamiento del fruto. De todas estas sustancias, las pectinas son las más abundantes e importantes, están presentes especialmente en algunos tejidos suaves, como en la corteza de los cítricos, en las manzanas, las peras, entre otros. Aún dentro del propio vegetal existe una distribución de las pectinas (Ordóñez, 2011).

1.4.4 Estructura

La pectina es un complejo polisacárido compuesto de una columna vertebral de ácido D-Galacturónico enlazado α -1,4 (llamada región lisa) y segmentos que consisten de secuencias alternantes de (1,2)-L-ramnosil enlazado α -1-2 y residuos de D-galacturonosil enlazado α -1-4 ramificados con cadenas laterales de arabinanos, galactanos y arabinogalactanos (llamada región densa) como se observa en la Ilustración 1-9 (Guillotín, 2005; Pérez, Mazeau, & Hervé du Penhoat, 2000).

Ilustración 1-8: Homogalacturano constituido de ácido D-Galacturónico enlazado α -1,4

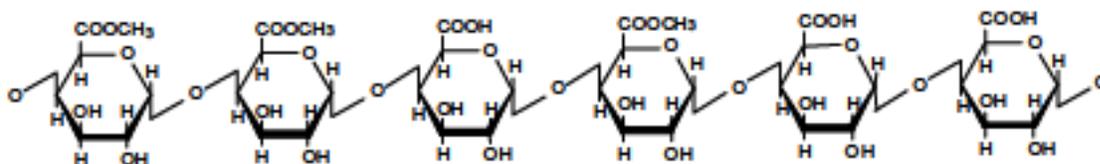
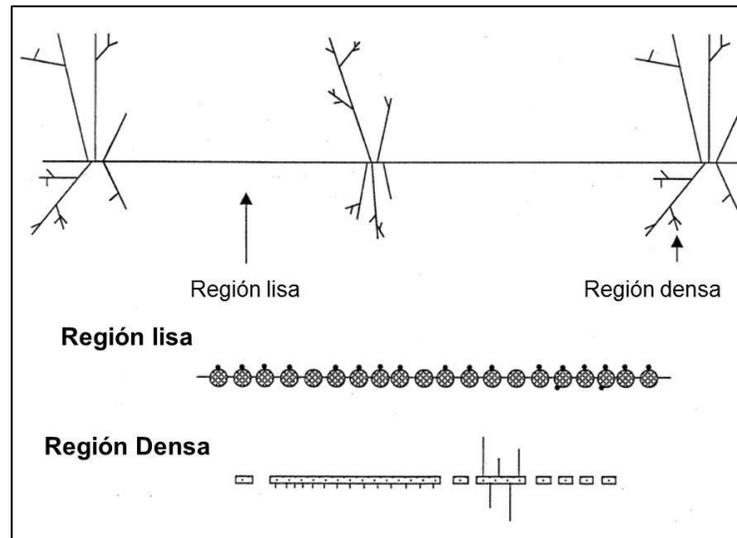
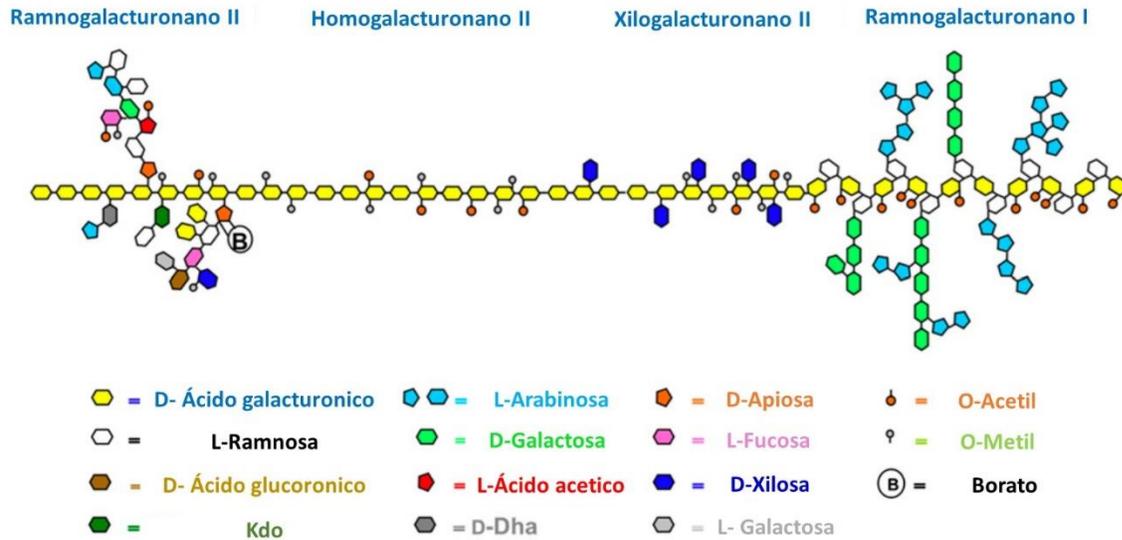


Ilustración 1-9: Estructura de la pectina mostrando la región lisa (homogalacturanos) y la región densa (zona ramificada rica en ramnosa)



Además, otros elementos estructurales de la pectina vislumbran 4 regiones llamadas (**Ilustración 1-10**): Ramnogalacturano I, Xilogalacturano, Homogalacturano y Ramnogalacturano II. El xilogalacturano, es un homogalacturano sustituido en O-3 con monómeros de β -D-xilosa; el ramnogalacturonano I está formado por una cadena lineal de residuos de ácido galacturónico (GalA) y ramnosa (Rha) enlazados siguiendo la forma $[-2)\text{-}\alpha\text{-L-Rha-(1-4)-}\alpha\text{-D-GalA-(1-)]$ y la región del ramnogalacturonano II contiene cuatro cadenas laterales diferentes con residuos de azúcares como apiosa, ácido acérico, ácido 3-desoxi-lixo-2-heptulosárico, ácido 3-desoxi-mano-2-octulosónico, 2-O-metil xilosa y 2-O metil fucosa (Harholt, Suttangkakul, & Vibe Scheller, 2010)

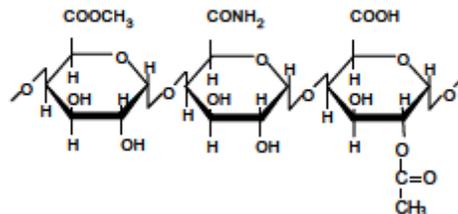
Ilustración 1-10: Representación esquemática de estructura de la pectina. La pectina consiste de cuatro diferentes tipos de polisacáridos y se muestran sus estructuras. DHA, ácido 3-deoxi-D-lixo-heptulosarico; Kdo, ácido 2-ceto-3-deoxi-D-mano-octulosonico (Harholt, Suttangkakul, & Vibe Scheller, 2010)



1.4.5 Clasificación Comercial

Las pectinas comercialmente son empleadas en productos alimenticios por sus propiedades espesantes, gelificantes y estabilizantes. Como resultado de la extracción ácida, las pectinas comerciales son esencialmente constituidas de homogalacturonanos y contiene solo pequeñas cantidades de azúcares neutras, estos homogalacturonanos varían de una pectina a otra en función de sus sustituyentes (Ilustración 1-11): los residuos de ácido galacturónico (GalA) puede estar libres de grupos carboxilo o metil-esterificado, en las posiciones 2-C y 3-C el GalA también puede estar acetilado tal como en la remolacha azucarera y las pectinas de las papas, por último también tiene presencia del grupo amida (Guillotin, 2005).

Ilustración 1-11: Representación de los diferentes sustituyentes potenciales presentes en las pectinas comerciales (metil-ester, grupo amida y grupo acetilo, respectivamente)



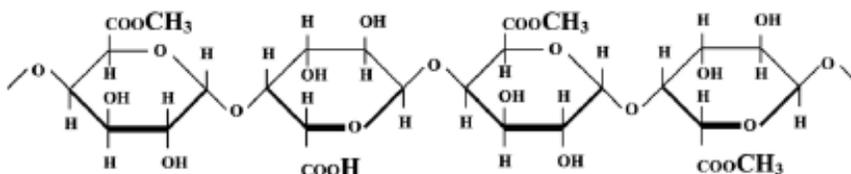
Las pectinas comerciales son clasificadas como función de su grado de metil-esterificación (DM), ya que es el parámetro principal que influye en sus propiedades físicas. El DM

corresponde a la cantidad de moles de metanol por cada 100 moles de GalA (Guillotín, 2005).

1.2.4.1 Pectina de Alto Metoxilo (HMP)

Son pectinas que poseen grupos carboxilos esterificados en más del 50% (Serguschenko et al., 2007) como se observa en la Ilustración 1-12.

Ilustración 1-12: Esquema de la estructura química de la pectina de alto metoxilo (Serguschenko et al., 2007)



Además, pueden ser subdivididas por su tiempo de endurecimiento durante la gelificación:

Tabla 1-4: Clasificación de las pectinas de alto metoxilo (Ardila, 2007)

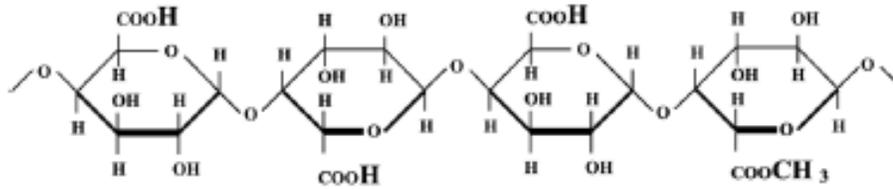
Gelificación de la pectina	Porcentaje esterificación	Tiempo de Gelificación
Lenta	60 - 67	Después de 5min
Mediana	68 - 70	
Rápida	71 - 76	Menor a 5min

Estas pectinas de alto metoxilo se caracterizan por un diferente comportamiento respecto a la gelificación, entendiéndose por gelificación el inicio de la formación del gel que aparece cuando una vez completada la cocción, la masa se enfría y alcanza la temperatura crítica de gelificación, esta temperatura es característica de cada pectina.

1.2.4.2 Pectina de Bajo Metoxilo (LMP)

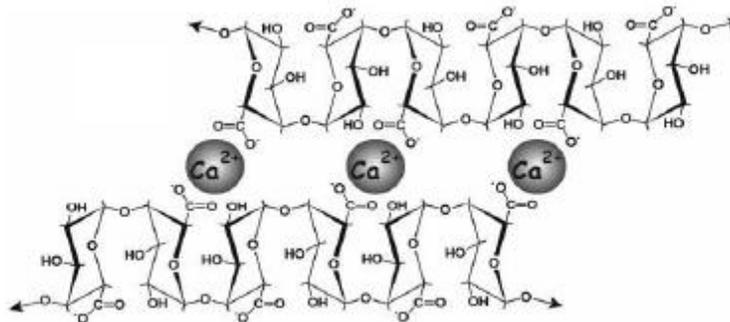
Son pectinas que poseen menos del 50% de los grupos hidroxilo esterificados con metanol (Ilustración 1-13) y no necesitan ni azúcar ni ácido para la gelificación, aunque si una cantidad controlada de calcio u otras sales divalentes (Cubero, Monferrer, & Villalta, 2002).

Ilustración 1-13: Esquema de la estructura química de la pectina de bajo metoxilo (Serguschenko et al., 2007).



La formación del gel ocurre por la formación de enlaces de dichos cationes con moléculas de pectina adyacentes formando una red tridimensional con los grupos carboxilo de la pectina (Ardila, 2007); el mecanismo es conocido como “egg box” primero sugerido para alginatos. Secciones de dos cadenas pécticas, la cuales deben estar libres de grupos ester, se mantienen juntos por un numero de iones calcio (Ilustración 1-14). Se ha reportado que los bloques de residuos de 7 – 20 GalA libres son necesarios para la asociación con calcio (Guillotin, 2005).

Ilustración 1-14: Mecanismo de gelificación de la pectina LM en presencia de calcio, modelo “egg box”(Guillotin, 2005).



Además, las pectinas LM gelifican en un amplio margen de solidos solubles (10% - 80%) y pH entre 2,5 – 6,5 dando lugar a geles reversibles térmicamente y más o menos cohesionados según el contenido en calcio del producto y el valor de pH. Para mejorar la solubilidad en frio de las pectinas LM se recomienda neutralizarlas parcialmente, si no es el caso, se recomienda hidratarlas en caliente y por ultimo no presentan buena resistencia mecánica (Ardila, 2007).

1.4.6 Calidad de la pectina

Según la FAO se establece ciertas características y parámetros que debe tener el hidrocoloide, pectina, tales como (FAO; *Food Chemicals Codex*, 1981):

Descripción: polvo blanco, amarillento, grisáceo claro o pardo claro

Pureza:

- *Perdida por secado*: no más de 12% (105°C, 2h).
- *Cenizas (total)*: no más de 10%
- *Cenizas insolubles-ácido*: no más del 1%.
- *Residual de solventes*: no más del 1% de metanol, etanol y 2- propanol, solo o en combinación
- *Contenido de nitrógeno*: No más del 2,5% después de lavar con ácido y etanol.
- *Ácido galacturónico*: no menos que 65% calculado en base seca y libre de cenizas.
- *Grado de amidación*: no más que 25% del total de grupos carboxílicos de la pectina

1.4.7 Usos de la Pectina

1.4.7.1 En la Industria de los Alimentos

Como menciona (Abzueta, 2012), las pectinas proporcionan, la elasticidad, estructura y realce natural del sabor inherente de la fruta y permite un corte liso, brillante. Las pectinas tienen un gran potencial de aplicación en el campo de confitería, jaleas de fruta, gomas de fruta, rollos de fruta delicados, crema artificial de postre, rellenos para bombones.

Los preparados de fruta de productos lácteos ácidos requieren pectina, ya que ésta proporciona las propiedades reológicas requeridas y garantiza una regular distribución de fruta en el contenedor debido a su punto de producción, una mezcla homogénea con el producto lácteo fermentado y una buena duración del producto final. En el yogurt de fruta, las pectinas proporcionarán los preparados de fruta con una estructura lisa y cremosa y a la fruta el sabor específico, además ayudan en una distribución regular de las partículas de fruta. En estos productos tienen un efecto que estabiliza y guarda la preparación de fruta separada del yogurt. Las Pectinas en bebidas de yogurt protegen la proteína en una gama de pH baja, contra el calor (desnaturalización) durante el proceso de pasterización, previniendo así la sedimentación y floculación. Esto garantiza un producto estable.

1.4.7.2 Industria de las Bebidas y Aderezos (salsas).

Señala (Abzueta, 2012), que las pectinas son componentes sumamente convenientes en refrescos debido a su naturaleza de hidrato de carbono de pocas calorías y la estabilización de turbiedad y la viscosidad. Las salsas ketchup de tomate de alta calidad tendrán que

presentar características reológicas muy específicas y estrictas. La adición de una pectina compensará los defectos de la pectina natal a la vista al punto de producción definido y el comportamiento estructural viscoso.

1.4.7.3 Aplicaciones en La Industria Farmacéutica y de Cosméticos.

Resalta (Abzueta, 2012), que la base de las aplicaciones farmacéuticas de la pectina son sus propiedades hidrocoloidales y terapéuticas. Además, frecuentemente produce un efecto de sinergia y aumenta la acción de otros principios activos componentes de la especialidad. Debido a la exploración y la utilización de las propiedades naturales de las pectinas, sus aplicaciones tienden a hacerse cada vez más variadas y sofisticadas, esto es mostrado en los campos de productos farmacéuticos y cosméticos. El efecto astringente y los efectos curativos de las pectinas son empleados en ungüentos. Además, las pectinas ayudan evitar la elevación de los niveles de glucosa en la sangre y provocan la disminución del colesterol. Las medicinas son encapsuladas con una película de pectina para proteger la mucosa gástrica y permitir a la liberación sostenida de la sustancia activa en la circulación de sangre. En la industria de cosméticos, la pectina es usada como un proveedor de estructura natural para pastas. En desodorantes y pastas de dientes, la pectina cubre sustancias de sabor especiales, pero también es usada como agente espesante.

2. Materiales y Métodos

2.1 Muestras de residuos de fruta

Se estudiaron 20 residuos de frutas de la familia Passifloraceae (granadilla, gulupa, maracuyá, curuba) y Solanaceae (lulo y tomate de árbol). Las muestras son provenientes de frutas empleadas en la industria, en estado maduro a las que se les determinó según su índice de madurez (Gómez, 2014), que es el estado en que son consumidas.

2.1.1 Preparación y liofilización

Las frutas se desinfectaron, sumergiéndolas en agua por 3 minutos con hipoclorito de sodio (3%), seguido de lavarlas con abundante agua y secarlas. Se pelaron, licuaron y colaron para separar los residuos de cada fruta. Luego se molieron en mortero con nitrógeno líquido y en el molino IKA® A 11 Basic (Model: A 11 B S1; 100-115V; 50/60Hz; 160W). Finalmente fueron liofilizadas, los polvos homogenizados y cuarteadas para las tres réplicas. Se separaron los residuos de cada fruta, teniendo en cuenta las partes identificadas en Figura 2-1, de la siguiente forma: residuos de jugo tomate de árbol (RJTA), cáscara tomate de árbol (CTA), residuos de jugo de gulupa (RJG), cáscara de gulupa (CG), residuos de jugo de lulo (RJL), corteza total lulo (CTL), mesocarpio blanco de lulo (EBL), cáscara sin mesocarpio de lulo (CEL), residuos de jugo curuba (RJC), mesocarpio curuba (EBC), cáscara total de curuba (CTC), cáscara sin mesocarpio de curuba (CEC); residuos de jugo de granadilla (RJGR), cáscara sin mesocarpio de granadilla (CSG), mesocarpio blanco de granadilla (ABG), cáscara total de granadilla (CAG), residuos de jugo maracuyá (RJM), cáscara total de maracuyá (CTM), mesocarpio blanco de maracuyá (ABM), cáscara sin mesocarpio de maracuyá (CSBM).

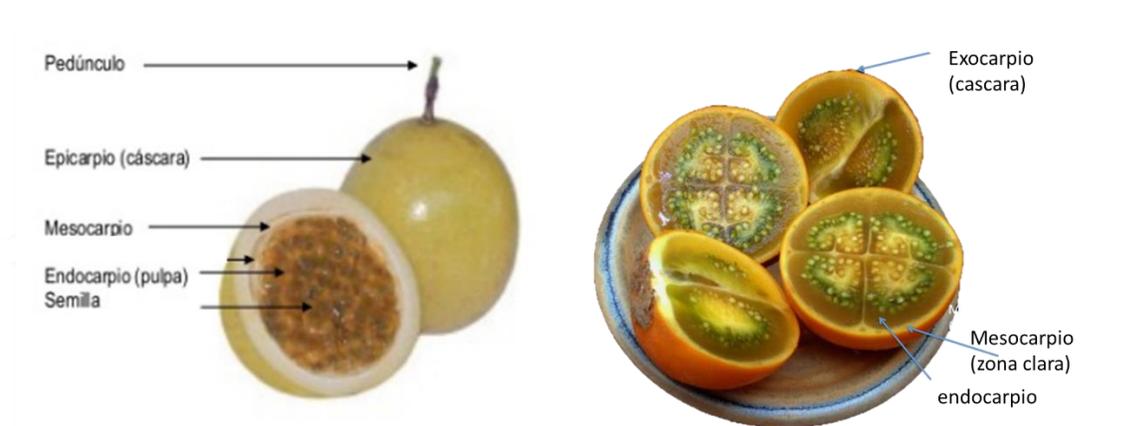
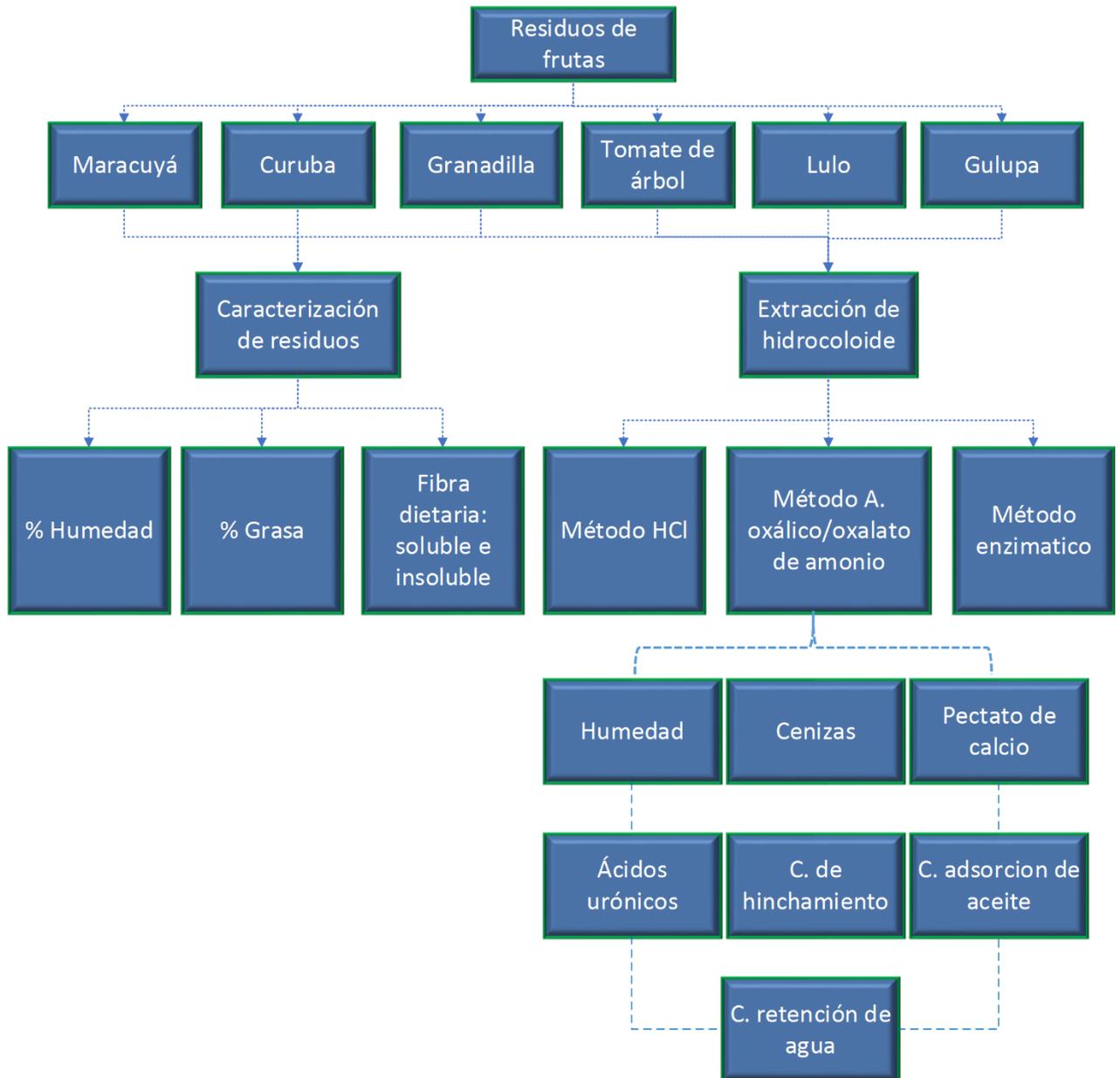


Figura 2-1: Identificación de las partes de la fruta de las *Passifloras* (izq) y *Solanáceas* (der) empleadas en la separación de residuos.

En la Figura 2-2 se ilustra de manera resumida toda la metodología general llevada a cabo en todo el presente trabajo de investigación. Todas las medidas gravimétricas fueron realizadas en la balanza analítica (OHAUS Corp. Pine Brook, Max. Cap.: 210g, Legibilidad .0001g).

Figura 2-2: Metodología general para el estudio de la obtención de hidrocoloides a partir de residuos de frutas de la industria frutícola.



2.1.2 Caracterización de residuos de frutas

A los residuos de frutas separados y previamente liofilizados se les determinó la humedad, el contenido de grasa y la cantidad de fibra dietaría soluble e insoluble. El contenido de humedad fue determinado con estufa de vacío a 70°C (AOAC 931.04). El contenido de

grasa fue medido basado en el método Goldfish con éter de petróleo como disolvente (AOAC 963.15). El contenido de fibra dietaria soluble e insoluble fue estimado por el método gravimétrico-enzimático (AOAC 985.29).

2.1.3 Aporte a la ingesta alimentaria de referencia de nutrientes

Teniendo en cuenta porciones de una cucharada de acuerdo a la resolución colombiana 033 de 2011 se calculó la contribución de aporte a la dieta de fibra. En el Intervalo Aceptable de Distribución de Macronutrientes (AMDR, por sus siglas en inglés) basados en una dieta de 200Kcal/día, tomando para fibra dietaria total una Ingesta Adecuada (AI, por sus siglas en inglés) de 28g/día.

2.1.4 Estadística para la caracterización de residuos

Las determinaciones fueron medidas en mínimo tres muestras. Los resultados se expresaron como el promedio y su desviación estándar. Los datos obtenidos se analizaron por medio de una ANOVA y se determinó la diferencia mínima significativa, con el fin de establecer si existe diferencia en el contenido de los componentes. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el programa STATGRAPHICS Centurion XV (versión 15.2.06).

2.2 Extracción de hidrocoloides

2.2.1 Método con ácido clorhídrico (clásico)

Teniendo en cuenta la metodología propuesta por (Cubides, 2007). Se pesaron 5,0g de residuos de cada fruta de la familia *Passifloraceae* y *Solanaceae*, se realizó una extracción con ácido clorhídrico a un pH 1,0, una temperatura de 90°C y una hora. La relación entre el residuo de fruta y el ácido fue de 1:3. Luego el extracto obtenido se precipitó con etanol al 96% por 12 horas para filtrarse al vacío en embudo Büchner y papel de filtro, allí se realizaron lavados con etanol al 70%. Finalmente, se realizó un secado en estufa a 45°C toda la noche, para luego determinar su peso.

2.2.2 Método con ácido oxálico (químico)

Teniendo en cuenta la metodología propuesta por (Lim, Yoo, Ko, & Lee, 2012). Se tomaron 5,0g de residuo de cada fruta que se trataron con etanol al 85%, a una temperatura de 70°C y por 20 minutos; posteriormente la suspensión se filtró al vacío en embudo Büchner y crisoles de vidrio. El residuo se agitó con la solución ácido oxálico/oxalato de amonio (0,25%, pH 4,6) a una temperatura de 85°C por una hora para luego filtrar al vacío el extracto obtenido. Al residuo obtenido se le realizaron lavados con etanol al 96% y se centrifugó (14500Xg) por 10min. El hidocoloide se lavó con etanol al 70% y luego etanol al 90%, se secó en una estufa a 50°C, para luego determinar su peso.

2.2.3 Método enzimático

Teniendo en cuenta la metodología propuesta por (Lim, Yoo, Ko, & Lee, 2012), fue preparada una suspensión del residuo de cada fruta en agua (5%p/v). La suspensión fue agitada y filtrada al vacío en embudo Büchner y crisoles de vidrio. La mezcla fue suspendida nuevamente con agua (5%p/v), la suspensión se trató en autoclave a 121°C durante 5 minutos. Luego a la suspensión se le realizó un tratamiento enzimático con Viscozyme L con $1,2 \times 10^{-4}$ unidades de β -glucanasa fúngica (activa a pH 4 - 9), por una hora a una temperatura de 40°C. Posteriormente, para inactivar las enzimas se hirvió el extracto por 5 minutos. El extracto obtenido se dializa frente a agua destilada por 24 horas, cambiando el agua cada 6 horas. Finalmente, el extracto se liofilizó.

2.3 Caracterización hidrocoloides

Con el fin de conocer algunas características químicas y funcionales de los hidrocoloides extraídos para su mejor utilización en elaboración de productos alimenticios. Para cada hidocoloide extraído por los métodos evaluados (método 1, 2 y 3) proveniente de los 20 residuos de frutas de la familia Passifloraceae y Solanaceae se les realizaron unas determinaciones químicas, propiedades funcionales y parámetros (Figura 2-2)

Las determinaciones químicas fueron pectato de calcio y ácidos galacturónicos, con el fin de establecer una aproximación a la cantidad de pectina y si el hidocoloide extraído era mayoritariamente pectina, respectivamente. Además de unas propiedades funcionales

(capacidad de hinchamiento, capacidad de adsorción de agua, capacidad de retención de aceite) para maximizar o minimizar efectos fisiológicos.

Finalmente, se determinaron los parámetros de humedad y cenizas. El contenido de humedad fue determinado con estufa de vacío a 70°C (AOAC 931,04). El contenido de cenizas fue determinado basado en el método de calcinación a 600°C (AOAC 972.15).

2.3.1 Cuantificación de Pectato de calcio

El contenido de pectato de calcio se realizó por el método gravimétrico propuesto por (Kulkarni & Vijayanand, 2010)). Se preparó una solución, tomando en un eppendorf 50mg de hidrocoloide y se añadió 500µL de agua. La solución se agitó por 12 horas a 20°C, seguido de una agitación de 5 minutos en vortex y en sonicador por 1 hora. Posteriormente la solución se puso a hervir por una hora. Se añadió 25µL NaOH (1,0M) y se agitó en vortex 5 minutos, después se dejó reposar por 24 horas. Luego, a la mezcla se le agregó 125µL de una solución de ácido acético (1,0M) y se agitó en vortex 5 min; después se agregaron 50 µL de CaCl₂ (1,0M). Los eppendorf son puestos en agua en ebullición por 5 min. Posteriormente se centrifugó a 14000rpm y al residuo se le hicieron 4 lavados con agua caliente. Se llevó a estufa a 70°C por 12 horas, se colocó en el desecador y se pesó. Se expresa como:

$$\%pectato\ calcio = \frac{peso\ pectato\ calcio}{peso\ muestra} \times 100$$

2.3.2 Contenido total de ácido galacturónico

El contenido de ácido galacturónico total se realiza a través del método espectrofotométrico UV-VIS (Blumenkrantz & Asboe-Hansen, 1973). Una solución acuosa de 20 mg/mL de cada hidrocoloide fue preparada. Fue mezclada una alícuota de 200 mL de solución de hidrocoloide con 1200 mL de una solución 0.0125M tetraborato de sodio en ácido sulfúrico 98% (p/p). La mezcla fue agitada en vortex y incubada por 5min a 100°C, después enfriada en un baño de agua- hielo.

Luego, la solución fue mezclada con 20 mL del reactivo m-hydroxydiphenyl. Este reactivo fue preparado por mezcla de m-hydroxydiphenyl (0.15 % p/v) En NaOH (0.5 % p/v). Después de 5min es medida la absorbancia de la mezcla coloreada rosa a 520nm en un Thermo Scientific™ GENESYS 10S UV-Vis (City, Country), los valores de absorbancia

fueron medidos con blancos para cada muestra a 540 nm. La absorbancia del blanco fue restada de la absorbancia total.

Estándares de ácido galacturónico con un rango de concentración 25 a 200 µg/mL fueron usados para la curva de calibración (7 puntos, $r^2 = 0.994$). El contenido total de ácido galacturónico fue expresado como µmol ácido galacturónico /mg de hidrocoloide.

2.3.3 Capacidad de hinchamiento (CH)

Se determinó gravimétricamente en base al método reportado por (Bertin C, Rouau X. & Thibault, 1988). Se pesaron 0.5 g de cada muestra en una probeta graduada de 25 ml y se midió el volumen ocupado por las fibras (V_0) (mL); se adicionaron 2,5 ml de agua destilada y se agitó manualmente durante 5 min. Se dejó en reposo durante 24 horas a temperatura ambiente. Posteriormente se midió el volumen final de las muestras (V_1) (mL). La capacidad de hinchamiento (mL/g) se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$CH = \frac{V_1 - V_0}{\text{peso muestra}}$$

2.3.4 Capacidad de retención de agua (CRW)

Se determinó gravimétricamente en base al método reportado por (Bertin C, Rouau X. & Thibault, 1988). En un tubo falcón de 15mL, se pesaron 0,5g de cada muestra (P_0) (g), se adicionaron 10 ml de agua destilada y se agitaron manualmente durante 10 minutos; se dejó durante 24 horas a temperatura ambiente; se centrifugó a 3000 r.p.m durante 40 minutos, inmediatamente se retiró el sobrenadante y se pesó el sedimento (P_1) (g) (28). La CRW (%) se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$CRW = \frac{P_1 - P_0}{P_0}$$

2.3.5 Capacidad de adsorción de aceite (CAO):

Se determinó gravimétricamente en base al método reportado por (Bertin C, Rouau X. & Thibault, 1988). En un tubo falcón de 15mL, se pesaron 0,5g de cada muestra (P_0)(g), se adicionaron 10 ml de aceite de girasol comercial y se agitó manualmente durante 10 minutos, luego se dejó en reposo durante 24 horas a temperatura ambiente y se centrifugó a 3000 r.p.m durante 40 minutos, inmediatamente se retiró el sobrenadante y se pesó el sedimento (P_1) (g) (28). La CAO (mL/g) se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$CAO = \frac{P1 - P0}{Peso\ muestra}$$

2.4 Estadística de extracción de hidrocoloides y caracterización.

Las determinaciones fueron medidas en mínimo tres muestras. Los resultados se expresaron como el promedio y su desviación estándar. Los datos obtenidos se analizaron por medio modelo lineal generalizado teniendo en cuenta las especificaciones de la Tabla 2-1, con el fin de establecer cómo se comportaba el contenido de cada variable dependiente en los métodos de extracción evaluados, establecer si había una relación entre el fruto, parte del fruto y las variables determinadas, establecer las diferencias para cada fruta en cada variable dependiente evaluada. El análisis estadístico se realizó empleando el programa STATGRAPHICS Centurion XV (versión 15.2.06).

Tabla 2-1: Especificaciones del modelo lineal general

Variables dependientes	Rendimiento, Ácidos galacturónicos, pectato de calcio, capacidad de hinchamiento, capacidad de retención de agua, capacidad de adsorción de aceite
Factores categóricos	Fruta (A), parte de fruta (B) y método (C)
Efectos	A B(A) C C*B(A) A*C

Se mostraran los resultados del análisis estadístico en cada una de las variables analizadas, para así establecer las diferencias de cada método y los efectos en cada una de las variables determinadas.

2.5 Caracterización hidrocoloides seleccionados

Teniendo en cuenta el análisis estadístico se seleccionaran dos hidrocoloides para determinarles grado de metilación, grado de acetilación, peso molecular y espectro FT-IR, con el fin de acercarse a las características estructurales de los hidrocoloides obtenidos.

2.5.1 Determinación de grado de metoxilación y acetilación.

Los grados de metilación y acetilación fueron estimados acorde a (A. G. J. Voragen, Schols, & Pilnik, 1986). Cada 30mg de cada hidrocoloide fue suspendido en 1 mL de una mezcla isopropanol-agua (proporción 1:1, v/v) que contenía hidróxido de sodio 0.4 M y se agitó en vórtex por dos horas a temperatura ambiente. Luego, las muestras fueron centrifugadas (18.500xg, 20 min a 4 °C) y filtradas a través de una membrana de disco de nylon (0,45µm, Teknokroma, Barcelona, España). Posteriormente, 20 µL del sobrenadante fueron inyectados en el sistema HPLC.

Fue empleado un sistema de HPLC LC-20AT (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan) equipado con una columna Aminex HPX-87H (300 mm x 7.8 mm, Bio-Rad Laboratories, Inc, Hercules, CA, USA) termostatada a 40 °C y un detector de índice de refracción (RID-10A, Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan) operado a 40°C. se utilizó una solución de H₂SO₄ (4mM) con un flujo fue de 0.6 mL/min, como fase móvil.

La cuantificación de metanol y ácido acético fue desarrollada por el método de estándar externo. La curva de calibración fue obtenida empleando soluciones de un rango de 0 a 80 mM de metanol (seis puntos, r=0.995) y 0.0 a 1.4 mM de ácido acético (seis puntos, r=0,995) preparadas en isopropanol-agua (proporción 1:1, v/v) que contenía hidróxido de sodio 0.4 M. El grado de metilación y acetilación fue expresado como moles de metil y acetil esterres, respectivamente, por 100 mol de ácido galacturónico.

2.5.2 Evaluación del peso molecular promedio

El peso molecular promedio de los hidrocoloides se realizó utilizando cromatografía líquida de alta resolución de exclusión por tamaño (HPSEC) (Houben, Jolie, Fraeye, Van-Loey, & Hendrickx, 2011); en un sistema de HPLC LC-20AT (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan) equipado con una columna OHpak SB-806M HQ (8,0 mm x 300 mm, Shoko America Inc., Torrance, CA). Se inyectaron 20 µL de cada hidrocoloide a una concentración de 0,5%

(p/v), preparado en fase móvil. Se empleó como fase móvil una solución acuosa de NaNO_3 0,05 M. El tiempo de corrida fue por 25 min a una temperatura de 20 °C y con un flujo de 1,0 mL/min. Se utilizó un detector de índice de refracción (RID-10A, Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan) operado a 40 °C. El peso molecular promedio de los hidrocoloides fue estimado utilizando como referencia estándares de pullulanos (342 a 3666000Da, Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA). Se realizó una curva de calibración (con nueve datos, $r^2 = 0,997$), graficando el logaritmo del peso molecular de los pululanos en función del tiempo de retención.

2.5.3 Espectro Infrarrojo

Se emplea un espectrómetro con espectroscopia de infrarrojo-Transformada de Fourier, Nicolet iS10 FT-IR spectrometer (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA) con una resolución de 4cm^{-1} .

Se preparó la pastilla de KBr, triturando la muestra seca del hidrocoloide con un polvo fino de KBr, empelando un mortero de ágata y se mezcló bien hasta obtener un polvo fino y homogéneo, luego se colocó en la prensa, se obtuvo una pastilla que se colocó en el espectrofotómetro.

2.5.4 Comparación con pectinas comerciales

Se caracterizaron de manera similar a los hidrocoloides obtenidos, determinando los parámetros y propiedades, previamente descritas, de 4 pectinas comerciales: pectina cítrica cimpa (C); pectina de bajo metoxilo, Tic Gums (LMP); pectina alto metoxilo, Kelco (HMP); Pectina de manzana, Sigma Aldrich (A) y un patrón de ácido poligalacturónico, Sigma Aldrich (PGA). Con el fin de comparar, saber que tanto los hidrocoloides se acercan a los comportamientos de pectinas comerciales y establecer posibles diferencias.

3.Resultados y Discusión

3.1 Residuos de frutas

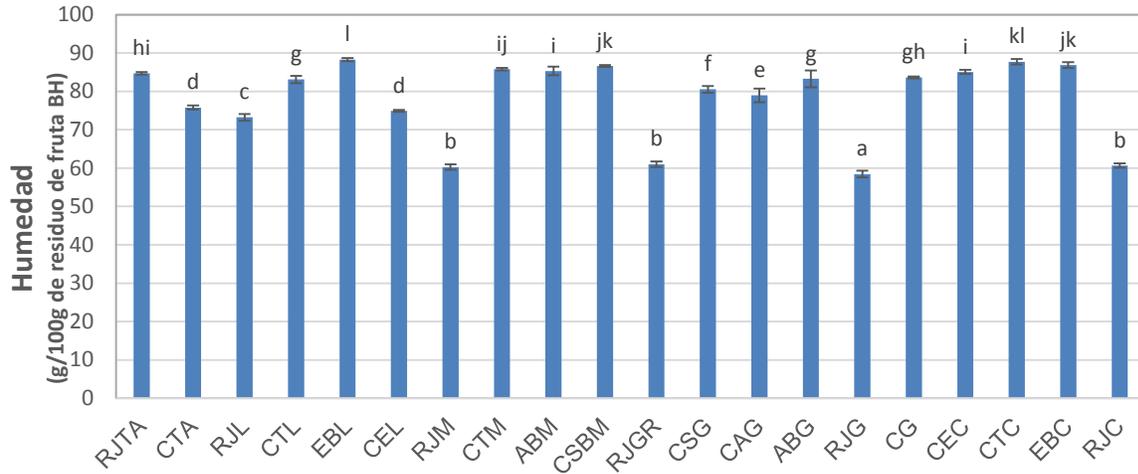
3.1.1 Caracterización de los residuos de frutas

- Humedad

En cuanto a la caracterización de residuos, en primera instancia para el contenido de humedad se observa en la Figura 3-1 que el residuo que presenta la mayor cantidad de humedad proviene del mesocarpio de lulo (EBL) y que los residuos que no presentan diferencia estadísticamente significativa son residuo de jugo de maracuyá (RJM), residuo de jugo de granadilla (RJGR) y residuo de jugo de curuba (RJC).

El valor promedio de materia seca en la cáscara de granadilla de 21,0257g/100g BS es mayor comparada con la reportada por (Carvajal-de Pabón et al., 2014) en cáscara de granadilla del Huila con un valor de 2,29g/100g. mientras que para el mesocarpio de granadilla (ABG) fue de 83,26 g/100g BH, este es un valor cercano a lo reportado (Nancy Chasquibol Silva, 2008) de 87,74 g/100g BH.

Figura 3-1: Contenido de humedad de 20 residuos de frutas de la familia Passifloraceae y Solanaceae



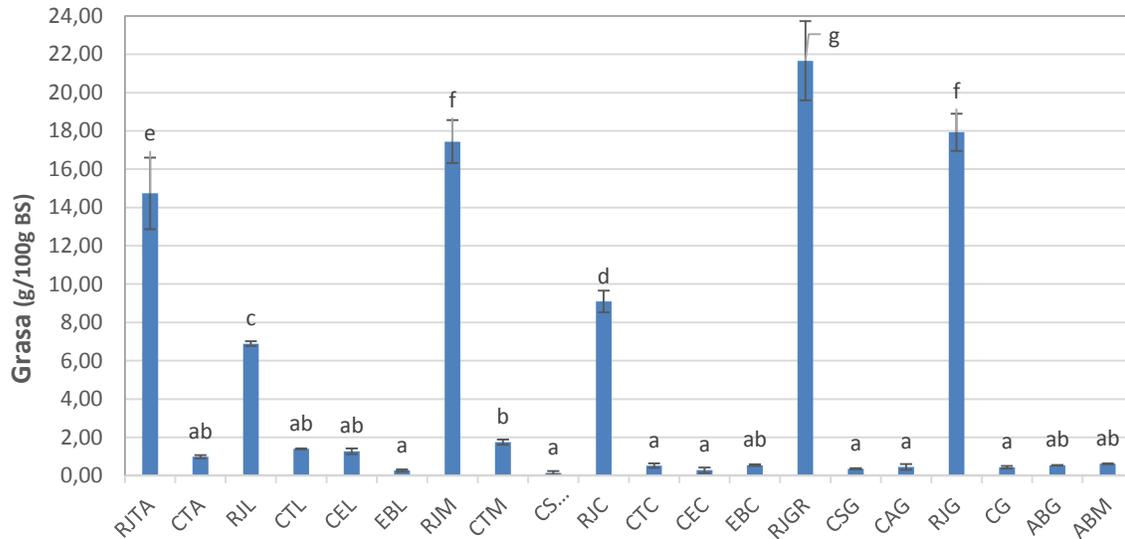
Residuos de frutas: residuos de jugo tomate de árbol (RJTA), cáscara tomate de árbol (CTA), residuos de jugo de gulupa (RJG), cáscara de gulupa (CG), residuos de jugo de lulo (RJL), corteza total lulo (CTL), mesocarpio blanco de lulo (EBL), cáscara sin mesocarpio de lulo (CEL), residuos de jugo curuba (RJC), mesocarpio curuba (EBC), cáscara total de curuba (CTC), cáscara sin mesocarpio de curuba (CEC); residuos de jugo de granadilla (RJGR), cáscara sin mesocarpio de granadilla (CSG), mesocarpio blanco de granadilla (ABG), cáscara total de granadilla (CAG), residuos de jugo maracuyá (RJM), cáscara total de maracuyá (CTM), mesocarpio blanco de maracuyá (ABM), cáscara sin mesocarpio de maracuyá (CSBM). Letras minúsculas diferentes representan diferencias estadísticamente significativas.

- Contenido de grasa Total

El contenido de grasa total presenta un amplio rango de 0,27g a 21,66g /100g BS. En general los valores mayores se observan para el residuo de jugo de los frutos analizados en un rango de 6,88 hasta 21,66g/100g BS, debido posiblemente a las semillas presentes. En cambio, los valores de grasa en los residuos de las cáscaras son menores, oscilando entre 0,27 y 1,40g/100g BS. En general se observan contenidos bajos puesto que las frutas no se consideran fuente de esta y por tanto tampoco representan un aporte energético considerable en la dieta (Ramírez & Pacheco, 2011).

El contenido de grasa total encontrado para CTM ($1,7 \pm 0,1$ g/100gBS) representan un valor mayor al reportado para la cáscara de maracuyá amarelo de $0,80 \pm 0,03$ g/100g BS (Córdoba, Gama, Winter, Nieto, & Feitas, 2005), posiblemente debido a la procedencia de las frutas.

Figura 3-2: Contenido de grasa de 20 residuos de frutas de la familia Passifloraceae y Solanaceae



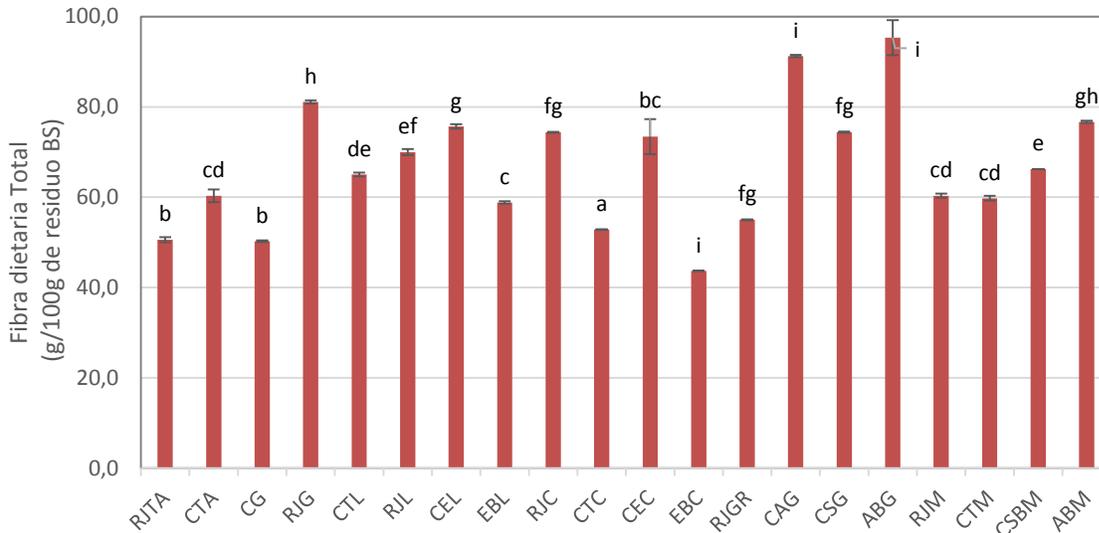
Residuos de frutas: residuos de jugo tomate de árbol (RJTA), cáscara tomate de árbol (CTA), residuos de jugo de gulupa (RJG), cáscara de gulupa (CG), residuos de jugo de lulo (RJL), corteza total lulo (CTL), mesocarpio blanco de lulo (EBL), cáscara sin mesocarpio de lulo (CEL), residuos de jugo curuba (RJC), mesocarpio curuba (EBC), cáscara total de curuba (CTC), cáscara sin mesocarpio de curuba (CEC); residuos de jugo de granadilla (RJGR), cáscara sin mesocarpio de granadilla (CSG), mesocarpio blanco de granadilla (ABG), cáscara total de granadilla (CAG), residuos de jugo maracuyá (RJM), cáscara total de maracuyá (CTM), mesocarpio blanco de maracuyá (ABM), cáscara sin mesocarpio de maracuyá (CSBM). Letras minúsculas diferentes representan diferencias estadísticamente significativas.

- Contenido de fibra dietaria total, fibra dietaria soluble e insoluble

La fibra dietaria total (FDT) producto de la suma de la fibra dietaria soluble (FDS) y fibra dietaria insoluble (FDI), (Figura 3-3), para las frutas de la familia de las Passifloraceae presentó un rango de 10,83 a 40,02 g/100g BH que en base seca corresponde a 43,7 a 91,3g/100g BS y para las frutas de la familia de las Solanaceae presentó un rango de 13,64 a 24,19 g/100g BH que en base seca corresponde a 50,6 a 75.7g/100g BS. Valores más altos a los reportados a otras frutas como cáscara de manzana (0,91% BH), cáscara limón (14g/100gBS), durazno (30,7 - 36,1 %BS) (O'Shea et al., 2012).

El contenido de FDT reportado en otras frutas de la familia de las Passifloraceae es de Cholupa (11,77%BS), Badea (7,98%BS) (Luz Marina Carvajal et al., 2014), valores por debajo de lo encontrado para las frutas en el presente estudio.

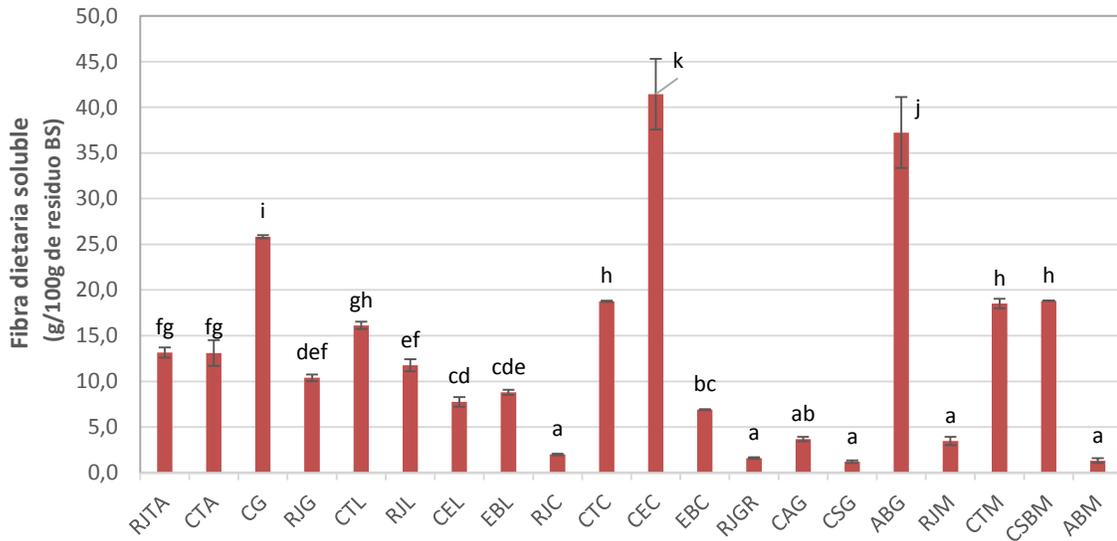
Figura 3-3: Contenido de fibra dietaria total soluble en 20 residuos de frutas de la familia Passifloraceae y Solanaceae.



Residuos de frutas: residuos de jugo tomate de árbol (RJTA), cáscara tomate de árbol (CTA), residuos de jugo de gulupa (RJG), cáscara de gulupa (CG), residuos de jugo de lulo (RJL), corteza total lulo (CTL), mesocarpio blanco de lulo (EBL), cáscara sin mesocarpio de lulo (CEL), residuos de jugo curuba (RJC), mesocarpio curuba (EBC), cáscara total de curuba (CTC), cáscara sin mesocarpio de curuba (CEC); residuos de jugo de granadilla (RJGR), cáscara sin mesocarpio de granadilla (CSG), mesocarpio blanco de granadilla (ABG), cáscara total de granadilla (CAG), residuos de jugo maracuyá (RJM), cáscara total de maracuyá (CTM), mesocarpio blanco de maracuyá (ABM), cáscara sin mesocarpio de maracuyá (CSBM). Letras minúsculas diferentes representan diferencias estadísticamente significativas.

El contenido de FDS vario entre 7,7 a 16.1 g/100g BS para las frutas de la familia de la Solanaceae y entre 1,3 a 41,4 g/100g BS para las frutas de la familia de Passifloraceae (Figura 3-4). El contenido de FDS en BS del residuo CEC (41,4g/100g BS) representó hasta 31 veces mayor, en comparación con los menores valores de los residuos ABM (1,3g/100g BS), CSG (1,2g/100g BS), RJGR (1,6g/100g BS), RJC (2,0g/100g BS).

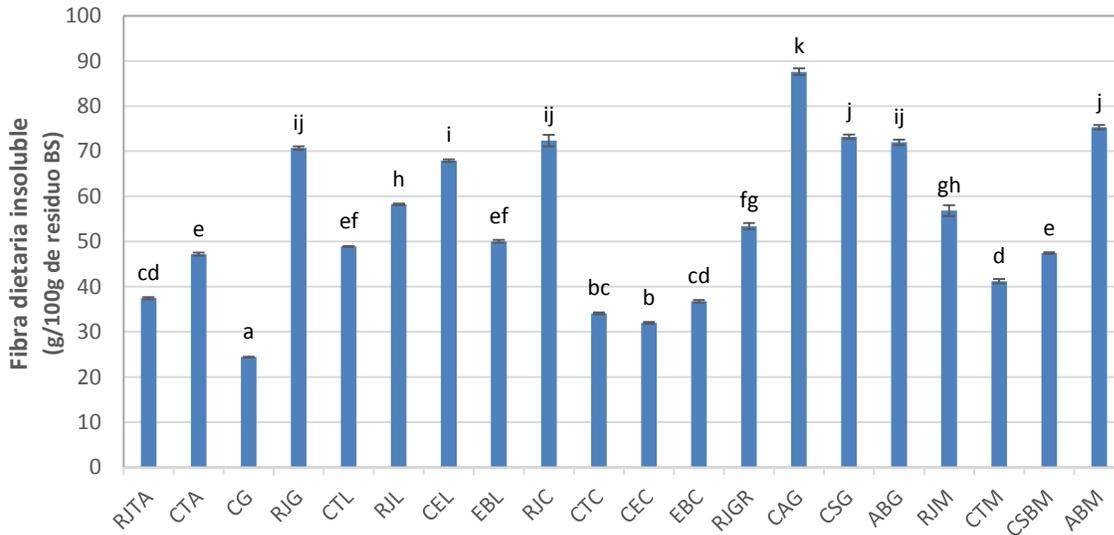
Figura 3-4: Contenido de fibra dietaria soluble en 20 residuos de frutas de la familia Passifloraceae y Solanaceae.



Residuos de frutas: residuos de jugo tomate de árbol (RJTA), cáscara tomate de árbol (CTA), residuos de jugo de gulupa (RJG), cáscara de gulupa (CG), residuos de jugo de lulo (RJL), corteza total lulo (CTL), mesocarpio blanco de lulo (EBL), cáscara sin mesocarpio de lulo (CEL), residuos de jugo curuba (RJC), mesocarpio curuba (EBC), cáscara total de curuba (CTC), cáscara sin mesocarpio de curuba (CEC); residuos de jugo de granadilla (RJGR), cáscara sin mesocarpio de granadilla (CSG), mesocarpio blanco de granadilla (ABG), cáscara total de granadilla (CAG), residuos de jugo maracuyá (RJM), cáscara total de maracuyá (CTM), mesocarpio blanco de maracuyá (ABM), cáscara sin mesocarpio de maracuyá (CSBM). Letras minúsculas diferentes representan diferencias estadísticamente significativas.

El contenido de FDI vario entre 37,5 a 67.9 g/100g BS para las frutas de la familia de la Solanaceae y entre 32,0 a 75,3 g/100g BS para las frutas de la familia de Passifloraceae (Figura 3-5). El contenido de FDI en BS del residuo CAG representó hasta 4 veces mayor, en comparación a los residuos CG, CTC, CEC.

Figura 3-5: Contenido de fibra dietaria insoluble en 20 residuos de frutas de la familia Passifloraceae y Solanaceae.



Residuos de frutas: residuos de jugo tomate de árbol (RJTA), cáscara tomate de árbol (CTA), residuos de jugo de gulupa (RJG), cáscara de gulupa (CG), residuos de jugo de lulo (RJL), corteza total lulo (CTL), mesocarpio blanco de lulo (EBL), cáscara sin mesocarpio de lulo (CEL), residuos de jugo curuba (RJC), mesocarpio curuba (EBC), cáscara total de curuba (CTC), cáscara sin mesocarpio de curuba (CEC); residuos de jugo de granadilla (RJGR), cáscara sin mesocarpio de granadilla (CSG), mesocarpio blanco de granadilla (ABG), cáscara total de granadilla (CAG), residuos de jugo maracuyá (RJM), cáscara total de maracuyá (CTM), mesocarpio blanco de maracuyá (ABM), cáscara sin mesocarpio de maracuyá (CSBM). Letras minúsculas diferentes representan diferencias estadísticamente significativas.

Según lo reportado para algunos residuos de frutas de la familia *Passifloraceae* y *Solanaceae* (Tabla 3-1), se observa que el valor de FDT de RJM (60,3 g/100gBS) se puede comparar con el valor de FDT reportado para pulpa y semillas de maracuyá, provenientes del Huila, se observa que el valor encontrado es mayor 4 veces; en cuanto al valor de FDS (18,5 g/100gBS) y FDI (41,2 g/100gBS) para la CTM, se encuentran que son menores a lo reportado. Para el residuo RJGR el valor de FDT (55,0 g/100gBS) se encontró que era 5 veces mayor al valor de FDT reportado para pulpa de granadilla; para cáscara de granadilla el valor de FDT (91,3 g/100gBS) por encima de lo que se había obtenido en fibra bruta para cáscara de granadilla del Huila. En cuanto al RJG el valor de FDT (81,1 g/100gBS) al compararlo con el reportado para semillas de gulupa se encuentra que es mayor debido a que RJG no solo contempla semillas sino algo de la pulpa que no se licua, pero similar al

reportado para co-productos de gulupa; el valor de CG de FDS (25,8 g/100gBS), de FDI (24,4 g/100gBS) y para RJG el valor de FDS (10,4 g/100gBS) y FDI (70,7 g/100gBS), es menor que el reportado para co-productos de gulupa, que contempla cáscara, semillas y pulpa, en cuanto al valor de FDS, pero mayor en cuanto al valor de FDI. En cuanto a los residuos de lulo (RJL, CTL, EBL, CEL) los valores de FDT oscilan entre 58,8 a 75,7 g/100gBS, los de FDS entre 7,7 a 16,1 g/100gBS y los de FDI entre 48,9 a 72,4 g/100gBS, rangos entre los que se encuentra lo reportado para lulo secado por diferentes tratamientos.

Todas las anteriores variaciones son posiblemente debido al origen del fruto y al estado de madurez del mismo (Badui Dergal, 2006; Sarmiento, 2014)

Tabla 3-1. Contenido de fibra bruta, FD, FI y FS en frutas de la familia *Passifloraceae* y *Solanaceae*

	Fibra cruda	FDT	FDS	FDI
pulpa y semillas de maracuyá ^a	7,49%BS	15,09BS%	2,84BS%	12,25BS%
Cáscara maracuyá	26,41g/100g BS ^b		19,20%BS ^c	38,05%BS ^c
Pulpa granadilla	---	10,76%BS ^d	---	---
Cáscara granadilla	50,77% ^d			
Semillas gulupa ^a	39,05%BS	---	---	---
Co-productos de gulupa (cáscara pulpa y semillas) ^e		81.5 g/100g BS	35.5g/100g BS	46.0g/100g BS
Polvos de fruta de lulo ^f		16,6%BS (secado con aire caliente)	11,9mg/g BS (secado con aire caliente)	14,3mg/g BS (secado con aire caliente)
		14,2%BS (ultrasonido secado al aire caliente)	13,6mg/g BS (ultrasonido secado al aire caliente)	15,8mg/g BS (ultrasonido secado al aire caliente)
		87,9%BS (liofilización)	4,47mg/g BS (liofilización)	37,3mg/g BS (liofilización)
		33,6%BS (pulverización)	22,6mg/g BS (pulverización)	34,2mg/g BS (pulverización)

^a(Luz Marina Carvajal et al., 2014); ^b (Córdoba et al., 2005); ^c(Pinheiro et al., 2008); ^d (Carvajal-de Pabón et al., 2014); ^e (Martínez et al., 2012); ^f (Forero, Carriazo, & Osorio, 2015)

3.1.2 Contribución a las ingestas alimentarias de nutrientes

En general como se observa en la Tabla 3-2 el residuo RJG tuvo un mayor porcentaje de contribución al intervalo aceptable de distribución de macronutrientes para FDT que los otros residuos analizados.

El residuo RJG puede contribuir hasta 21,2% en una persona adulta para FDT. Este porcentaje representa 3,5 veces de incremento respecto a al residuo con menor porcentaje de contribución CTC (6,0%). Estos valores en general indican que los residuos representan un porcentaje considerable en un rango de 6,0 a 21,2% de aporte a la dieta de una persona, estos residuos podrían ayudar en parte a los problemas de obesidad (16,5%) y sobrepeso (34,6%) en el país("ENSIN," 2010).

Tabla 3-2. Porcentaje de contribución a la dieta de acuerdo a las recomendaciones de la ingesta recomendada para adultos, basados en las porciones para cada residuo de fruta.

	Muestra	Porción (g)	Contenido por porción	Requerimientos (g/día)	%
FDT*	RJTA	5,9	3,0	28,0	10,6
	CTA	5,8	3,5		12,6
	CG	4,0	2,0		7,3
	RJG	7,3	5,9		21,2
	CTL	4,4	2,9		10,2
	RJL	6,3	4,4		15,6
	CEL	5,3	4,0		14,3
	EBL	4,9	2,9		10,3
	RJC	6,3	4,7		16,9
	CTC	3,2	1,7		6,0
	CEC	4,9	3,6		12,9
	EBC	4,7	2,0		7,3
	RJGR	6,2	3,4		12,3
	CAG	4,0	3,6		13,0
	CSG	4,7	3,5		12,4
	ABG	3,4	3,8		13,4
	RJM	6,2	3,7		13,3
	CTM	3,3	2,0		7,0
CSBM	3,1	2,1	7,4		

	ABM	5,5	4,2		15,0
--	-----	-----	-----	--	------

*Ingesta adecuada (IA). residuos de jugo tomate de árbol (RJTA), cáscara tomate de árbol (CTA), residuos de jugo de gulupa (RJG), cáscara de gulupa (CG), residuos de jugo de lulo (RJL), corteza total lulo (CTL), mesocarpio blanco de lulo (EBL), cáscara sin mesocarpio de lulo (CEL), residuos de jugo curuba (RJC), mesocarpio curuba (EBC), cáscara total de curuba (CTC), cáscara sin mesocarpio de curuba (CEC); residuos de jugo de granadilla (RJGR), cáscara sin mesocarpio de granadilla (CSG), mesocarpio blanco de granadilla (ABG), cáscara total de granadilla (CAG), residuos de jugo maracuyá (RJM), cáscara total de maracuyá (CTM), mesocarpio blanco de maracuyá (ABM), cáscara sin mesocarpio de maracuyá (CSBM).

3.2 Extracción de hidrocoloides

3.2.1 Método con ácido clorhídrico (clásico)

Los resultados indican que el hidrocoloide proveniente del residuo CAG ($85,7\pm 1,4$) presenta el mayor rendimiento de extracción, mientras que el residuo CG ($47,5\pm 2,7$) presenta el rendimiento más bajo.

Al comparar los resultados con lo reportado para otra fruta bajo las mismas condiciones, se encuentra que el rendimiento fue cercano a lo reportado para guayaba Regional Roja (90,2%) y guayaba Regional Blanca (97,0%) (Cubides, 2007).

Estos rendimientos pueden considerarse buenos al compararse con el de frutas como mora de castilla (0,390 y 1,366%), uchuvas (0,167%), cáscara de mango (1,33%), naranja V. Washington (4,57%), teniendo en cuenta que las condiciones de las anteriores frutas, de tiempo de hidrólisis, pH y relación residuo extractante, difieren de las del presente estudio (Ardila, 2007).

Tabla 3-3: Rendimiento de extracción del método 1 de 20 residuos de frutas de la familia Passifloraceae y Solanaceae

(%) Rendimiento	
	Método 1
RJTA	$68,4\pm 3,0$
CTA	$75,1\pm 3,1$
CTL	$67,2\pm 5,0$
RJL	$71,2\pm 0,9$
EBL	$52,2\pm 4,2$
CEL	$82,0\pm 2,0$
RJG	$80,6\pm 2,8$
CG	$47,5\pm 2,7$
RJC	$84,0\pm 2,8$

EBC	51,6±1,5
CEC	64,0±0,8
CTC	63,6±2,1
CSG	84,4±0,6
CAG	85,7±1,4
ABG	77,7±1,4
RJGR	70,3±5,2
RJM	74,1±4,4
CTM	72,9±1,7
ABM	74,2±3,9
CSBM	80,6±2,1

Residuos de frutas: residuos de jugo tomate de árbol (RJTA), cáscara tomate de árbol (CTA), residuos de jugo de gulupa (RJG), cáscara de gulupa (CG), residuos de jugo de lulo (RJL), corteza total lulo (CTL), mesocarpio blanco de lulo (EBL), cáscara sin mesocarpio de lulo (CEL), residuos de jugo curuba (RJC), mesocarpio curuba (EBC), cáscara total de curuba (CTC), cáscara sin mesocarpio de curuba (CEC); residuos de jugo de granadilla (RJGR), cáscara sin mesocarpio de granadilla (CSG), mesocarpio blanco de granadilla (ABG), cáscara total de granadilla (CAG), residuos de jugo maracuyá (RJM), cáscara total de maracuyá (CTM), mesocarpio blanco de maracuyá (ABM), cáscara sin mesocarpio de maracuyá (CSBM). Método 1: método con HCl

3.2.2 Método con ácido oxálico (químico)

La extracción se debe a que el ácido oxálico actúa como agente quelante, deshaciendo las redes de pectina y atrapando los iones (principalmente Ca^{+2}) de las zonas de unión de la *egg-box* (Andersson, Westerlund, Aman, & Eliasson, 2006). Producto de la extracción, los resultados indican que el hidrocoloide proveniente del residuo EBC (91,3±1,1) presenta el mayor rendimiento de extracción, mientras que el residuo CTC (52,8±3,1) presentó el rendimiento más bajo. Valores mayores a los reportados, bajo las mismas condiciones de extracción, para pulpa Yuzu (cítrico del Asia oriental; 8,0%) (Lim et al., 2012) y para pulpa de manzana (7,7%) (Min et al., 2011). Al igual mayores valores, en comparación con los reportados bajo el mismo pH, temperatura y que empelan ácido oxálico como extractante, como es el caso de naranja (18,5%), limón (22,6), lima (29,1) y uva (21,6) (Kaya, Sousa, Crépeau, Sørensen, & Ralet, 2014).

Tabla 3-4: Rendimiento de extracción del método 2 de 20 residuos de frutas de la familia Passifloraceae y Solanaceae

(%) Rendimiento	
	Método 2
RJTA	60,7±3,8
CTA	73,0±0,8

CTL	61,0±0,8
RJL	64,6±4,1
EBL	62,8±0,5
CEL	78,1±0,5
RJG	67,2±1,6
CG	71,0±0,4
RJC	79,3±0,9
EBC	91,3±1,1
CEC	74,6±3,1
CTC	52,8±3,1
CSG	85,6±0,7
CAG	85,4±1,0
ABG	74,2±0,1
RJGR	57,9±1,6
RJM	77,5±2,6
CTM	79,1±7,0
ABM	75,4±7,2
CSBM	75,7±1,2

Residuos de frutas: residuos de jugo tomate de árbol (RJTA), cáscara tomate de árbol (CTA), residuos de jugo de gulupa (RJG), cáscara de gulupa (CG), residuos de jugo de lulo (RJL), corteza total lulo (CTL), mesocarpio blanco de lulo (EBL), cáscara sin mesocarpio de lulo (CEL), residuos de jugo curuba (RJC), mesocarpio curuba (EBC), cáscara total de curuba (CTC), cáscara sin mesocarpio de curuba (CEC); residuos de jugo de granadilla (RJGR), cáscara sin mesocarpio de granadilla (CSG), mesocarpio blanco de granadilla (ABG), cáscara total de granadilla (CAG), residuos de jugo maracuyá (RJM), cáscara total de maracuyá (CTM), mesocarpio blanco de maracuyá (ABM), cáscara sin mesocarpio de maracuyá (CSBM). Método 2: método con ácido oxálico

3.2.3 Método enzimático

Los resultados indican que el hidrocoloide proveniente del residuo CTM (85,1±5,1) presenta el mayor rendimiento de extracción, mientras que el residuo RJTA (46,7±3,6) presento el rendimiento más bajo. Al compararlos con otras frutas sometidas a las mismas condiciones de extracción, se encuentran que los valores están por encima de lo reportado para pulpa Yuzu (cítrico del Asia oriental; 7,3%) (Lim et al., 2012) y para pulpa de manzana (4,6%) (Min et al., 2011).

Tabla 3-5: Rendimiento de extracción del método 3 de 20 residuos de frutas de la familia Passifloraceae y Solanaceae

(%) Rendimiento
Método 3

RJTA	46,7±3,6
CTA	74,8±7,4
CTL	53,2±0,4
RJL	70,2±4,3
EBL	47,5±0,9
CEL	73,5±1,8
RJG	76,1±1,1
CG	72,4±9,4
RJC	77,7±6,5
EBC	63,4±2,9
CEC	79,9±9,5
CTC	54,8±3,0
CSG	63,5±9,2
CAG	82,8±1,7
ABG	73,1±7,8
RJGR	59,0±5,3
RJM	71,1±3,9
CTM	85,1±5,1
ABM	74,2±2,9
CSBM	73,0±5,2

Residuos de frutas: residuos de jugo tomate de árbol (RJTA), cáscara tomate de árbol (CTA), residuos de jugo de gulupa (RJG), cáscara de gulupa (CG), residuos de jugo de lulo (RJL), corteza total lulo (CTL), mesocarpio blanco de lulo (EBL), cáscara sin mesocarpio de lulo (CEL), residuos de jugo curuba (RJC), mesocarpio curuba (EBC), cáscara total de curuba (CTC), cáscara sin mesocarpio de curuba (CEC); residuos de jugo de granadilla (RJGR), cáscara sin mesocarpio de granadilla (CSG), mesocarpio blanco de granadilla (ABG), cáscara total de granadilla (CAG), residuos de jugo maracuyá (RJM), cáscara total de maracuyá (CTM), mesocarpio blanco de maracuyá (ABM), cáscara sin mesocarpio de maracuyá (CSBM). Método 3: método con enzimático.

Específicamente para frutas de la familia *Passifloraceae*, se encuentran los valores de rendimiento reportados bajo diferentes condiciones de extracción (Tabla 3-6); para los residuos de maracuyá (RJM, CTM, ABM, CSBM) del presente estudio los rendimientos son mayores oscilando por el método 1 entre 72,9% y 80,6%; por el método 2 de 75,4% a 79,1% y por el método 3 entre 71,1% y 85,1%, valores por encima de los reportados, con excepción del mencionado por (Kulkarni & Vijayanand, 2010) en el cual se realizan dos extracciones lo que enriquece la cantidad de pectina obtenida.

Al igual para los residuos de granadilla (RJGR, CAG, CSG, ABG) los valores de rendimiento por el método 1 (70,3 a 85,7%), por el método 2 (57,9 a 85,6%) y por el método 3 (59,0 a 82,8%) son mayores a los reportados (Tabla 3-6).

Respecto a la familia Solanácea se encontraron valores para frutos de la misma familia (Solanaceae) y género (Solanum), con rendimientos más bajos (Tabla 3-6) a los encontrados para residuos de tomate de árbol (RJTA, CTA) y lulo (RJL, CTL, EBL, CEL) por los tres métodos de extracción estudiados. Puesto que para tomate de árbol los rendimientos oscilan por el método 1 entre 68,4 y 75,1; por el método 2 de 60,7 a 73,0 y por el método 3 entre 46,7% y 74,8%; para lulo se observaron los valores de rendimiento por el método 1 (52,2 a 82,0%), por el método 2 (61,0 a 78,1%) y por el método 3 (47,5 a 75,5%).

Tabla 3-6: Condiciones y rendimientos de extracción de pectina de Passifloraceas y Solanaceae

Fruta	Condiciones de extracción		Rendimiento (%)
Maracuyá	HCl		11,11 ^a
	H ₃ PO ₄		12,57 ^a
	H ₃ PO ₄ -(NaPO ₃) ₆		18,45 ^a
	pH 2,0; T:98,7°C; Relación cáscara: extractante HCl 1:30(p/v); t:60min, dos extracciones		93 ^b
	Cáscara, pH 2,0; T: 90°C; t:40min	ácido acético	10,20 ^c
		ácido nítrico	12,94 ^c
		ácido tartárico	19,40 ^c
Cáscara, calentamiento en microondas, 628W, t:9 min	ácido acético	12,9 ^c	
	ácido tartárico	30.3 ^c	
ácido cítrico; t.75min; pH 2.0		14,6 ^d	
Relación endocarpio: extractante agua 1:15(p/v); pH 1.34; T: 65-75°C, t:2h		29 ^e	
Granadilla	Mesocarpio, ácido cítrico; t: 75min; pH 2,0		14,6 ^f
Tomate de árbol amarillo (<i>Solanum betaceum</i> Cav.)	Cáscara, agua, T:50°C, t: 30min		8,39 ^g
<i>Solanum lycocarpum</i> (fruto amarillo, semejante a tomate pequeño, Brasil)	T:80°C, t:30min, pH.1.0		33,6 ^h

^a(Addosio, Páez, Marín, Mármol, & Ferrer, 2005); ^b(Kulkarni & Vijayanand, 2010); ^c(Seixas et al., 2014); ^d(Liew, Chin, & Yusof, 2014); ^e(Simmaky & Jaanaki, 2014); ^f(Nancy Chasquibol Silva,

2008);^g(Gannasin, Ramakrishnan, Adzahan, & Muhammad, 2012), ^h(Torralbo, Batista, Di-Medeiros, & Fernandes, 2012)

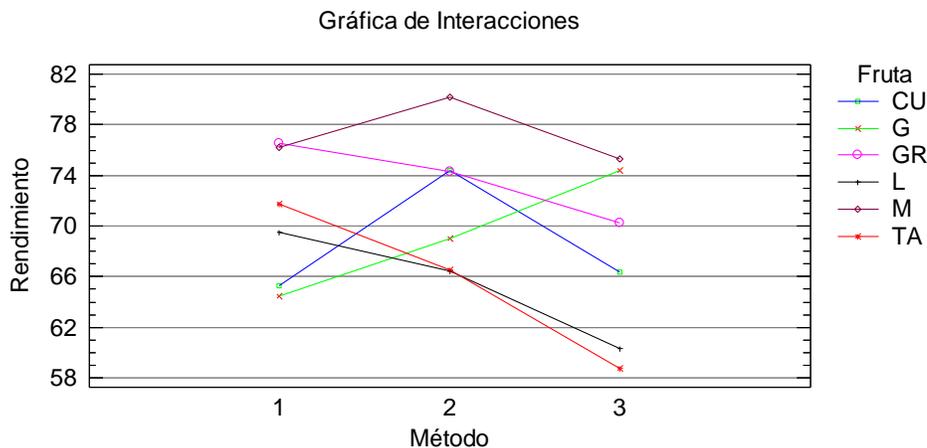
Lo anterior, permite observar que para la misma fruta existe una variación en el porcentaje de rendimiento debido a la influencia de diferentes parámetros, tal como, pH, temperatura, tiempo de extracción (Torralbo et al., 2012) y del tipo de ácido que se emplea en la extracción (Kaya et al., 2014).

3.3 Estadística

Teniendo en cuenta la variable rendimiento en los tres métodos de extracción evaluados, mediante el análisis estadístico empleando un método lineal generalizado el cual permite establecer las diferencias entre los métodos de extracción, los mejores rendimientos en cada fruta para cada método y las diferencias significativas de los rendimientos entre las frutas.

Los valores de rendimiento para los 20 residuos de frutas de la familia Passifloraceae y Solanaceae son evaluados, como ilustran las Figura 3-6 y Figura 3-7 se presentan interacciones entre todos los residuos de las frutas en la variable rendimiento a través de los diferentes métodos, indicando que el rendimiento depende del método de extracción de hidrocoloides, de la fruta y del tipo de residuo de fruta.

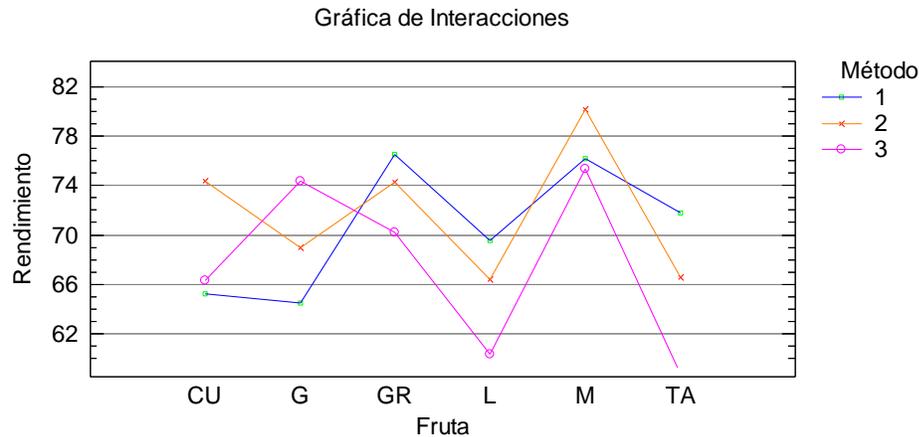
Figura 3-6: Gráfica de las interacciones de los residuos de frutas en la variable de rendimiento en los métodos de extracción. Método clásico (HCl)=1, Método químico = 2, Método enzimático = 3. Cu: curuba, G: Gulupa, Gr: granadilla, L: lulo, M: maracuyá, TA: tomate de árbol.



En la Figura 3-6, se observa que los residuos de maracuya (M), conformados por RJM, CTM, ABM, CSBM, obtienen el mayor rendimiento de extracción para el método 2 y 3 en comparación con el resto de residuos de frutas y por el método de extracción 1 para los residuos de granadilla. Por el método de extracción 3 se obtienen los menores rendimientos para los residuos de lulo y tomate de arbol.

En la Figura 3-7 se observa que para granadilla, lulo y tomate de arbol, el mayor rendimiento es obtenido por el método 1, para curuba y maracuyá por el método 2 y finalmente para gulupa por el método 3.

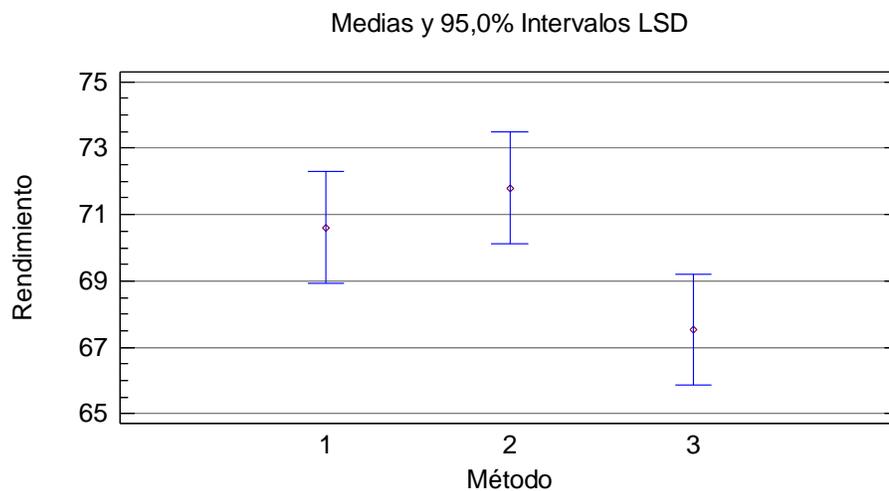
Figura 3-7: Gráfica de las interacciones de los residuos de frutas en la variable de rendimiento en los métodos de extracción. Cu: curuba, G: Gulupa, Gr: granadilla, L: lulo, M: maracuyá, TA: tomate de árbol



El rendimiento de los hidrocoloides extraídos por el método 1 y el método 2 no presenta diferencia significativa, tal como se observa en la Figura 3-8, mientras que el método 3 si presenta diferencia significativa con el método 2.

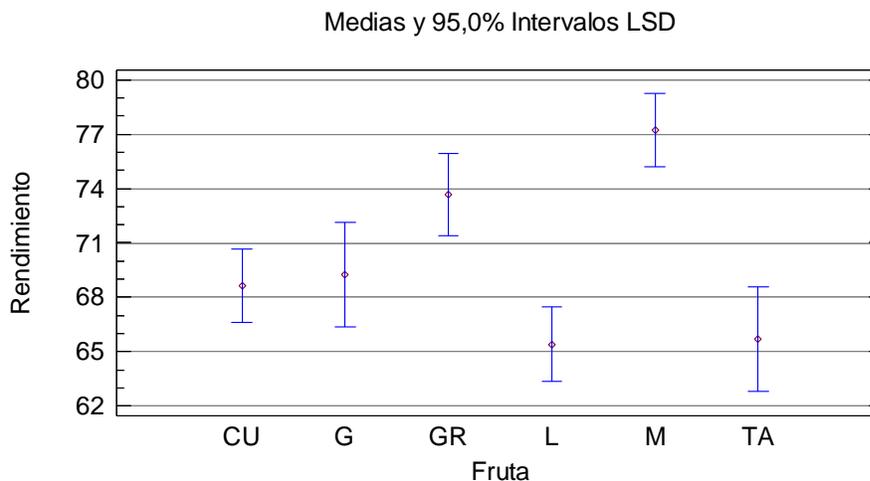
En general el rendimiento es mayor con ácidos diluidos calientes, lo cual es comúnmente encontrado en la literatura, lo cual puede ser atribuido porque al incrementar la temperatura aumenta la solubilidad de los hidrocoloides, especialmente de pectina (Wang et al., 2016). Además se observa que el porcentaje de rendimiento de extracción fue mayor por el método 2 en comparación con el método 3, tal como lo reportado por (Min et al., 2011).

Figura 3-8: Gráfica de medias para el rendimiento de los residuos de frutas extraídas por los diferentes métodos. Método clásico (HCl)=1, Método químico = 2, Método enzimático = 3



En cuanto a los residuos de frutas se observa, en la Figura 3-9, que los hidrocoloides provenientes de los residuos de frutas, que no presentan diferencia significativa en el rendimiento de extracción son curuba, gulupa, lulo y tomate de árbol, al igual que granadilla y maracuya. En general estos valores son altos respecto a lo reportado para para manzana en condiciones acidas en un rango de 2,9 a 16%, fuente principal de la pectina comercial (Garna et al., 2007; Min et al., 2011)

Figura 3-9: Gráfica de medias para el rendimiento de los residuos de frutas extraídas por los diferentes métodos. Cu: curuba, G: Gulupa, Gr: granadilla, L: lulo, M: maracuyá, TA: tomate de árbol.



3.4 Caracterización de hidrocoloides

Los hidrocoloides obtenidos por los diferentes métodos de extracción presentaron una amplia variabilidad para el contenido de humedad (Tabla 3-7), para los extraídos por el método 1 en un rango entre 2,7 g/100g BH (CTL) y 9,1 g/100g BH (ABG); por el método 2 en un rango de 4,4 g/100g BH (CEL) y 10,5 g/100g BH (CTC); por último en el método 3 entre 3,4 g/100g (RJTA) y 9,0 g/100g (CG).

Tabla 3-7: contenido de humedad y cenizas de los hidrocoloides extraídos

método extracción	Método 1		Método 2		Método 3	
	Humedad	cenizas (g/100g residuo BH)	Humedad	cenizas (g/100g residuo BH)	Humedad	cenizas (g/100g residuo BH)
RJTA	4,7±0,09	2,5±0,1	6,9±0,6	2,9±0,2	3,4±0,5	1,4±0,5
CTA	7,5±0,1	2,0±0,2	7,6±0,2	4,6±0,2	6,6±0,3	2,3±0,1
CTL	2,7±0,4	3,4±0,6	7,5±0,4	4,5±0,9	5,2±0,3	2,9±0,5
RJL	6,6±0,3	14,1±4,2	7,2±0,1	14,3±0,5	5,8±0,1	6,3±0,3
EBL	7,0±0,2	7,4±4,1	5,5±0,5	6,8±0,5	5,4±0,3	2,590±0,095

CEL	4,95±0,04	1,9±0,3	4,4±0,5	3,8±0,6	4,2±0,2	1,4±0,4
RJG	4,0±0,3	0,46±0,06	7,1±0,5	1,0±0,1	5,94±0,08	0,64±0,02
CG	7,6±0,7	3,49±0,01	8,0±0,1	3,4±0,3	9,0±0,7	2,9±0,3
RJC	4,4±0,1	0,33±0,03	7,5±0,2	0,6±0,1	5,9±0,5	0,46±0,05
EBC	8,7±0,1	2,7±0,2	8,5±0,1	4,3±0,1	7,6±0,4	2,9±0,1
CEC	7,8±0,4	2,2±0,3	8,2±0,9	3,4±0,4	8,4±0,1	2,3±0,2
CTC	8,6±0,2	1,4±0,5	10,5±0,4	4,0±0,2	7,6±0,6	2,4±0,4
CSG	7,0±0,7	0,88±0,06	8,1±0,8	0,6±0,2	6,7±0,3	0,28±0,09
CAG	5,7±0,3	2,3±0,1	8,7±1,7	1,5±0,5	6,7±0,1	1,46±0,06
ABG	9,1±0,3	3,5±0,3	10,2±0,5	4,9±0,3	8,3±0,3	3,0±0,1
RJGR	3,3±0,05	0,94±0,04	7,2±0,4	1,3±0,3	4,8±0,6	0,4±0,08
RJM	4,1±0,1	0,8±0,1	6,9±0,3	2,49±0,02	5,5±0,4	1,6±0,4
CTM	6,7±0,3	4,4±0,3	9,9±0,2	6,0±0,6	7,2±0,7	4,4±0,2
ABM	7,5±0,2	3,6±0,6	8,8±0,1	6,1±0,3	8,7±0,4	3,0±0,8
CSBM	3,2±0,2	2,6±0,4	8,4±0,5	4,9±0,3	7,6±0,5	4,7±0,3

Residuos de frutas: residuos de jugo tomate de árbol (RJTA), cáscara tomate de árbol (CTA), residuos de jugo de gulupa (RJG), cáscara de gulupa (CG), residuos de jugo de lulo (RJL), corteza total lulo (CTL), mesocarpio blanco de lulo (EBL), cáscara sin mesocarpio de lulo (CEL), residuos de jugo curuba (RJC), mesocarpio curuba (EBC), cáscara total de curuba (CTC), cáscara sin mesocarpio de curuba (CEC); residuos de jugo de granadilla (RJGR), cáscara sin mesocarpio de granadilla (CSG), mesocarpio blanco de granadilla (ABG), cáscara total de granadilla (CAG), residuos de jugo maracuyá (RJM), cáscara total de maracuyá (CTM), mesocarpio blanco de maracuyá (ABM), cáscara sin mesocarpio de maracuyá (CSBM). Métodos de extracción: Método 1, método con HCl; Método 2, método con ácido oxálico; Método 3, método enzimático.

Se observa que en el contenido de cenizas (Tabla 3-7), los hidrocoloides que presentaron el mayor contenido de cenizas fueron los obtenidos del residuo RJL, tanto por el método 1 (14,1±4,2 g/100g BH) como por el método 2 (14,3±0,5 g/100g BH), evidenciando que los hidrocoloides RJL obtenidos por el método 1 y 2, son los únicos que no poseen una cantidad de cenizas menor al 10% según lo aceptado para la calidad de pectinas por (FAO; *Food Chemicals Codex*, 1981); mientras que por el método 3 fue RJL (6,3±0,3 g/100g BH). Luego, los contenidos más bajos se encontraron en RJC (0,33±0,03 g/100g BH) por el método 1, RJC (0,6±0,1 g/100g BH) y CSG (0,6±0,2 g/100g BH) por el método 2, y CSG (0,28±0,09 g/100g BH) por el método 3.

El contenido de cenizas para residuos de maracuyá (RJM, CTM, ABM, CSBM) por el método 1 se encontró en el rango de 0,8 a 3,2 g/100gBH, menor a lo reportado para maracuyá proveniente de Venezuela (Addosio et al., 2005).

3.4.1 Cuantificación de Pectato de calcio

La cuantificación de pectina por pectinato de calcio es un método gravimétrico, en el cual se hidroliza la pectina y se precipita con cloruro de calcio (Ardila, 2007). En la Tabla 3-8 se observa que por el método 1 el rango de pectinato de calcio fue de 19,0±2,2 (CEL) a 95,3±1,3 (RJC); por el método 2 entre 76,8±8,8 (RTA) y 98,3±2,3 (CTL), finalmente por el método 3 de 70,4±0,9 (EBC) a 99,6±0,7 (ABG).

Para las cáscaras de maracuyá, se observó para CTM por el método 1 un 76,6±1,8 %, por el método 2 un 86,4±2,3% y por el método 3 un 87,6±2,7%, valores por encima de lo reportado en cáscaras de maracuyá de 16,3% (Kulkarni & Vijayanand, 2010).

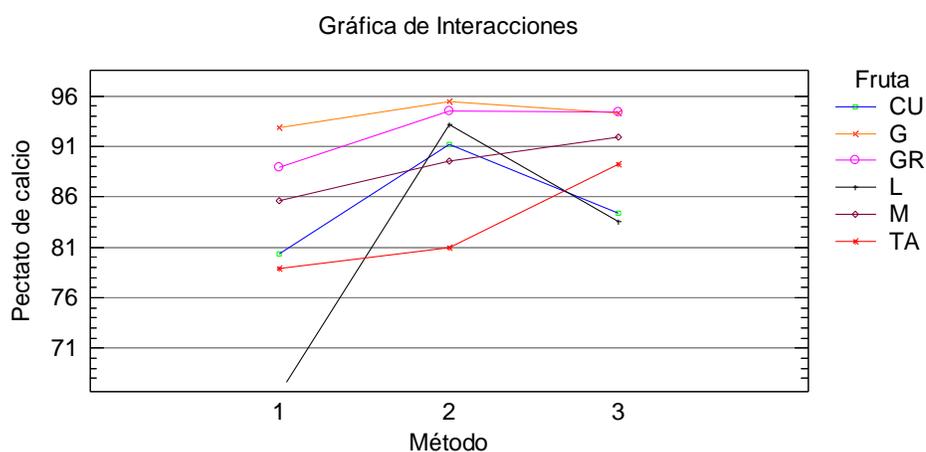
Tabla 3-8. Contenido de pectato de calcio en los hidrocoloides extraídos

Residuo de fruta	Pectato de calcio (%)		
	Método 1	Método 2	Método 3
RJTA	79,9±3,0	76,8±8,8	87,6±1,1
CTA	77,9±1,2	91,5±3,0	90,8±0,6
RJG	94,7±1,7	93,3±2,8	95,2±0,7
CG	91,4±8,3	94,8±4,5	95,3±3,0
RJL	89,7±1,7	92,4±0,0	91,2±0,8
CTL	83,4±1,7	98,3±2,3	76,4±5,5
EBL	77,0±3,3	91,4±2,7	76,3±4,3
CEL	19,0±2,2	92,3±0,9	91,5±2,8
RJC	95,3±1,3	97,3±0,4	94,2±1,6
CTC	66,1±3,4	86,4±2,9	87,3±2,6
EBC	81,4±2,9	89,0±4,6	70,4±0,9
CEC	78,2±4,1	92,3±2,7	85,1±2,5
RJGR	92,2±1,3	94,9±3,3	90,9±0,9
CAG	89,4±1,4	95,3±15,5	97,9±0,8
ABG	84,8±14,2	97,1±4,0	99,6±0,7
CSG	86,7±1,2	90,2±0,9	91,5±3,1
RJM	92,2±3,0	93,6±0,7	92,9±2,5
CTM	76,6±1,8	86,4±2,3	87,6±2,7
ABM	84,0±5,0	85,6±3,9	95,2±9,6

CSBM	88,6±2,9	87,9±4,8	85,5±4,1
------	----------	----------	----------

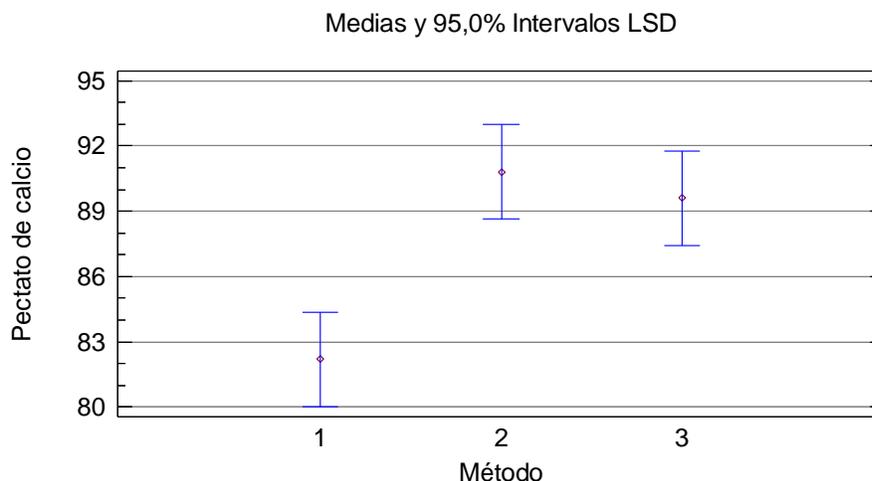
Para el contenido de pectato de calcio en los hidrocoloides obtenidos por los diferentes métodos de la extracción, se observa en la Figura 3-10, que por el método de extracción 1 y 2 se obtiene el mayor contenido de pectato de calcio para gulupa, por el método 3 para granadilla y gulupa.

Figura 3-10: Gráfica de las interacciones de los residuos de frutas en la variable de rendimiento en los métodos de extracción. Método clásico (HCl)=1, Método químico = 2, Método enzimático = 3.



Para el contenido de pectato de calcio no se observa diferencia significativa en el contenido obtenido por el método químico (2) y enzimático (3), Figura 3-11. El menor contenido de pectato de calcio se observa para el método clásico (1).

Figura 3-11: Gráfica de medias para el contenido de pectato de calcio en los residuos de frutas extraídas por los diferentes métodos. Método clásico (HCl)=1, Método químico = 2, Método enzimático = 3.



3.4.2 Ácidos Galacturónicos

El contenido de ácidos galacturónicos para los hidrocoloides obtenidos por el método 1 varió entre 0,0 a 23,7% BS para las frutas de la familia de la Solanaceae y entre 0,0 a 37,8% BS para las frutas de la familia de Passifloraceae; por el método 2 varió entre 0,0 a 41,9% BS para las frutas de la familia de la Solanaceae y entre 0,0 a 37,4% BS para las frutas de la familia de Passifloraceae; por el método 3 varió entre 2,1 a 24,1% BS para las frutas de la familia de la Solanaceae y entre 0,0 a 35,1% BS para las frutas de la familia de Passifloraceae (Tabla 3-9).

Tabla 3-9. Contenido de ácidos galacturónicos de los hidrocoloides extraídos

residuo de fruta	Ácidos galacturónicos (%p/p BS)		
	Método 1	Método 2	Método 3
RJTA	0,0±0,0	2,1±0,5	2,1±0,3
CTA	23,3±1,5	17,5±1,1	13,7±2,4
RJL	5,3±0,8	0,0±0,0	2,9±0,7
CTL	17,5±2,6	25,3±0,5	12,8±1,7
EBL	23,7±2,3	41,9±2,8	24,1±2,6
CEL	14,2±1,4	11,4±0,0	22,3±0,7
RJG	0,0±0,0	0,0±0,0	0,0±0,0
CG	22,6±1,6	37,4±2,0	12,0±0,5
RJC	0,0±0,0	0,0±0,0	1,25±0,06

CTC	21,9±2,3	31,0±1,8	16,6±0,3
EBC	18,9±0,7	17,3±1,5	35,1±1,9
CEC	35,5±3,8	15,6±1,6	15,4±1,2
RJGR	0,0±0,0	1,8±0,2	2,4±0,4
CAG	10,0±1,3	11,3±1,8	13,5±1,4
ABG	20,5±2,0	22,8±0,7	6,7±1,2
CSG	8,8±1,4	4,8±1,5	7,3±2,5
RJM	0,0±0,0	0,0±0,0	4,0±0,4
CTM	16,3±2,1	17,0±1,3	16,2±1,4
ABM	23,4±2,3	22,5±2,1	21,9±2,6
CSBM	37,8±3,6	28,8±1,2	19,3±2,1

Residuos de frutas: residuos de jugo tomate de árbol (RJTA), cáscara tomate de árbol (CTA), residuos de jugo de gulupa (RJG), cáscara de gulupa (CG), residuos de jugo de lulo (RJL), corteza total lulo (CTL), mesocarpio blanco de lulo (EBL), cáscara sin mesocarpio de lulo (CEL), residuos de jugo curuba (RJC), mesocarpio curuba (EBC), cáscara total de curuba (CTC), cáscara sin mesocarpio de curuba (CEC); residuos de jugo de granadilla (RJGR), cáscara sin mesocarpio de granadilla (CSG), mesocarpio blanco de granadilla (ABG), cáscara total de granadilla (CAG), residuos de jugo maracuyá (RJM), cáscara total de maracuyá (CTM), mesocarpio blanco de maracuyá (ABM), cáscara sin mesocarpio de maracuyá (CSBM). Métodos de extracción: Método 1, método con HCl; Método 2, método con ácido oxálico; Método 3, método enzimático.

Según el contenido de ácidos galacturónicos (AU) obtenidos en los hidrocoloides extraídos (Tabla 3-9), se establece que en ninguno de los hidrocoloides extraídos se obtiene pectina pura, puesto que el contenido de ácidos galacturónicos debe ser de al menos 65% (FAO; *Food Chemicals Codex*, 1981; Willats, Knox, & Mikkelsen, 2006) y ningún hidrocoloide llegó a este valor.

En la Tabla 3-9, se obtienen valores menores con el mismo extractante, HCl, que lo obtenido para otras frutas como Mango (70,9%) y Lima (82,1%), de manera similar que cuando el extractante fue ácido oxálico/oxalato de amonio en Mango (52,1%), Lima (61,1%) (Koubala et al., 2008). Debido a que tal como lo evidencia el estudio de (Koubala et al., 2008), que al obtener primero los residuos insolubles en alcohol (AIR) y sobre estos realizar la extracción, es mayor el contenido de AU en los AIR que en las cáscaras de partida, aumentando así la extractabilidad de los AU.

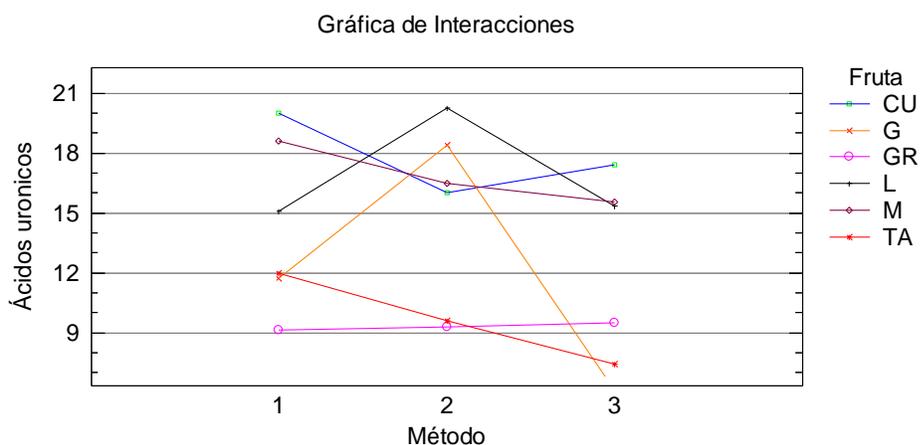
3.4.2.1 Estadística

El método lineal generalizado permitió establecer las diferencias estadísticas, en cuanto a la cantidad de ácidos galacturónicos obtenida en cada uno de los métodos de extracción y su variabilidad en cada fruta.

Los valores de la cantidad de ácidos urónicos presente, para los 20 residuos de frutas de la familia Passifloraceae y Solanaceae son evaluados, como ilustran la Figura 3-12 y Figura 3-13; se presentan interacciones entre todos los residuos de las frutas en la variable ácidos galacturónicos a través de los diferentes métodos, indicando que la cantidad de ácidos galacturónicos depende del método de extracción de hidrocoloides, de la fruta y del tipo de residuo de fruta.

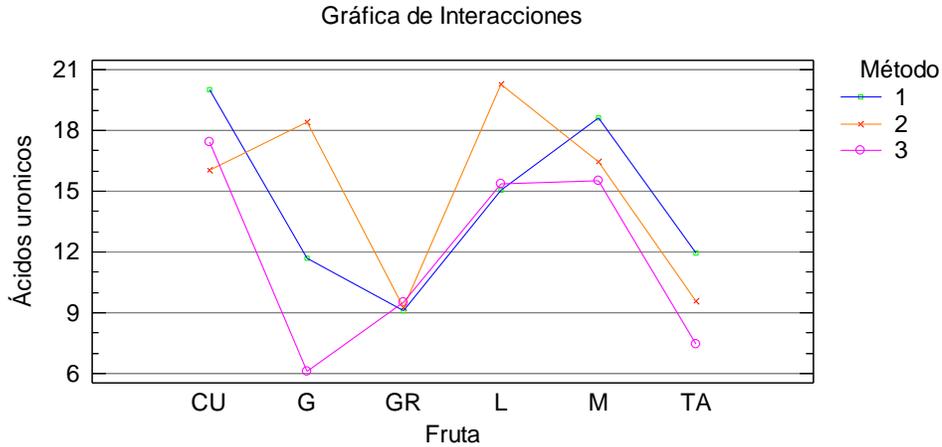
Se observa en la Figura 3-12, que por el método 1 se tiene el mayor contenido de ácidos galacturónicos, para los hidrocoloides obtenidos a partir de curuba, maracuyá y tomate de árbol; por el método 2, para los hidrocoloides a partir de lulo y gulupa, finalmente por el método 3, los hidrocoloides de granadilla.

Figura 3-12: Gráfica de las interacciones de los residuos de frutas en la variable de ácidos galacturónicos a los métodos de extracción. Método clásico (HCl)=1, Método químico = 2, Método enzimático = 3.



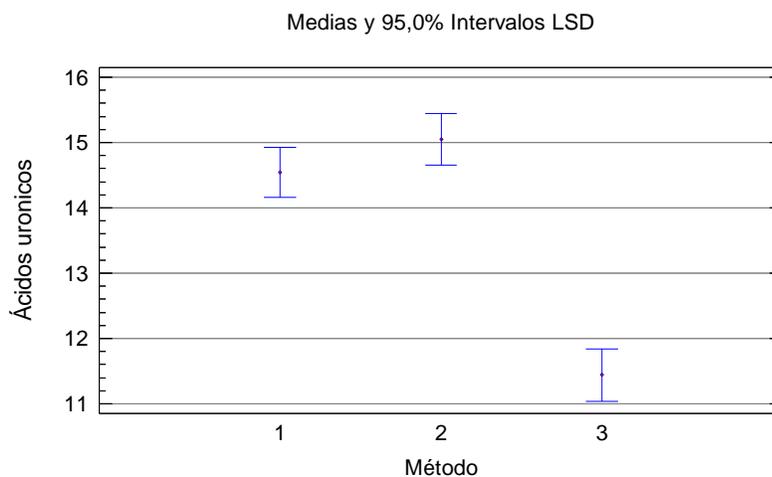
Al analizar todos los métodos y los residuos de frutas, se observa Figura 3-13, que para tres de los residuos de frutas (gulupa, granadilla y lulo) se obtienen el mayor contenido de ácidos galacturónicos por el método químico (2), en comparación a los otros métodos. Para los otros residuos (curuba, maracuyá, tomate de árbol) el mayor contenido de galacturónicos se obtiene por el método clásico (1).

Figura 3-13: Gráfica de las interacciones de los residuos de frutas en la variable de ácidos galacturónicos a los métodos de extracción. Método clásico (HCl)=1, Método químico = 2, Método enzimático = 3



El contenido de ácidos galacturónicos obtenidos por los diferentes métodos de extracción de hidrocoloides, se observa en la Figura 3-14, que el método 1 y 2, no presentan diferencia significativa entre ellos, pero si presentan diferencias con el método 3. Además que los métodos 1 y 2 son los que presentan mayores contenidos de ácidos galacturónicos y el método 3 un menor contenido, lo cual concuerda con lo reportado, debido posiblemente a que el método enzimático la hidrólisis y el tratamiento termo-mecánico permitía solubilizar polisacáridos no pécticos, dando por ende un valor bajo en el contenido de ácidos galacturónicos (Min et al., 2011).

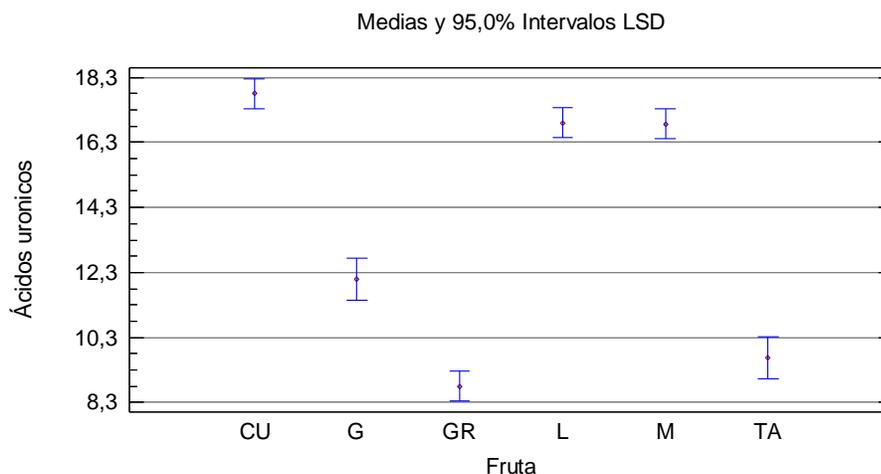
Figura 3-14: Gráfica de medias para el contenido de ácidos galacturónicos de los residuos de frutas extraídas por los diferentes métodos. Método clásico (HCl)=1, Método químico = 2, Método enzimático = 3.



Respecto al contenido de ácidos galacturónicos en cada residuo de fruta, se observa en la Figura 3-15, que los residuos de curuba, lulo y maracuyá no presentan diferencia

significativa en su contenido de ácidos galacturónicos, al igual que granadilla y tomate de árbol, además que la gulupa presenta diferencia significativa con todos los residuos de frutas estudiados.

Figura 3-15: Gráfica de medias para el contenido de ácidos galacturónicos de los hidrocoloides extraídas para cada fruta los diferentes métodos. Cu: curuba, G: Gulupa, Gr: granadilla, L: lulo, M: maracuyá, TA: tomate de árbol.



3.4.3 Capacidad de hinchamiento (CH)

La capacidad de hinchamiento es una importante propiedad de hidratación directamente relacionada con los componentes de celulosa presentes en la fibra. Las propiedades de hidratación determinan significativamente el destino de la fibra dietaria en la regulación de la función del colon y algunos efectos fisiológicos (Martínez et al., 2012).

Los hidrocoloides extraídos (Tabla 3-10), por el método 1 ($9,7 \pm 0,2$ mL/g) y 2 ($7,7 \pm 0,2$ mL/g), el residuo ABG, presentó la mayor capacidad de hinchamiento (CH); mientras que por el método 3 fue ABM ($10,7 \pm 0,4$ mL/g). Los hidrocoloides de RJG y RG presentaron el menor valor (ambos con un valor de $0,7 \pm 0,1$ mL/g) por el método 1; para el método 2 ($0,98 \pm 0,02$ mL/g) y 3 ($0,3 \pm 0,1$ mL/g) estuvo el hidrocoloide obtenido del residuo RJM con el menor valor.

El hidrocoloide del residuo ABG extraído por los métodos 1 y 2 presenta valores por encima de lo reportado para frutas como mango, piña y guayaba, aunque las medidas fueron realizadas en buffer fosfato (Martínez et al., 2012), al igual que mayores a los reportados para fibras de cereales como trigo (7,1 mL/g) y avena (2,3 mL/g) (Baena et al., 2006). Los valores de CH de los hidrocoloides extraídos de los residuos de jugos por el método 1 (0,7 a 2,3 mL/g), método 2 (0,98 a 2,1mL/g) y método 3 (0,2 a 1,17mL/g), son similares a los residuos de la guayaba (1,4mL/g) (Martínez et al., 2012).

Tabla 3-10: Capacidad de hinchamiento de los hidrocoloides extraídos por los tres métodos estudiados

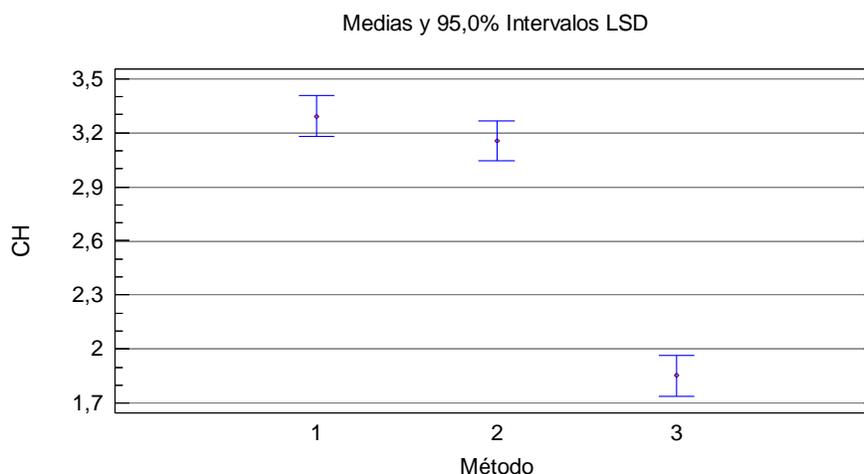
Residuo fruta	CH (mL/g residuo)		
	Método 1	Método 2	Método 3
RJTA	1,7±0,2	1,9±0,5	1,17±0,05
CTA	5,0±0,3	3,9±0,5	2,1±0,1
RJL	1,5±0,4	2,2±0,3	0,80±0,01
EBL	3,0±0,4	1,9±2,7	1,3±0,1
CEL	3,9±0,1	2,7±0,5	1,1±01
CTL	3,7±0,1	3,2±0,3	2,98±0,02
RJG	0,7±0,1	1,1±0,1	0,40±0,01
CG	2,23±0,08	3,7±0,1	1,1±0,2
RJGR	0,7±0,1	1,00±0,01	0,4±0,01
CAG	2,7±0,5	3,9±0,2	0,78±0,04
CSG	4,6±0,5	4,17±0,07	1,6±0,6
ABG	9,7±0,2	7,7±0,4	7,2±0,4
RJC	1,00±0,01	2,1±0,2	0,20±0,01
CTC	5,1±0,2	4,7±0,6	2,0±0,3
CEC	5,0±0,9	4,5±0,7	2,6±0,3
EBC	3,96±0,02	4,4±0,6	0,40±0,01
RJM	2,3±0,3	0,98±0,02	0,3±0,1
CTM	3,8±0,3	4,3±0,4	0,7±0,1
CSBM	3,9±0,2	2,9±0,2	2,1±0,2
ABM	5,0±0,2	3,58±0,03	10,7±0,4

Residuos de frutas: residuos de jugo tomate de árbol (RJTA), cáscara tomate de árbol (CTA), residuos de jugo de gulupa (RJG), cáscara de gulupa (CG), residuos de jugo de lulo (RJL), corteza total lulo (CTL), mesocarpio blanco de lulo (EBL), cáscara sin mesocarpio de lulo (CEL), residuos de jugo curuba (RJC), mesocarpio curuba (EBC), cáscara total de curuba (CTC), cáscara sin mesocarpio de curuba (CEC); residuos de jugo de granadilla (RJGR), cáscara sin mesocarpio de granadilla (CSG), mesocarpio blanco de granadilla (ABG), cáscara total de granadilla (CAG), residuos de jugo maracuyá (RJM), cáscara total de maracuyá (CTM), mesocarpio blanco

de maracuyá (ABM), cáscara sin mesocarpio de maracuyá (CSBM). Métodos de extracción: Método 1, método con HCl; Método 2, método con ácido oxálico; Método 3, método enzimático.

El valor de CH obtenida para los hidrocoloides extraídos, en la Figura 3-16, se observa que el método de extracción clásico (1) y químico (2), no presentan diferencia significativa entre ellos, por lo tanto para los hidrocoloides evaluados. Además, presentan los valores más altos en comparación al método 3, esto debido posiblemente a que los tratamientos químicos con soluciones ácidas incrementan la CH (Elleuch et al., 2011), debido a la destrucción de la coherencia de la pared celular, como sucede en la fibra de la remolacha azucarera (Bertin, Rouau, & Thibault, 1988).

Figura 3-16: Gráfica de medias para la capacidad de hinchamiento de los residuos de frutas extraídas por los diferentes métodos. Cu: curuba, G: Gulupa, Gr: granadilla, L: lulo, M: maracuyá, TA: tomate de árbol.



3.4.4 Capacidad de retención de agua (CRW)

La capacidad de retención de agua es la capacidad de un material húmedo para retener el agua cuando se somete a una fuerza de gravedad centrífuga externa. Consiste en la suma de agua conectada, agua hidrodinámica y agua físicamente atrapada, la última de las cuales contribuye más a esta capacidad (Alfredo, Gabriel, Luis, & David, 2009).

Se observó que el hidrocoloide extraído de ABG presentó la mayor capacidad de retención de agua (CRW), tanto por el método 1 ($8,03 \pm 0,09 \text{ g/g}$) como por el método 3 ($11,8 \pm 0,6 \text{ g/g}$),

mientras que por el método 2 fue ABM ($10,5\pm 0,1$ g/g); en cuanto al valor más bajo se observó en RJM ($1,72\pm 0,05$ g/g) para el método 1, RJG ($1,7\pm 0,2$ g/g) para el método 2 y RJC ($1,9\pm 0,2$ g/g) para el método 3. (Tabla 3-11).

Los valores de residuos provenientes de maracuyá (RJM, ABM, CTM, CSBM) oscilan por el método 1 entre 1,72 a 7,6g/g, por el método 2 entre 2,0 y 10,5 g/g y por el método 3 de 5,6 a 7,0g/g, valores menores a lo reportado 12,8 y 15, 76 g/g por (Sarmiento, 2014), pero en el rango de lo reportado por (Cruz-Salazar, 2002) para maracuyá (7,2g/g muestra).

Tabla 3-11: Capacidad de retención de agua de los hidrocoloides extraídos por los tres métodos estudiados

Residuo fruta	CRW (g agua/g residuo)		
	Método 1	Método 2	Método 3
RJTA	2,5±1,4	3,3±0,3	3,9±1,2
CTA	6,0±0,5	5,8±0,9	5,18±0,09
RJL	3,0±0,4	2,7±0,6	3,2±0,3
EBL	4,8±0,5	5,9±0,6	6,4±1,6
CEL	5,1±0,9	6,6±0,5	5,6±0,5
CTL	6,0±0,8	5,4±0,6	3,9±0,3
RJG	2,1±0,4	1,7±0,2	2,08±0,06
CG	3,0±0,3	5,9±0,6	5,5±0,2
RJGR	2,8±0,9	2,2±0,5	2,4±0,4
CAG	4,4±0,4	7,3±1,9	7,1±0,2
CSG	5,4±0,4	5,0±0,6	4,64±0,02
ABG	8,03±0,09	8,9±0,7	11,8±0,6
RJC	2,04±0,06	2,0±0,2	1,9±0,2
CTC	7,0±0,2	6,0±0,4	7,9±0,7
CEC	5,8±0,9	7,4±0,2	4,4±0,5
EBC	7,3±1,5	4,8±0,3	5,1±0,3
RJM	1,72±0,05	2,0±0,2	5,6±0,3
CTM	7,4±0,7	7,973±0,003	7,1±0,5
CSBM	6,4±0,7	5,0±0,7	5,6±0,7
ABM	7,6±0,8	10,5±0,1	7,0±1,2

Residuos de frutas: residuos de jugo tomate de árbol (RJTA), cáscara tomate de árbol (CTA), residuos de jugo de gulupa (RJG), cáscara de gulupa (CG), residuos de jugo de lulo (RJL), corteza total lulo (CTL), mesocarpio blanco de lulo (EBL), cáscara sin mesocarpio de lulo (CEL), residuos de jugo curuba (RJC), mesocarpio curuba (EBC), cáscara total de curuba (CTC), cáscara sin mesocarpio de curuba (CEC); residuos de jugo de granadilla (RJGR), cáscara sin mesocarpio de granadilla (CSG), mesocarpio blanco de granadilla (ABG), cáscara total de granadilla (CAG), residuos de jugo maracuyá (RJM), cáscara total de maracuyá (CTM), mesocarpio blanco

de maracuyá (ABM), cáscara sin mesocarpio de maracuyá (CSBM). Métodos de extracción: Método 1, método con HCl; Método 2, método con ácido oxálico; Método 3, método enzimático.

Como ya se mencionó, por el método 1, 2 y 3 los hidrocoloides ABG, ABM, CTM, así como CEC por el método 1 y 2, presentan altos valores de CRW en comparación con fibra de otros alimentos como fibra de soya (4,9 g/g) (Mongeau & Brassard, 1982), de cascotes de maíz (2,32 g/g) y de cascotes de trigo (2,49 g/g) (Zambrano, Meléndez, & Gallardo, 2001). Por lo tanto, estos hidrocoloides por su alta CRW pueden ser empleados en productos cárnicos (Dalgetty & Baik, 2003), en productos que requieran hidratación, desarrollo de viscosidad y conservación de la frescura (Alfredo et al., 2009).

3.4.5 Capacidad de adsorción de aceite (CAO):

La capacidad de adsorción de aceite (CAO) es una propiedad tecnológica relacionada con la estructura química de los polisacáridos de la planta y depende de su estructura química y física (Fernández-López et al., 2009), también está relacionada con el contenido de fibra insoluble (Thebaudin, Lefebvre, Harrington, & Bourgeois, 1997).

Se observó en la Tabla 3-12, que la CAO para el método 1, estuvo entre 0,701±0,001g aceite/g residuo (ABM) a 2,94±0,04g aceite/g residuo (ABG), en el método 2 entre 1,0±0,3 g aceite/g residuo (EBC) a 2,6±0,1g/g (ABG) y en el método 3 entre 0,47±0,07g aceite/g residuo (CEL) a 9,0±0,4g aceite/g residuo (ABG).

Los valores de CAO para los hidrocoloides provenientes de los residuos de maracuyá (RJM, ABM, CTM, CSBM) están por el método 1 entre 0,701 a 1,90 g aceite/g residuo, por el método 2 entre 1,1 y 1,9 g aceite/g residuo y por el método 3 de 3,1 a 7,0g/g, rango en el que estaría la CH reportado para maracuyá 2,77 y 3,31 g/g por (Sarmiento, 2014).

Tabla 3-12: Capacidad de adsorción de aceite de los hidrocoloides extraídos por los tres métodos estudiados

CAO (g aceite/g residuo)			
Residuo fruta	Método 1	Método 2	Método 3
RJTA	1,67±0,04	1,5±0,3	3,3±0,3

CTA	1,6±0,1	1,64±0,08	3,5±0,6
RJL	1,6±0,2	1,6±0,1	2,6±0,8
EBL	1,3±0,3	2,2±0,1	3,9±0,1
CEL	2,2±0,7	2,3±0,2	0,47±0,07
CTL	2,2±0,2	2,53±0,07	4,2±0,2
RJG	1,09±0,04	1,03±0,03	1,4±0,3
CG	1,53±0,09	1,67±0,09	4,4±0,4
RJGR	1,3±0,1	1,4±0,5	2,4±0,3
CAG	2,69±0,07	2,23±0,01	3,2±0,5
CSG	2,8±0,02	2,4±0,2	2,2±0,6
ABG	2,94±0,04	2,6±0,1	9,0±0,4
RJC	1,18±0,01	1,6±0,2	2,1±0,2
CTC	1,41±0,17	1,3±0,1	7,0±0,3
CEC	1,01±0,07	2,44±0,01	4,9±0,3
EBC	1,33±0,09	1,0±0,3	4,63±0,05
RJM	1,10±0,09	1,1±0,2	3,9±0,7
CTM	1,90±0,08	1,7±0,1	3,83±0,09
CSBM	1,60±0,08	1,9±0,2	3,1±0,1
ABM	0,701±0,001	1,1±0,3	7,0±1,3

Residuos de frutas: residuos de jugo tomate de árbol (RJTA), cáscara tomate de árbol (CTA), residuos de jugo de gulupa (RJG), cáscara de gulupa (CG), residuos de jugo de lulo (RJL), corteza total lulo (CTL), mesocarpio blanco de lulo (EBL), cáscara sin mesocarpio de lulo (CEL), residuos de jugo curuba (RJC), mesocarpio curuba (EBC), cáscara total de curuba (CTC), cáscara sin mesocarpio de curuba (CEC); residuos de jugo de granadilla (RJGR), cáscara sin mesocarpio de granadilla (CSG), mesocarpio blanco de granadilla (ABG), cáscara total de granadilla (CAG), residuos de jugo maracuyá (RJM), cáscara total de maracuyá (CTM), mesocarpio blanco de maracuyá (ABM), cáscara sin mesocarpio de maracuyá (CSBM). Métodos de extracción: Método 1, método con HCl; Método 2, método con ácido oxálico; Método 3, método enzimático.

Los hidrocoloides ABG (9,0g aceite/g residuo), CTC (7,0g aceite/g residuo) y ABM (7,0g aceite/g residuo) obtenidos por el método 3, son altos en comparación con el de otras frutas como concentrado de fibra dietaria de durazno (1,09g aceite/g), de mango (1,0g aceite/g) y de naranja (1,27g aceite/g) (Elleuch et al., 2011).

Al presentar como propiedad una alta CAO, los hidrocoloides ABG, CTC y ABM obtenidos por el método 3, pueden ser importantes para emplearlos en la retención del sabor y el rendimiento para los productos cárnicos cocidos, que pierden normalmente grasa durante al cocción (Sánchez-Zapata et al., 2011).

3.5 Caracterización hidrocoloides seleccionados

Teniendo en cuenta el análisis estadístico y principalmente el contenido de galacturónicos se escoge el hidrocoloide proveniente de la cáscara sin mesocarpio de curuba (CEC) y cáscara sin mesocarpio de maracuyá (CSBM); se determinó el grado de metilación, acetilación, peso molecular y espectro FT-IR.

3.5.1 Determinación de grado de metilación y acetilación.

El grado de metilación permite determinar, si fueran pectinas de mejor calidad, que los hidrocoloides de CEC (método 1), CSBM (método 1) y CSBM (método 3) serían considerados comercialmente pectinas de bajo metoxilo, por su grado de metilación menor al 50%; los otros hidrocoloides mencionados en la Tabla 3-13 serían pectinas de alto metoxilo (Thakur, Singh, Handa, & Rao, 1997).

Las pectinas de alto metoxilo pueden ser empleadas en producto de alto contenido de azúcar como mermadas o en productos diarios como yogures, puesto que previenen la agregación de casina al calentar a un pH menor de 4,3 en la pasteurización UHT. Por otro lado las pectinas de bajo metoxilo pueden ser empleados en productos de bajas calorías (Guillotin, 2005).

El grado de metilación en el hidrocoloide CEC es menor con HCl y alta temperatura, tal como lo reportó (Chan & Choo, 2013), mientras que en el residuo CSBM es menor por el método 3, pero debido al bajo contenido de galacturónicos; lo anterior posiblemente porque las condiciones drásticas aumentan la desesterificación de la cadena de ácido galacturónico (B. M. Yapo, Robert, Etienne, Wathelet, & Paquot, 2007).

Tabla 3-13: Grados de metilación y acetilación para hidrocoloides extraídos por los tres diferentes métodos.

Hidrocoloide obtenido	Grados de metilación (mol/mol)	Grados de acetilación (mol/mol)
CEC (método 1)	43.3 ± 1.6	23.6 ± 0.9
CEC (método 2)	69.3 ± 1.8	53.9 ± 3.5
CEC (método 3)	59.6 ± 3.3	61.3 ± 0.7
CSBM (método 1)	48.9 ± 1.8	27.0 ± 2.5
CSBM (método 2)	54.7 ± 2.6	35.2 ± 2.3
CSBM (método 3)	26.8 ± 3.5	50.1 ± 1.4

Residuos de frutas: cáscara sin mesocarpio de curuba (CEC), cáscara sin mesocarpio de maracuyá (CSBM). Métodos de extracción: Método 1, método con HCl; Método 2, método con ácido oxálico; Método 3, método enzimático.

Respecto al grado de acetilación no se puede afirmar que las posibles pectinas obtenidas presenten buenas propiedades emulsificantes, puesto que (Leroux, Langendorff, Schick, Vaishnav, & Mazoyer, 2003) mencionan que el grado de acetilación no afecta significativamente la capacidad emulsificante de las pectinas, sino que es la combinación de la cantidad de proteína y de grupos acetilo la que le da las propiedades emulsificantes. Pero en los hidrocoloides obtenidos no se puede evidenciar si hay efecto por la cantidad de proteína, ya que dicho contenido no fue cuantificado.

Sin embargo, (Schmidt et al., 2015) menciona que el grado de acetilación de la pectina juega un papel importante en la capacidad de formación de la emulsión; un grado de acetilación de 10% mejora significativamente el tamaño de la gota, pero por encima del 15% dificulta la emulsificación, es así que los grados de acetilación observados (Tabla 3-13) por lo tanto los valores tan altos de acetilación tendrían efectos negativos en la estabilidad de emulsiones.

El grado de acetilación fue menor por el método 1, debido a la alta temperatura y bajo pH, tanto para el hidrocoloide CEC como para el hidrocoloide CSBM, probablemente por la mencionadas condiciones duras (B. M. Yapo et al., 2007).

3.5.2 Evaluación del peso molecular promedio

Se observa en la Tabla 3-14 que el peso molecular promedio es menor para los hidrocoloides obtenidos por el método enzimático, comportamiento que concuerda con lo

mencionado por (Min et al., 2011), debido a que las moléculas de pectina presentes estarían ligeramente degradadas por el tratamiento termo-físico reduciendo consecuentemente su peso molecular.

Tabla 3-14: Peso molecular para hidrocoloides extraídos por los tres diferentes métodos.

Hidrocoloide obtenido	Peso molecular (kDa)
CEC (método 1)	339±4.6
CEC (método 2)	327±3.9
CEC (método 3)	225±9.8
CSBM (método 1)	821±21.4
CSBM (método 2)	272±4.5
CSBM (método 3)	2±0.02

Residuos de frutas: cáscara sin mesocarpio de curuba (CEC), cáscara sin mesocarpio de maracuyá (CSBM). Métodos de extracción: Método 1, método con HCl; Método 2, método con ácido oxálico; Método 3, método enzimático.

En los perfiles cromatograficos de peso molecular de los hidrocoloides CEC (Figura C-1, Figura C-3, Figura C-5) y CSBM (Figura C-2, Figura C-4) obtenidos por los tres métodos, exhiben patrones de elución polidispersión y multimodal con una amplia gama de materiales poliméricos y oligoméricos (Beda M. Yapó, 2009). En general para los hidrocoloides CEC se distinguen dos picos y para los hidrocoloides CSBM de 2 a 5 picos, pero siempre uno es de mayor área y este es el que se tiene en cuenta para calcular el peso molecular, en base a la curva de calibración de pullulanos.

Los valores de peso molecular de los hidrocoloides proveniente de maracuyá (CSBM) por los 3 métodos estudiados son mayores a lo observado por (Beda M. Yapó, 2009) para maracuyá proveniente de Costa de Marfil, donde al extraer con ácido cítrico (218kDa), con ácido nítrico (172kDa) y con ácido sulfúrico (104kDa). Se resalta que el peso molecular puede variar dependiendo el método de medición empleado y el tipo de pectina (Schmidt et al., 2015).

3.5.3 Determinación Espectro Infrarrojo - Transformada de Fourier

Los espectros FT-IR de los hidrocoloides CSBM y CEC extraídos por los 3 métodos de extracción muestran unas bandas representativas. Entre las bandas comunes en los espectros (Tabla 3-15) la que está entre el rango de 3402 a 3426 cm^{-1} debido a la vibración de O-H; la banda del rango de 2920 a 2924 cm^{-1} correspondiente al estiramiento CH de los grupos CH_2 y las dos bandas que están entre 1616 a 1633 cm^{-1} y 1438 a 1442 cm^{-1} , las cuales corresponden a las vibraciones de la estructura O=C-O. Estas bandas que se pueden observar a longitud de onda de 1626 y 1420 cm^{-1} son valores del ácido poligalacturónico, las cuales no se pueden identificar con claridad en los hidrocoloides CSBM obtenido por el método 2 (Figura D-4, Anexo D) y los obtenidos por el método 3 CEC (Figura D-5, Anexo D) y CSBM (Figura D-6, Anexo D). El efecto del desplazamiento a los números de onda más altos podría ser el resultado de factores que derivan de la vecindad polimérica donde se insertan los grupos COO^- del ácido galacturónico y del estado físico de la muestra (Manrique & Lajolo, 2002).

Finalmente la banda que aparece entre 1736 \pm 15 cm^{-1} puede asignarse a la vibración del estiramiento del grupo carboxílico metil esterificado, determinara el grado de metilación de una pectina (Espinal-Ruiz, Restrepo-Sánchez, Narváez-Cuenca, & McClements, 2016; Kačuráková, Capek, Sasinková, Wellner, & Ebringerová, 2000). Para el caso del hidrocoloide CEC (Figura D-5, Anexo D) y CSBM (Figura D-6, Anexo D) obtenidos por el método 3, dicha banda no está plenamente definida.

Lo anterior confirmo el bajo contenido de pectina, bajo contenido de ácidos galacturónicos, presente en los hidrocoloides CEC y CSBM, obtenidos por el método 3, que hace que las bandas sean débiles o que no se posible identificar, posiblemente porque la pectina está en muy bajas concentraciones.

Tabla 3-15. Frecuencias e intensidades de grupos funcionales presentes en los hidrocoloides analizados por FT-IR (Gnanasambandam & Proctor, 2000)

Frecuencia (longitud de onda, cm^{-1})						Grupos funcionales
Método 1		Método 2		Método 3		
CSBM	CEC	CSBM	CEC	CSBM	CEC	
3426	3422	3413	3418	3402	3411	O-H estiramiento

2921	2920	2922	2920	2924	2922	C-H, estiramiento
1737	1738	1736	1746	1736	1751	C=O, esterificado
1633	1632	1636	1628	1616	1616	COO ⁻ , estiramiento asimétrico
1440	1447	-	1442	1438	1440	COO ⁻ , estiramiento simétrico

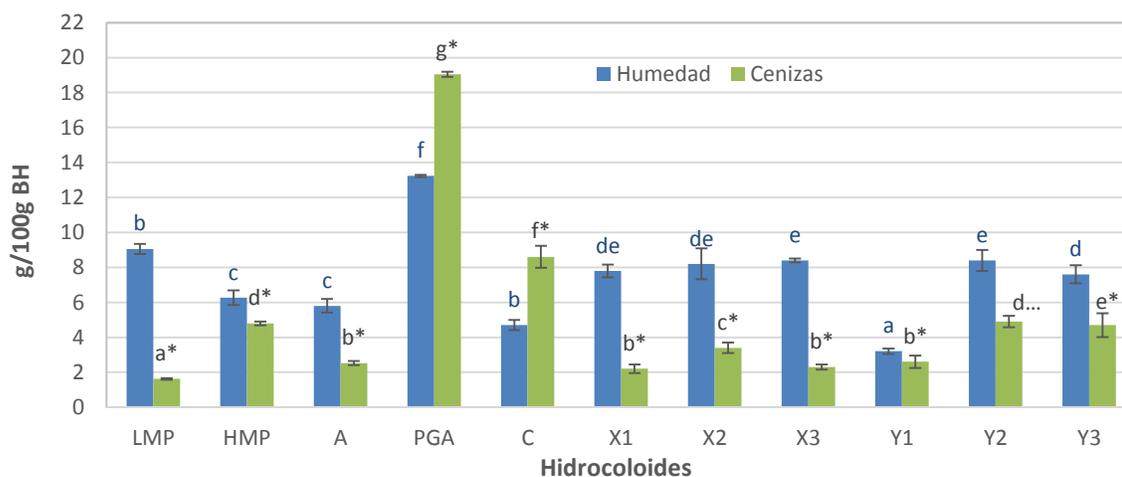
3.5.4 Comparación con pectinas

Humedad y Cenizas

En el contenido de humedad se establece que las pectinas comerciales, con excepción de ácido poligalacturónico (PGA) están dentro de lo permitido en la calidad de una pectina (FAO; *Food Chemicals Codex*, 1981), así como los hidrocoloides extraídos por los tres métodos evaluados.

En general el contenido de humedad, Figura 3-17, tanto de las pectinas comerciales, PGA y de los hidrocoloides extraídos está por encima de los valores divulgados para pectina de pulpa de remolacha (2,01%) y pectina cítrica (3,21) (Mesbahi et al., 2005).

Figura 3-17: Contenido de humedad y cenizas de 4 pectinas comerciales, un patrón y 6 hidrocoloides extraídos.



Pectinas comerciales: pectina cítrica cimpa (C); pectina de bajo metoxilo, Tic Gums (LMP); pectina alto metoxilo, Kelco (HMP); Pectina de manzana, Sigma Aldrich (A). Patrón: ácido poligalacturónico,

Sigma Aldrich (PGA). Hidrocoloide extraídos: CEC, Método 1 (X1); CEC, Método 2 (X2); CEC, Método 3 (X3); CSBM, Método 1 (Y1); CSBM, Método 2 (Y2); CSBM, Método 3 (Y3). Letras diferentes representan diferencias estadísticamente significativas. Letras con asterisco distingue Anovad diferentes entre las variables evaluadas.

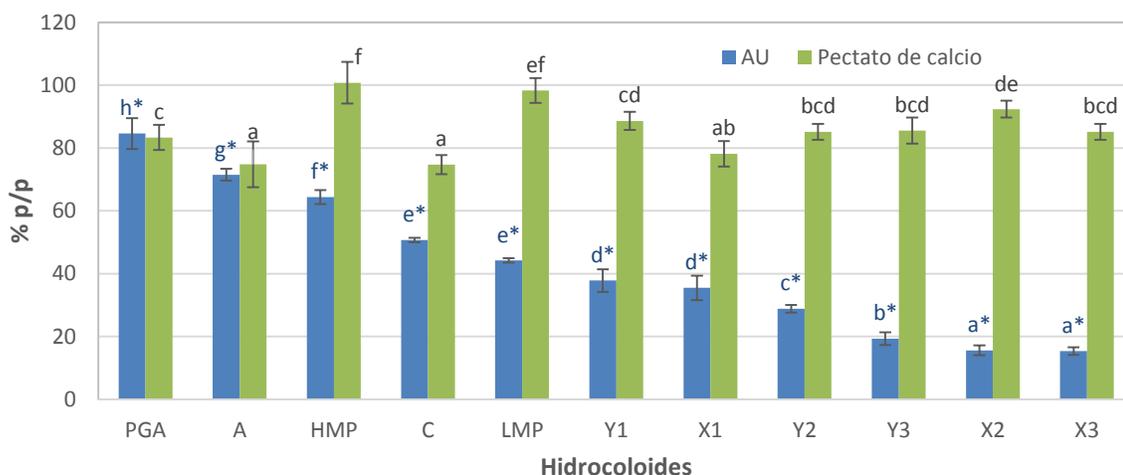
En cuanto al contenido de cenizas, Figura 3-17, los valores en los hidrocoloides se encuentran entre 1,62 a 19,04g/100g BH, contenido que está relacionado con el contenido de minerales, lo que indicaría que estos puede haber una cantidad considerable de concentración de minerales. Además estos valores están por encima de lo reportado para diferentes genotipos de papa criolla (0,5 – 1,7 g/100BH) (Melo, 2015).

Contenido de Ácidos galacturónicos (AU) y pectato de calcio

Respecto a los valores de ácidos galacturónicos, Figura 3-18, se destaca claramente como en los hidrocoloides extraídos dichos valores disminuyen drásticamente, puesto que el contenido de ácidos galacturónicos de la pectina de manzana frente a los hidrocoloides extraídos por el método 1, es hasta dos veces mayor, y hasta 4,6 veces más que los hidrocoloides extraídos por el método 3. Al igual, como ya se mencionó en párrafos anteriores, se presenta un mayor contenido en los hidrocoloides extraídos por el método 1 y un menor contenido por el método 3 (Lim et al., 2012).

Se observa que no solo los hidrocoloides extraídos no alcanzan el contenido de ácidos galacturónicos para una pectina de calidad alimentaria (Wang et al., 2016), sino también las pectinas que ya se distribuyen comercialmente como son la pectina cítrica cimpa (C) y la pectina de bajo metoxilo (LMP).

Figura 3-18: Contenido de ácidos galacturónicos y pectato de calcio de 4 pectinas comerciales, un patrón y 6 hidrocoloides extraídos.



Pectinas comerciales: pectina cítrica cimpa (**C**); pectina de bajo metoxilo, Tic Gums (**LMP**); pectina alto metoxilo, Kelco (**HMP**); Pectina de manzana, Sigma Aldrich (**A**). Patrón: ácido poligalacturónico, Sigma Aldrich (**PGA**). Hidrocoloide extraídos: CEC, Método 1 (**X1**); CEC, Método 2 (**X2**); CEC, Método 3 (**X3**); CSBM, Método 1 (**Y1**); CSBM, Método 2 (**Y2**); CSBM, Método 3 (**Y3**). Letras diferentes representan diferencias estadísticamente significativas. Letras con asterisco distingue Anovad diferentes entre las variables evaluadas.

El valor de ácidos galacturónicos de la pectina de manzana (71,5%) caracterizada, estaría dentro del rango de lo reportado por (Min et al., 2011) para piel de manzana proveniente de Korea, entre 59,3 y 85,3%, dicha variación posiblemente a las condiciones de extracción y al origen de la fruta.

El contenido de ácidos galacturónicos en los hidrocoloides extraídos es bajo en comparación a otras pectinas extraídas de frutas como Yuza (cítrico, Asia oriental) de 54,5% y 72,3% (Lim et al., 2012); Ameloirée (68,6%), Mango (70,9%) y Lima (82,1%) (Koubala et al., 2008). Pero también estarían dentro del rango de lo encontrado en Uchuva entre 15,84% y 45,27%, para Mora entre 25,39 y 52,85% (Ardila, 2007) y Remolacha 35,2% (condiciones de extracción, t:1h, T:80°C y pH:2.0) (B. M. Yapó et al., 2007)

Respecto al contenido de pectato de calcio se observa que no es una variable determinante, que permita distinguir propiedades entre los hidrocoloides extraídos CEC y CSBM por los diferentes métodos, puesto que no presentan diferencias estadísticamente

significativas. El mayor contenido es observado en la pectina comercial HMP y LMP, en comparación con el resto de hidrocoloides evaluados.

Propiedades funcionales

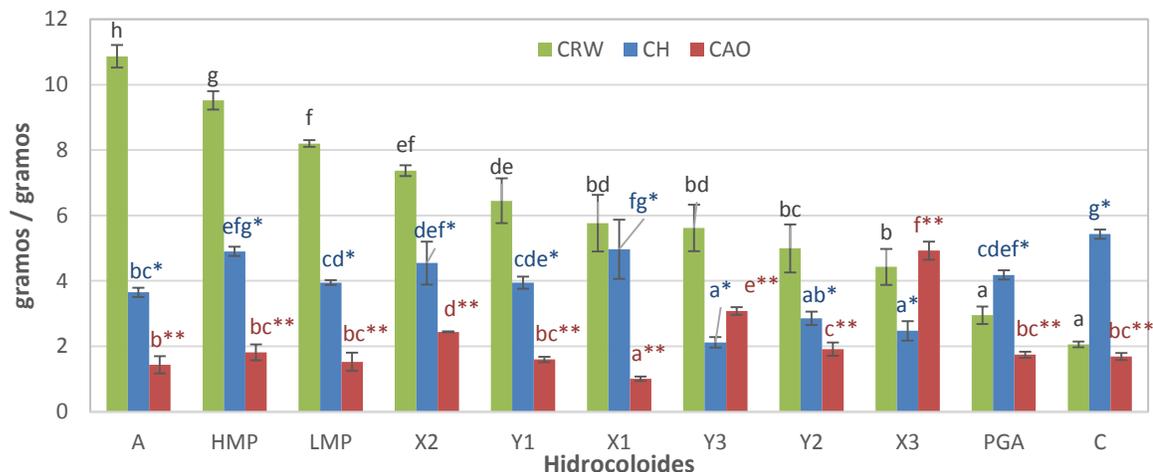
En cuanto a las propiedades funcionales, la capacidad de hinchamiento (CH) no presenta grandes diferencias, sin embargo entre algunos hidrocoloides si hay diferencias estadísticamente significativas como se aprecia en Figura 3-19, se observa que los valores de CH de los hidrocoloides están por debajo de 5 mL/g de residuo y son menores a lo reportado para fibras de cereales como trigo (7,1 mL/g) y avena (2,3 mL/g) (Baena et al., 2006), fibra de coco (20mL/g) y fibra de remolacha (50.8 mL/g) (Elleuch et al., 2011)

Respecto a la capacidad de retención de agua (CRW), se observa en la Figura 3-19 que la pectina de manzana, la de alto metoxilo, la de bajo metoxilo, presentan diferencias estadísticamente significativas y son mayores respecto a la pectina cítrica cimpa y a los hidrocoloides extraídos (Y2 y X3). Además la encontrada en pectina de manzana fue mayor a lo reportado por (Larrauri, 1999) para fibra de manzana (5,1 a 6,2 g agua /g residuo). Por lo tanto las pectinas A, HMP, y LMP por su valor de CRW es un alto indicativo de su papel fisiológico en la función intestinal y el control del nivel de azúcar en la sangre(Alfredo et al., 2009).

En general todos los hidrocoloides están por debajo de capacidad de adsorción de aceite (CAO), en comparación con otras fuentes de fibras como de guisante (6,93 g aceite/g) (Dalgetty & Baik, 2003), cáscara de papa (8,63 g aceite/g), cáscara de pera (6,89 g aceite/g) (Sharoba, Farrag, & Abd El-Salam, 2013).

Se observa en la Figura 3-19, que el valor de CAO de todos los hidrocoloides están por debajo de 2g aceite/g, con excepción de los hidrocoloides extraídos (X2, Y3, X3), por lo que la extracción posiblemente mejoraría esta propiedad respecto a las pectinas comerciales. Por lo que la mayoría de hidrocoloides por su bajo CAO podrían ser empleados como potenciales ingredientes en productos fritos que proporcionan una sensación no grasa (Alfredo et al., 2009).

Figura 3-19: Determinación de las propiedades funcionales, capacidad de retención de agua (CRW), capacidad de adsorción de aceite (CAO) y capacidad de hinchamiento (CH) en 4 pectinas comerciales, un patrón y 6 hidrocoloides extraídos.



Pectinas comerciales: pectina cítrica cimpa (**C**); pectina de bajo metoxilo, Tic Gums (**LMP**); pectina alto metoxilo, Kelco (**HMP**); Pectina de manzana, Sigma Aldrich (**A**). Patrón: ácido poligalacturónico, Sigma Aldrich (**PGA**). Hidrocoloide extraídos: CEC, Método 1 (**X1**); CEC, Método 2 (**X2**); CEC, Método 3 (**X3**); CSBM, Método 1 (**Y1**); CSBM, Método 2 (**Y2**); CSBM, Método 3 (**Y3**). Letras diferentes representan diferencias estadísticamente significativas. Letras con asterisco distingue Anova de diferentes entre las variables evaluadas.

Grado de metoxilación y acetilación

En cuanto al grado de metoxilación se puede establecer que las pectinas comerciales de manzana (A), pectina cítrica (C) y HMP, junto con los hidrocoloide extraídos CEC por el método (X2), CEC por el método 3 (X3) y CSBM por el método 2 (Y2) son consideradas pectinas de alto metoxilo, por su grado de metoxilación mayor al 50%. En cuanto a la pectina comercial LMP se confirma que es una pectina denominada de bajo metoxilo, por su grado de metoxilación mayor al 50%, al igual que los hidrocoloides extraídos CEC por el método 1 (X1), CSBM por el método 1 (Y1) y CSBM por el método 3 (Y3) (Chan & Choo, 2013).

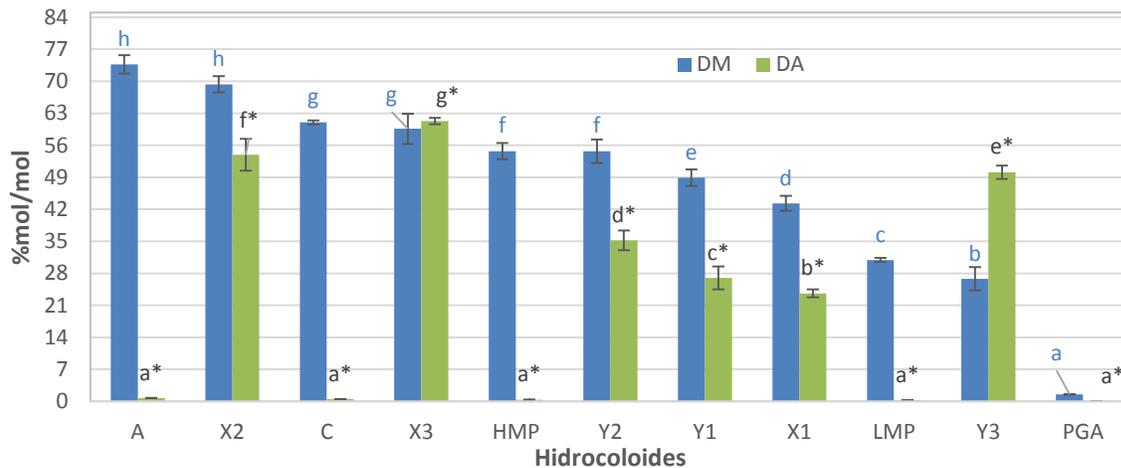
El grado de acetilación (DA) para las pectinas comerciales está por debajo de 1% , lo cual es óptimo al momento de formación de geles, puesto que muestras con grado de

acetilación entre 3,5 y 4,0% da geles débiles, el poder de gelificación es restaurado a niveles de acetilación de 2,4% de grado de acetilación (Simmaky & Jaanaki, 2014).

Para la pectina comercial manzana se obtiene un grado de metoxilación de 73,7%, alto comprado con una pectina de manzana extraída con ácido cítrico que fue del 68,8% (Canteri-Schemin, Fertoni, Waszczynskyj, & Wosiacki, 2005)

En cuanto a los hidrocoloides CEC (23,6%) y CSBM (27%) extraídos por el método 1, se observan grados de acetilación muy altos compararlos con otras pectinas extraídas también con HCl (pH 1,5) como provenientes de mango (4%), lima (4%) y la variedad de mango Améliorée (3%); al igual que para los hidrocoloides CEC (53,9%) y CSBM (35,2) extraídos por el método 2 al compararlos con las extraídas con Oxalato de amonio provenientes de mango (3%), lima (3%) y la variedad de mango Améliorée (5%)(Koubala et al., 2008).

Figura 3-20: Cantidad de grados de metoxilación (DM) y acetilación (DA) de 4 pectinas comerciales, un patrón y 6 hidrocoloides extraídos



Pectinas comerciales: pectina cítrica cimpa (**C**); pectina de bajo metoxilo, Tic Gums (**LMP**); pectina alto metoxilo, Kelco (**HMP**); Pectina de manzana, Sigma Aldrich (**A**). Patrón: ácido poligalacturónico, Sigma Aldrich (**PGA**). Hidrocoloide extraídos: CEC, Método 1 (**X1**); CEC, Método 2 (**X2**); CEC, Método 3 (**X3**); CSBM, Método 1 (**Y1**); CSBM, Método 2 (**Y2**); CSBM, Método 3 (**Y3**). Letras

diferentes representan diferencias estadísticamente significativas. Letras con asterisco distinguen Anova de diferentes entre las variables evaluadas.

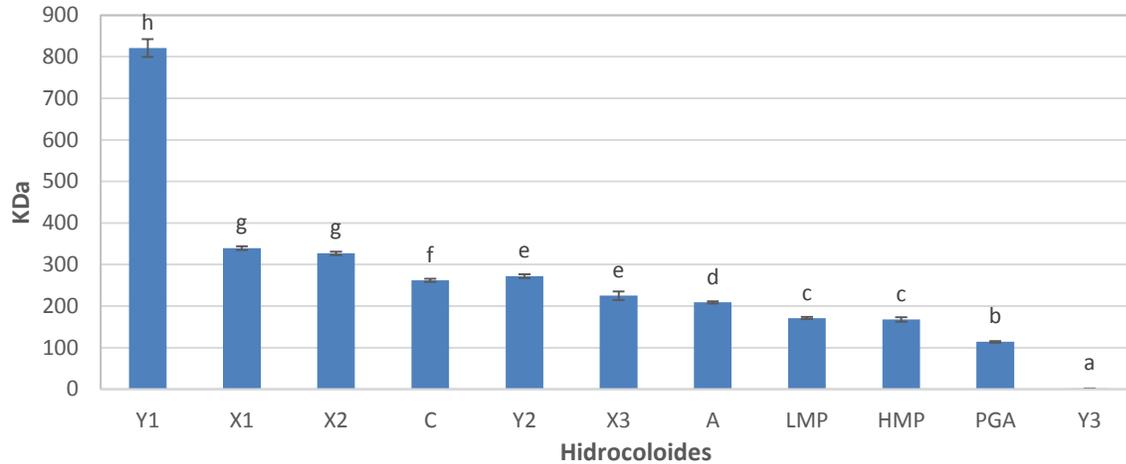
Peso molecular promedio

Respecto al peso molecular promedio de las pectinas comerciales la que mayor peso molecular promedio presenta es la pectina cítrica y la de menos peso molecular es el patrón de ácido poligalacturónico. Al comparar el peso molecular, 262kDa, de la pectina cítrica cimpa (C) es mayor al reportado por (Mesbahi et al., 2005) para una pectina cítrica comercial (153kDa), debido posiblemente a las diferencias en las condiciones de extracción y a la referencia de estándar empleado.

En cuanto a los hidrocoloides extraídos, se observan en los cromatogramas (Anexo C) curvas multimodales, evidenciando la presencia de más de una población de compuestos presentes. De acuerdo al tiempo de retención de los pululanos, es dicho pico el que se toma como referencia para determinar el tiempo de retención de los hidrocoloides ya que como se mencionó se evidencia más de un pico.

Los valores de peso molecular promedio oscilan para los hidrocoloides de maracuyá entre 2kDa a 821 kDa y para los hidrocoloides de curuba entre 225 kDa y 339 kDa, aunque estos valores pueden variar dependiendo del estándar empleado. Se observa que el de mayor peso molecular es el CSBM extraído por el método 1 y el menor es el CSBM extraído por el método 3, posiblemente porque las condiciones agresivas del método 1 hidrolizan toda la pared celular y se presentaría presencia de más de un tipo de compuesto.

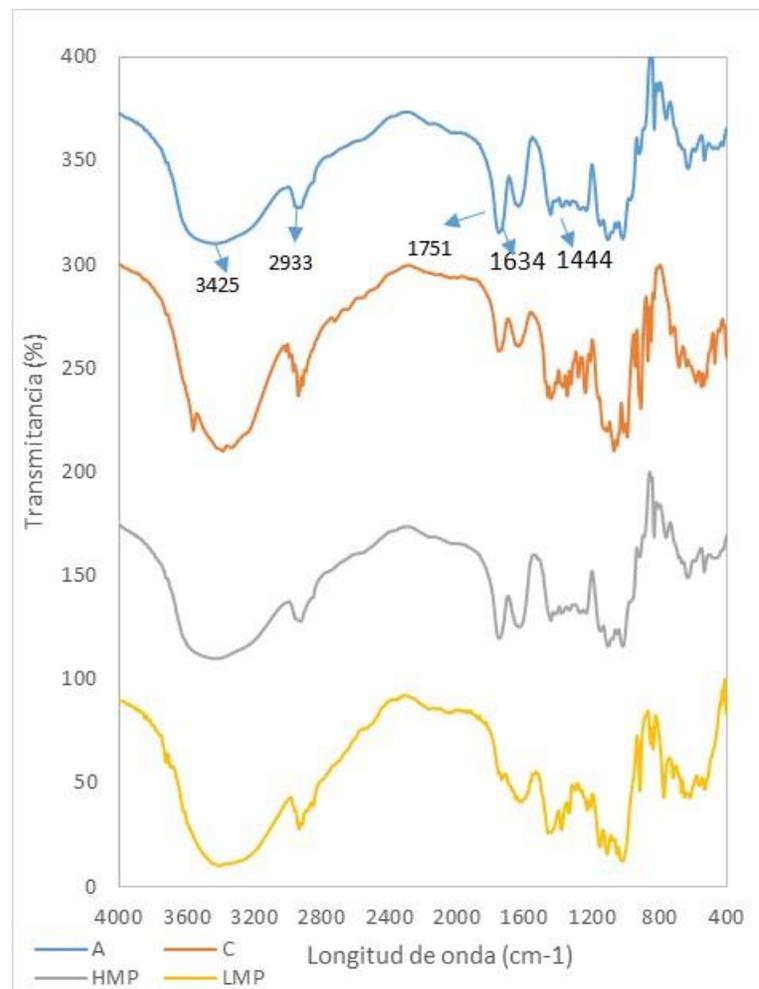
Figura 3-21: Peso molecular de 4 pectinas comerciales, un patrón y 6 hidrocoloides extraídos.



Pectinas comerciales: pectina cítrica cimpa (**C**); pectina de bajo metoxilo, Tic Gums (**LMP**); pectina alto metoxilo, Kelco (**HMP**); Pectina de manzana, Sigma Aldrich (**A**). Patrón: ácido poligalacturónico, Sigma Aldrich (**PGA**). Hidrocoloide extraídos: CEC, Método 1 (**X1**); CEC, Método 2 (**X2**); CEC, Método 3 (**X3**); CSBM, Método 1 (**Y1**); CSBM, Método 2 (**Y2**); CSBM, Método 3 (**Y3**). Letras diferentes representan diferencias estadísticamente significativas.

En los espectros (Figura 3-22), se identifican las bandas mencionadas en la Tabla 3-15. Además, se resalta la importancia de la banda que aparece entre $1751 \pm 1 \text{ cm}^{-1}$ que puede asignarse a la vibración del estiramiento del grupo carboxílico metil esterificado (también, si está presente, al ácido carboxílico protonado) y representa una característica diferencial clara entre espectros. Su intensidad estará relacionada con el grado de metilación de la pectina (Manrique & Lajolo, 2002). Así claramente se logra identificar que en la pectina LMP estas bandas desaparecen al no estar metilada la pectina en más de un 50%

Figura 3-22: Espectro infrarrojo transformada de Fourier (FT-IR) de pectina bajo metoxilo (LMP), alto metoxilo (HMP), pectina de manzana (A) y pectina cítrica cimpa (C)



4. Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones

La cáscara sin mesocarpio de curuba es rica en fibra dietaria soluble como para ser aprovechada en productos para disminuir la obesidad y la cascara total de granadilla es rica en fibra dietaria insoluble como para ser empleada en productos que ayuden con el tránsito.

Una dosis de 100g del hidrocoloide obtenido del residuo de jugo de gulupa (RJG), contribuye en un 21,2% con el requerimiento diario de fibra dietaría total en un adulto basados es una dieta de 2000Kcal/día, para ser empleado en productos alimenticios de consumo diario de fibra.

El modelo estadístico permite establecer que las variables determinadas, cenizas, rendimiento, ácidos galacturónicos, capacidad de hinchamiento, capacidad de retención de agua y capacidad de adsorción de aceite, dependen tanto del método de extracción, como de la fruta, como de la parte de la fruta.

El rendimiento fue mayor en el método clásico (con HCl) y el método químico (ácido oxálico/oxalato de amonio) y no presentan diferencia significativa con el método enzimático (Viscozyme L.)

Para todos los hidrocoloides obtenidos por los tres métodos de extracción, la cantidad de ácidos galacturónicos fue menor al 65%, por lo que el hidrocoloide extraído no posee una fracción rica en pectina.

Los hidrocoloides de mesocarpio de maracuyá y mesocarpio de granadilla, poseen buenas propiedades funcionales para ser empleados en productos cárnicos.

El contenido de pectato de calcio no es una variable determinante, que permita distinguir propiedades entre los hidrocoloides extraídos CEC y CSBM por los diferentes métodos, puesto que no presentan diferencias estadísticamente significativas.

Las pectinas comerciales (A, C, HMP y LMP) y el patrón (PGA) poseen un grado de acetilación (DA) por debajo del 1%, lo cual es óptimo al momento de formación de geles.

El espectro IR-FT permite identificar claramente el grado de metilación de la pectina y es una herramienta útil y rápida para saber si una pectina está o no metilada.

Este trabajo contribuye a incrementar el valor agregado de residuos de frutas como Curuba y Maracuyá, así como a la creación de nuevos productos para el mercado interno y la agro-exportación.

4.2 Recomendaciones

En esta investigación se observaron unos contenidos significativos de fibra dietaria soluble e insoluble, por lo cual es de gran pertinencia identificar y cuantificar los componentes que las conforman, tales como celulosa, hemicelulosa, lignina, gomas, presentes en los residuos de frutas.

Poner la puesta a punto de cada uno de los métodos de extracción evaluados para determinar las mejores condiciones por las cuales se obtiene la mayor cantidad de ácidos galacturónicos y por ende de pectina.

Determinar el contenido de proteína en los hidrocoloides obtenidos en los métodos de extracción evaluados, ya que está involucrada como interferente de los ácidos galacturónicos y puede participar en procesos de emulsificación.

Determinar el contenido de ácidos galacturónicos en los residuos de los frutos de partida con el fin de establecer la extractibilidad de los mismos luego de las extracciones evaluadas.

Determinar el contenido de los factores anti-nutricionales, tales como inhibidores de tripsina y α -amilasa, contenido de taninos, saponinas, alcaloides.

Evaluar el contenido de azúcares en cada uno de los hidrocoloides obtenidos por los métodos de extracción evaluados, establecer las diferencias de los mismos y así identificar mecanismos de hidrólisis.

Determinar el contenido de ácidos galacturónicos por cromatografía de alta resolución de intercambio aniónico, acoplada a un detector de pulso amperométrico (HPAE-PAD), puesto que es un método sensible y selectivo, sin necesidad de una derivatización.

Evaluar la capacidad de emulsificación de los hidrocoloides obtenidos y establecer las diferencias ocasionadas por las condiciones de extracción.

Establecer ensayos de viscosidad para evaluar el comportamiento de los hidrocoloides frente a este parámetro.

Realizar pruebas de reología, que permitan establecer la estabilidad de los geles, información importante a la hora del uso de las fibras extraídas.

Evaluar el comportamiento de los hidrocoloides extraídos en el proceso de digestión in vitro, para evaluar el comportamiento frente a los ácidos grasos.

A. Anexo A: Anova simple caracterización de residuos

Humedad BH por parte de fruto

ANOVA Simple - %Humedad BH por Parte Fruto

Variable dependiente: %Humedad BH

Factor: Parte Fruto

Número de observaciones: 80

Número de niveles: 20

El StatAdvisor

Este procedimiento ejecuta un análisis de varianza de un factor para %Humedad BH. Construye varias pruebas y gráficas para comparar los valores medios de %Humedad BH para los 20 diferentes niveles de Parte Fruto. La prueba-F en la tabla ANOVA determinará si hay diferencias significativas entre las medias. Si las hay, las Pruebas de Rangos Múltiples le dirán cuáles medias son significativamente diferentes de otras. Si le preocupa la presencia de valores atípicos, puede elegir la Prueba de Kruskal-Wallis la cual compara las medianas en lugar de las medias. Las diferentes gráficas le ayudarán a juzgar la significancia práctica de los resultados, así como le permitirán buscar posibles violaciones de los supuestos subyacentes en el análisis de varianza.

Tabla ANOVA para %Humedad BH por Parte Fruto

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	7943,75	19	418,092	262,61	0,0000
Intra grupos	95,523	60	1,59205		
Total (Corr.)	8039,28	79			

El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la varianza de %Humedad BH en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 262,613, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de %Humedad BH entre un nivel de Parte Fruto y otro, con un nivel del 95,0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, seleccione Pruebas de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.

Pruebas de Múltiple Rangos para %Humedad BH por Parte Fruto

Método: 95,0 porcentaje LSD

Parte Fruto	Casos	Media	Grupos Homogéneos
RJG	4	58,4516	X
RJM	4	60,2738	X
RJC	4	60,6284	X
RJGR	4	60,983	X
RJL	4	74,2888	X

CTA	4	75,0303	X
CEL	4	75,5106	X
CAG	4	80,1613	X
CSG	4	80,525	X
CTL	4	83,1459	X
CG	4	83,732	XX
ABG	4	84,3777	XXX
RJTA	4	84,6754	XXX
CEC	4	85,0736	XXX
ABM	4	85,3275	XXXX
CTM	4	85,7755	XXX
CSBM	4	86,6109	XXX
EBC	4	86,8659	XX
CTC	4	87,7174	X
EBL	4	88,2568	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
ABG - ABM		-0,949754	1,78467
ABG - CAG	*	4,21644	1,78467
ABG - CEC		-0,69593	1,78467
ABG - CEL	*	8,8671	1,78467
ABG - CG		0,645689	1,78467
ABG - CSBM	*	-2,23315	1,78467
ABG - CSG	*	3,85272	1,78467
ABG - CTA	*	9,34737	1,78467
ABG - CTC	*	-3,33968	1,78467
ABG - CTL		1,23179	1,78467
ABG - CTM		-1,39781	1,78467
ABG - EBC	*	-2,48824	1,78467
ABG - EBL	*	-3,87907	1,78467
ABG - RJC	*	23,7493	1,78467
ABG - RJG	*	25,9261	1,78467
ABG - RJGR	*	23,3947	1,78467
ABG - RJL	*	10,0889	1,78467
ABG - RJM	*	24,1039	1,78467
ABG - RJTA		-0,29767	1,78467
ABM - CAG	*	5,1662	1,78467
ABM - CEC		0,253824	1,78467
ABM - CEL	*	9,81686	1,78467
ABM - CG		1,59544	1,78467
ABM - CSBM		-1,2834	1,78467
ABM - CSG	*	4,80247	1,78467
ABM - CTA	*	10,2971	1,78467
ABM - CTC	*	-2,38992	1,78467
ABM - CTL	*	2,18154	1,78467
ABM - CTM		-0,44806	1,78467
ABM - EBC		-1,53848	1,78467
ABM - EBL	*	-2,92932	1,78467
ABM - RJC	*	24,6991	1,78467
ABM - RJG	*	26,8759	1,78467
ABM - RJGR	*	24,3444	1,78467
ABM - RJL	*	11,0386	1,78467
ABM - RJM	*	25,0537	1,78467
ABM - RJTA		0,652084	1,78467
CAG - CEC	*	-4,91237	1,78467
CAG - CEL	*	4,65066	1,78467
CAG - CG	*	-3,57075	1,78467
CAG - CSBM	*	-6,4496	1,78467

CAG - CSG		-0,363723	1,78467
CAG - CTA	*	5,13092	1,78467
CAG - CTC	*	-7,55612	1,78467
CAG - CTL	*	-2,98466	1,78467
CAG - CTM	*	-5,61426	1,78467
CAG - EBC	*	-6,70468	1,78467
CAG - EBL	*	-8,09551	1,78467
CAG - RJC	*	19,5329	1,78467
CAG - RJG	*	21,7097	1,78467
CAG - RJGR	*	19,1782	1,78467
CAG - RJL	*	5,87242	1,78467
CAG - RJM	*	19,8875	1,78467
CAG - RJTA	*	-4,51411	1,78467
CEC - CEL	*	9,56303	1,78467
CEC - CG		1,34162	1,78467
CEC - CSBM		-1,53722	1,78467
CEC - CSG	*	4,54865	1,78467
CEC - CTA	*	10,0433	1,78467
CEC - CTC	*	-2,64375	1,78467
CEC - CTL	*	1,92771	1,78467
CEC - CTM		-0,701884	1,78467
CEC - EBC	*	-1,79231	1,78467
CEC - EBL	*	-3,18314	1,78467
CEC - RJC	*	24,4452	1,78467
CEC - RJG	*	26,622	1,78467
CEC - RJGR	*	24,0906	1,78467
CEC - RJL	*	10,7848	1,78467
CEC - RJM	*	24,7999	1,78467
CEC - RJTA		0,39826	1,78467
CEL - CG	*	-8,22141	1,78467
CEL - CSBM	*	-11,1003	1,78467
CEL - CSG	*	-5,01438	1,78467
CEL - CTA		0,480263	1,78467
CEL - CTC	*	-12,2068	1,78467
CEL - CTL	*	-7,63532	1,78467
CEL - CTM	*	-10,2649	1,78467
CEL - EBC	*	-11,3553	1,78467
CEL - EBL	*	-12,7462	1,78467
CEL - RJC	*	14,8822	1,78467
CEL - RJG	*	17,059	1,78467
CEL - RJGR	*	14,5276	1,78467
CEL - RJL		1,22176	1,78467
CEL - RJM	*	15,2368	1,78467
CEL - RJTA	*	-9,16477	1,78467
CG - CSBM	*	-2,87884	1,78467
CG - CSG	*	3,20703	1,78467
CG - CTA	*	8,70168	1,78467
CG - CTC	*	-3,98537	1,78467
CG - CTL		0,586096	1,78467
CG - CTM	*	-2,0435	1,78467
CG - EBC	*	-3,13393	1,78467
CG - EBL	*	-4,52476	1,78467
CG - RJC	*	23,1036	1,78467
CG - RJG	*	25,2804	1,78467
CG - RJGR	*	22,749	1,78467
CG - RJL	*	9,44317	1,78467
CG - RJM	*	23,4582	1,78467

CG - RJTA		-0,943359	1,78467
CSBM - CSG	*	6,08587	1,78467
CSBM - CTA	*	11,5805	1,78467
CSBM - CTC		-1,10652	1,78467
CSBM - CTL	*	3,46494	1,78467
CSBM - CTM		0,835341	1,78467
CSBM - EBC		-0,255084	1,78467
CSBM - EBL		-1,64592	1,78467
CSBM - RJC	*	25,9825	1,78467
CSBM - RJG	*	28,1593	1,78467
CSBM - RJGR	*	25,6278	1,78467
CSBM - RJL	*	12,322	1,78467
CSBM - RJM	*	26,3371	1,78467
CSBM - RJTA	*	1,93548	1,78467
CSG - CTA	*	5,49465	1,78467
CSG - CTC	*	-7,1924	1,78467
CSG - CTL	*	-2,62093	1,78467
CSG - CTM	*	-5,25053	1,78467
CSG - EBC	*	-6,34096	1,78467
CSG - EBL	*	-7,73179	1,78467
CSG - RJC	*	19,8966	1,78467
CSG - RJG	*	22,0734	1,78467
CSG - RJGR	*	19,542	1,78467
CSG - RJL	*	6,23614	1,78467
CSG - RJM	*	20,2512	1,78467
CSG - RJTA	*	-4,15039	1,78467
CTA - CTC	*	-12,687	1,78467
CTA - CTL	*	-8,11558	1,78467
CTA - CTM	*	-10,7452	1,78467
CTA - EBC	*	-11,8356	1,78467
CTA - EBL	*	-13,2264	1,78467
CTA - RJC	*	14,4019	1,78467
CTA - RJG	*	16,5788	1,78467
CTA - RJGR	*	14,0473	1,78467
CTA - RJL		0,741493	1,78467
CTA - RJM	*	14,7566	1,78467
CTA - RJTA	*	-9,64504	1,78467
CTC - CTL	*	4,57146	1,78467
CTC - CTM	*	1,94186	1,78467
CTC - EBC		0,851439	1,78467
CTC - EBL		-0,539392	1,78467
CTC - RJC	*	27,089	1,78467
CTC - RJG	*	29,2658	1,78467
CTC - RJGR	*	26,7344	1,78467
CTC - RJL	*	13,4285	1,78467
CTC - RJM	*	27,4436	1,78467
CTC - RJTA	*	3,04201	1,78467
CTL - CTM	*	-2,6296	1,78467
CTL - EBC	*	-3,72002	1,78467
CTL - EBL	*	-5,11085	1,78467
CTL - RJC	*	22,5175	1,78467
CTL - RJG	*	24,6943	1,78467
CTL - RJGR	*	22,1629	1,78467
CTL - RJL	*	8,85707	1,78467
CTL - RJM	*	22,8722	1,78467
CTL - RJTA		-1,52946	1,78467
CTM - EBC		-1,09043	1,78467
CTM - EBL	*	-2,48126	1,78467

CTM - RJC	*	25,1471	1,78467
CTM - RJG	*	27,3239	1,78467
CTM - RJGR	*	24,7925	1,78467
CTM - RJL	*	11,4867	1,78467
CTM - RJM	*	25,5017	1,78467
CTM - RJTA		1,10014	1,78467
EBC - EBL		-1,39083	1,78467
EBC - RJC	*	26,2375	1,78467
EBC - RJG	*	28,4144	1,78467
EBC - RJGR	*	25,8829	1,78467
EBC - RJL	*	12,5771	1,78467
EBC - RJM	*	26,5922	1,78467
EBC - RJTA	*	2,19057	1,78467
EBL - RJC	*	27,6284	1,78467
EBL - RJG	*	29,8052	1,78467
EBL - RJGR	*	27,2738	1,78467
EBL - RJL	*	13,9679	1,78467
EBL - RJM	*	27,983	1,78467
EBL - RJTA	*	3,5814	1,78467
RJC - RJG	*	2,17681	1,78467
RJC - RJGR		-0,354626	1,78467
RJC - RJL	*	-13,6605	1,78467
RJC - RJM		0,354626	1,78467
RJC - RJTA	*	-24,047	1,78467
RJG - RJGR	*	-2,53144	1,78467
RJG - RJL	*	-15,8373	1,78467
RJG - RJM	*	-1,82218	1,78467
RJG - RJTA	*	-26,2238	1,78467
RJGR - RJL	*	-13,3058	1,78467
RJGR - RJM		0,709252	1,78467
RJGR - RJTA	*	-23,6924	1,78467
RJL - RJM	*	14,0151	1,78467
RJL - RJTA	*	-10,3865	1,78467
RJM - RJTA	*	-24,4016	1,78467

* indica una diferencia significativa.

El StatAdvisor

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 155 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 10 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

GRASa

Tabla ANOVA para grasa BH por Parte Fruto

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	720,847	19	37,9393	421,44	0,0000
Intra grupos	5,40134	60	0,0900224		
Total (Corr.)	726,248	79			

El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la varianza de grasa BH en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 421,443, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de grasa BH entre un nivel de Parte Fruto y otro, con un nivel del 95,0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, seleccione Pruebas de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.

Pruebas de Múltiple Rangos para grasa BH por Parte Fruto

Método: 95,0 porcentaje LSD

Parte Fruto	Casos	Media	Grupos Homogéneos
EBL	4	0,0312334	X
CEC	4	0,041988	XX
CSBM	4	0,0556672	XX
CTC	4	0,063225	XX
CSG	4	0,0691829	XX
EBC	3	0,0714251	XX
CAG	5	0,0960045	XX
CTL	3	0,236112	XXX
CTA	3	0,246347	XXX
CEL	3	0,317548	XXX
CG	3	0,435877	XXX
ABM	4	0,459375	XX
ABG	4	0,532675	X
CTM	4	0,584016	X
RJL	5	1,75213	X
RJTA	3	2,25812	X
RJC	3	2,30603	X
RJM	4	6,92688	X
RJG	7	7,44853	X
RJGR	6	8,45188	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
ABG - ABM		0,0733	0,424381
ABG - CAG	*	0,43667	0,402603
ABG - CEC	*	0,490687	0,424381
ABG - CEL		0,215127	0,458384
ABG - CG		0,0967975	0,458384
ABG - CSBM	*	0,477008	0,424381
ABG - CSG	*	0,463492	0,424381
ABG - CTA		0,286328	0,458384
ABG - CTC	*	0,46945	0,424381
ABG - CTL		0,296563	0,458384
ABG - CTM		-0,0513409	0,424381
ABG - EBC	*	0,46125	0,458384
ABG - EBL	*	0,501442	0,424381
ABG - RJC	*	-1,77335	0,458384
ABG - RJG	*	-6,91586	0,376173
ABG - RJGR	*	-7,91921	0,387405
ABG - RJL	*	-1,21945	0,402603
ABG - RJM	*	-6,3942	0,424381
ABG - RJTA	*	-1,72544	0,458384
ABM - CAG		0,36337	0,402603
ABM - CEC		0,417387	0,424381
ABM - CEL		0,141827	0,458384
ABM - CG		0,0234975	0,458384
ABM - CSBM		0,403708	0,424381
ABM - CSG		0,390192	0,424381

ABM - CTA		0,213028	0,458384
ABM - CTC		0,39615	0,424381
ABM - CTL		0,223263	0,458384
ABM - CTM		-0,124641	0,424381
ABM - EBC		0,38795	0,458384
ABM - EBL	*	0,428142	0,424381
ABM - RJC	*	-1,84665	0,458384
ABM - RJG	*	-6,98916	0,376173
ABM - RJGR	*	-7,99251	0,387405
ABM - RJL	*	-1,29275	0,402603
ABM - RJM	*	-6,4675	0,424381
ABM - RJTA	*	-1,79874	0,458384
CAG - CEC		0,0540165	0,402603
CAG - CEL		-0,221544	0,438299
CAG - CG		-0,339873	0,438299
CAG - CSBM		0,0403373	0,402603
CAG - CSG		0,0268216	0,402603
CAG - CTA		-0,150343	0,438299
CAG - CTC		0,0327795	0,402603
CAG - CTL		-0,140108	0,438299
CAG - CTM	*	-0,488011	0,402603
CAG - EBC		0,0245794	0,438299
CAG - EBL		0,0647711	0,402603
CAG - RJC	*	-2,21002	0,438299
CAG - RJG	*	-7,35253	0,351421
CAG - RJGR	*	-8,35588	0,363418
CAG - RJL	*	-1,65612	0,379578
CAG - RJM	*	-6,83088	0,402603
CAG - RJTA	*	-2,16211	0,438299
CEC - CEL		-0,27556	0,458384
CEC - CG		-0,393889	0,458384
CEC - CSBM		-0,0136792	0,424381
CEC - CSG		-0,0271949	0,424381
CEC - CTA		-0,204359	0,458384
CEC - CTC		-0,021237	0,424381
CEC - CTL		-0,194124	0,458384
CEC - CTM	*	-0,542028	0,424381
CEC - EBC		-0,0294371	0,458384
CEC - EBL		0,0107546	0,424381
CEC - RJC	*	-2,26404	0,458384
CEC - RJG	*	-7,40654	0,376173
CEC - RJGR	*	-8,40989	0,387405
CEC - RJL	*	-1,71014	0,402603
CEC - RJM	*	-6,88489	0,424381
CEC - RJTA	*	-2,21613	0,458384
CEL - CG		-0,118329	0,490033
CEL - CSBM		0,261881	0,458384
CEL - CSG		0,248365	0,458384
CEL - CTA		0,0712012	0,490033
CEL - CTC		0,254323	0,458384
CEL - CTL		0,0814362	0,490033
CEL - CTM		-0,266468	0,458384
CEL - EBC		0,246123	0,490033
CEL - EBL		0,286315	0,458384
CEL - RJC	*	-1,98848	0,490033
CEL - RJG	*	-7,13098	0,414153
CEL - RJGR	*	-8,13433	0,424381

CEL - RJL	*	-1,43458	0,438299
CEL - RJM	*	-6,60933	0,458384
CEL - RJTA	*	-1,94057	0,490033
CG - CSBM		0,38021	0,458384
CG - CSG		0,366695	0,458384
CG - CTA		0,18953	0,490033
CG - CTC		0,372652	0,458384
CG - CTL		0,199765	0,490033
CG - CTM		-0,148138	0,458384
CG - EBC		0,364452	0,490033
CG - EBL		0,404644	0,458384
CG - RJC	*	-1,87015	0,490033
CG - RJG	*	-7,01265	0,414153
CG - RJGR	*	-8,016	0,424381
CG - RJL	*	-1,31625	0,438299
CG - RJM	*	-6,491	0,458384
CG - RJTA	*	-1,82224	0,490033
CSBM - CSG		-0,0135157	0,424381
CSBM - CTA		-0,19068	0,458384
CSBM - CTC		-0,00755775	0,424381
CSBM - CTL		-0,180445	0,458384
CSBM - CTM	*	-0,528349	0,424381
CSBM - EBC		-0,0157579	0,458384
CSBM - EBL		0,0244338	0,424381
CSBM - RJC	*	-2,25036	0,458384
CSBM - RJG	*	-7,39286	0,376173
CSBM - RJGR	*	-8,39621	0,387405
CSBM - RJL	*	-1,69646	0,402603
CSBM - RJM	*	-6,87121	0,424381
CSBM - RJTA	*	-2,20245	0,458384
CSG - CTA		-0,177164	0,458384
CSG - CTC		0,00595794	0,424381
CSG - CTL		-0,166929	0,458384
CSG - CTM	*	-0,514833	0,424381
CSG - EBC		-0,00224218	0,458384
CSG - EBL		0,0379495	0,424381
CSG - RJC	*	-2,23685	0,458384
CSG - RJG	*	-7,37935	0,376173
CSG - RJGR	*	-8,3827	0,387405
CSG - RJL	*	-1,68295	0,402603
CSG - RJM	*	-6,8577	0,424381
CSG - RJTA	*	-2,18894	0,458384
CTA - CTC		0,183122	0,458384
CTA - CTL		0,0102349	0,490033
CTA - CTM		-0,337669	0,458384
CTA - EBC		0,174922	0,490033
CTA - EBL		0,215114	0,458384
CTA - RJC	*	-2,05968	0,490033
CTA - RJG	*	-7,20218	0,414153
CTA - RJGR	*	-8,20554	0,424381
CTA - RJL	*	-1,50578	0,438299
CTA - RJM	*	-6,68053	0,458384
CTA - RJTA	*	-2,01177	0,490033
CTC - CTL		-0,172887	0,458384
CTC - CTM	*	-0,520791	0,424381
CTC - EBC		-0,00820012	0,458384
CTC - EBL		0,0319916	0,424381
CTC - RJC	*	-2,2428	0,458384

CTC - RJG	*	-7,38531	0,376173
CTC - RJGR	*	-8,38866	0,387405
CTC - RJL	*	-1,6889	0,402603
CTC - RJM	*	-6,86365	0,424381
CTC - RJTA	*	-2,19489	0,458384
CTL - CTM		-0,347904	0,458384
CTL - EBC		0,164687	0,490033
CTL - EBL		0,204879	0,458384
CTL - RJC	*	-2,06992	0,490033
CTL - RJG	*	-7,21242	0,414153
CTL - RJGR	*	-8,21577	0,424381
CTL - RJL	*	-1,51602	0,438299
CTL - RJM	*	-6,69077	0,458384
CTL - RJTA	*	-2,02201	0,490033
CTM - EBC	*	0,512591	0,458384
CTM - EBL	*	0,552782	0,424381
CTM - RJC	*	-1,72201	0,458384
CTM - RJG	*	-6,86451	0,376173
CTM - RJGR	*	-7,86787	0,387405
CTM - RJL	*	-1,16811	0,402603
CTM - RJM	*	-6,34286	0,424381
CTM - RJTA	*	-1,6741	0,458384
EBC - EBL		0,0401917	0,458384
EBC - RJC	*	-2,2346	0,490033
EBC - RJG	*	-7,37711	0,414153
EBC - RJGR	*	-8,38046	0,424381
EBC - RJL	*	-1,6807	0,438299
EBC - RJM	*	-6,85545	0,458384
EBC - RJTA	*	-2,18669	0,490033
EBL - RJC	*	-2,2748	0,458384
EBL - RJG	*	-7,4173	0,376173
EBL - RJGR	*	-8,42065	0,387405
EBL - RJL	*	-1,7209	0,402603
EBL - RJM	*	-6,89565	0,424381
EBL - RJTA	*	-2,22689	0,458384
RJC - RJG	*	-5,1425	0,414153
RJC - RJGR	*	-6,14585	0,424381
RJC - RJL	*	0,553901	0,438299
RJC - RJM	*	-4,62085	0,458384
RJC - RJTA		0,04791	0,490033
RJG - RJGR	*	-1,00335	0,333901
RJG - RJL	*	5,6964	0,351421
RJG - RJM	*	0,521651	0,376173
RJG - RJTA	*	5,19041	0,414153
RJGR - RJL	*	6,69975	0,363418
RJGR - RJM	*	1,525	0,387405
RJGR - RJTA	*	6,19376	0,424381
RJL - RJM	*	-5,17475	0,402603
RJL - RJTA	*	-0,505991	0,438299
RJM - RJTA	*	4,66876	0,458384

* indica una diferencia significativa.

El StatAdvisor

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 113 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 8 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre

aquellos niveles que compartan una misma columna de X 's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

B. Anexo B: Cromatogramas metoxilaciones y acetilaciones

Para todos los cromatogramas las condiciones cromatograficas fueron las siguientes:

Columna: Aminex HPX-67H - 300mmID X 7,8mmL,

Fase movil: ácido sulfúrico 0,004M,

Tiempo de corrida: 45 min, Flujo: 0,6mL/min,

Temperatura: 40°C,

Presión de trabajo: 6,0 MPa,

Detector: RID-10A SHIMADZU

Figura B-4-1: Perfil cromatografico obtenido para el hidrocoloide extraído por el método 1 de cáscara sin mesocarpio de curuba (CEC). Ac: ácido acético, MeOH: Metanol

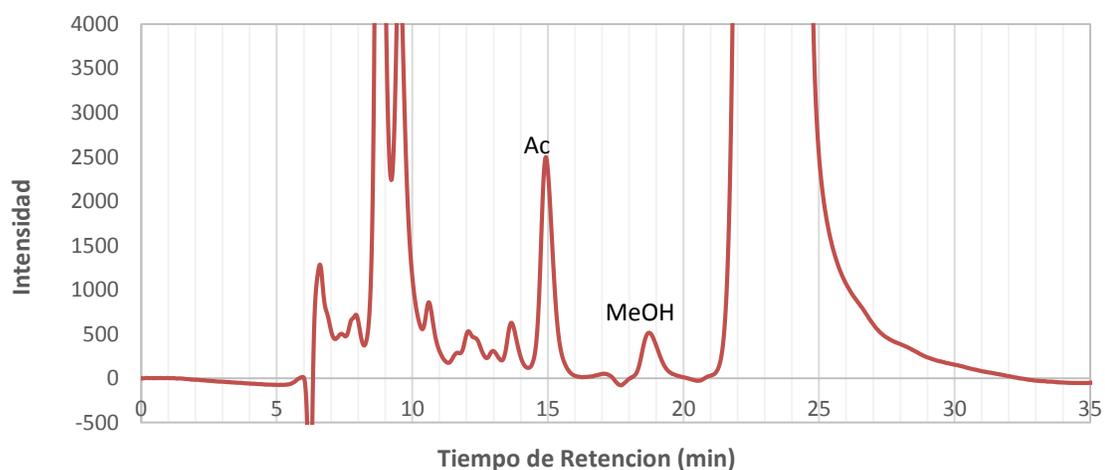


Figura B-4-2: Perfil cromatográfico obtenido para el hidrocoloide extraído por el método 2 de cáscara sin mesocarpio de curuba (CEC). Ac: ácido acético, MeOH: Metanol

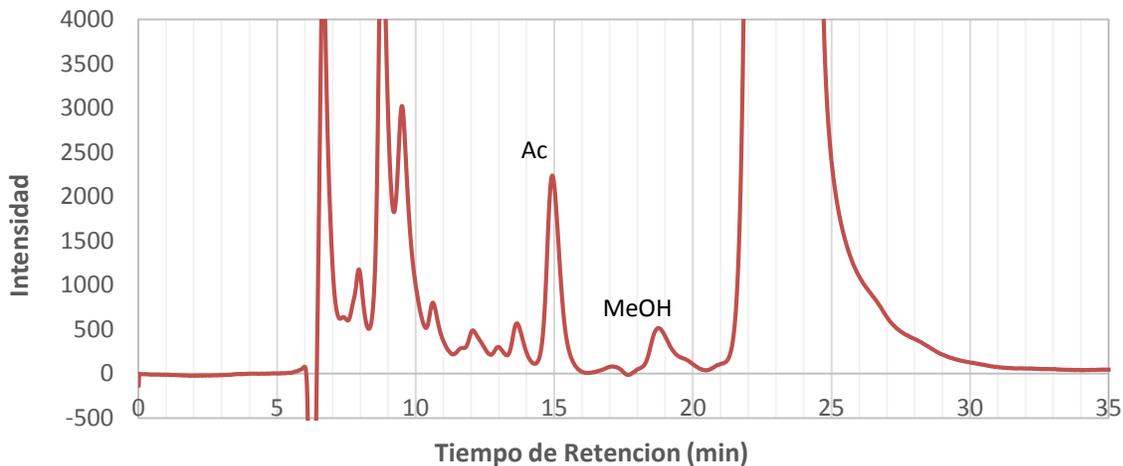


Figura B-4-3: Perfil cromatográfico para el hidrocoloide extraído por el método 3 de cáscara sin mesocarpio de curuba (CEC). Ac: ácido acético, MeOH: Metanol

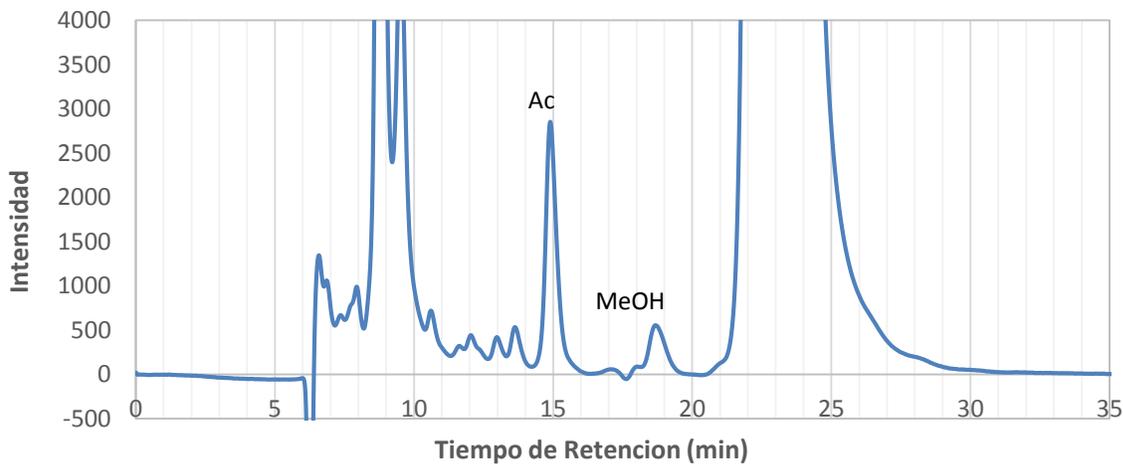


Figura B-4-4: Perfil cromatográfico obtenido para el hidrocólido extraído por el método 1 de Cáscara sin mesocarpio de maracuyá (CSBM). Ac: ácido acético, MeOH: Metanol

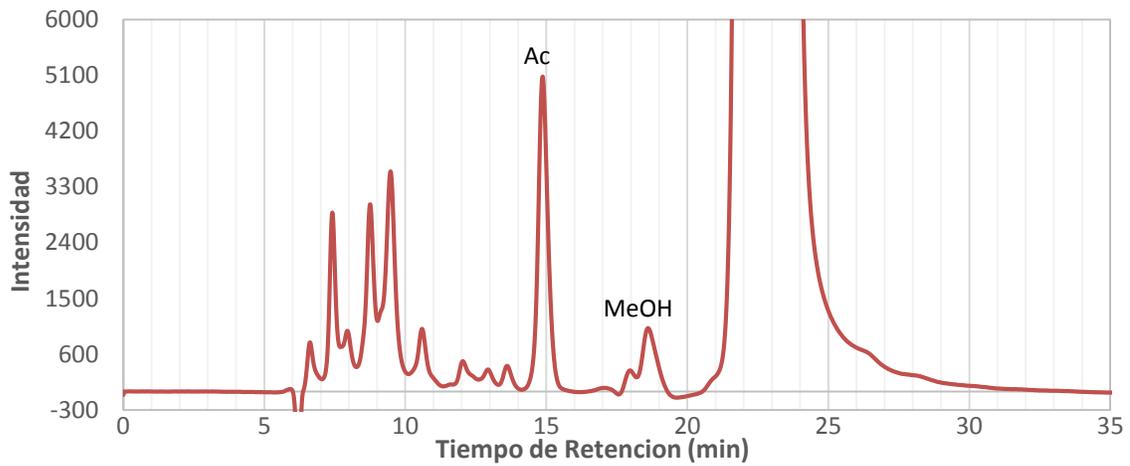


Figura B-4-5: Perfil cromatográfico obtenido para el hidrocólido extraído por el método 2 de Cáscara sin mesocarpio de maracuyá (CSBM). Ac: ácido acético, MeOH: Metanol

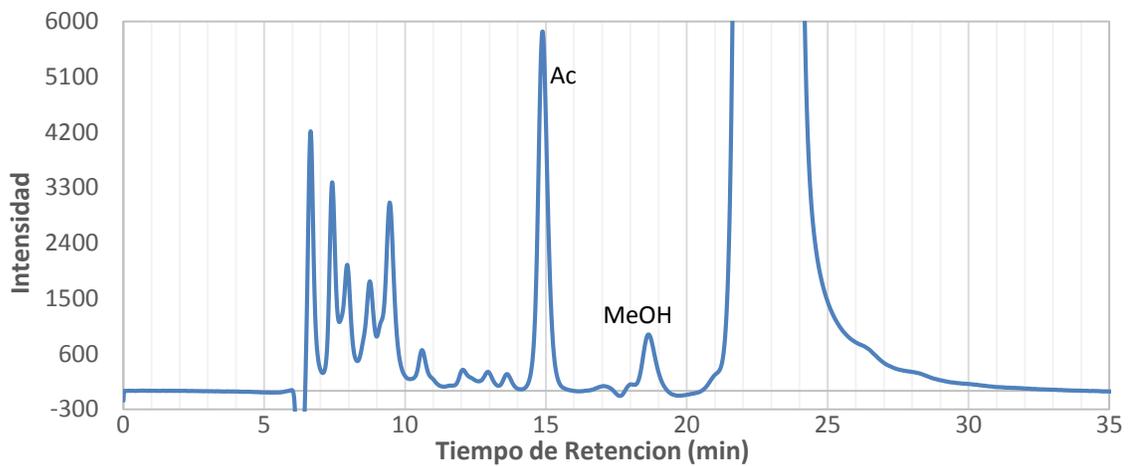
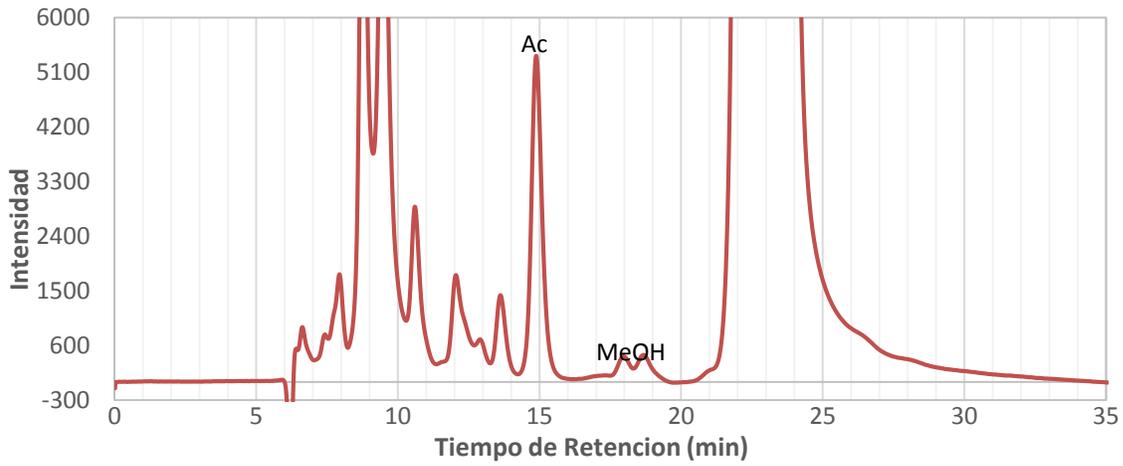


Figura B-4-6: Perfil cromatográfico obtenido para el hidrocoloide extraído por el método 3 de cáscara sin mesocarpio de maracuyá (CSBM). Ac: ácido acético, MeOH: Metanol



C. Anexo C: Cromatogramas peso molecular

Para todos los cromatogramas las condiciones cromatograficas son:

Columna: OHpak SB-806M HQ (8,0 mm x 300 mm, Shoko America Inc., Torrance, CA),

Fase móvil: nitrato de sodio 0,05 M,

Volumen de inyección: 20 μ L,

Tiempo de corrida: 25 min,

Flujo: 1,0mL/min,

Temperatura: 20°C,

Detector: RID-10A SHIMADZU

Figura C-1: Perfil cromatografico obtenido para el hidocoloide extraído por el método 1 de cáscara sin mesocarpio de curuba (CEC)

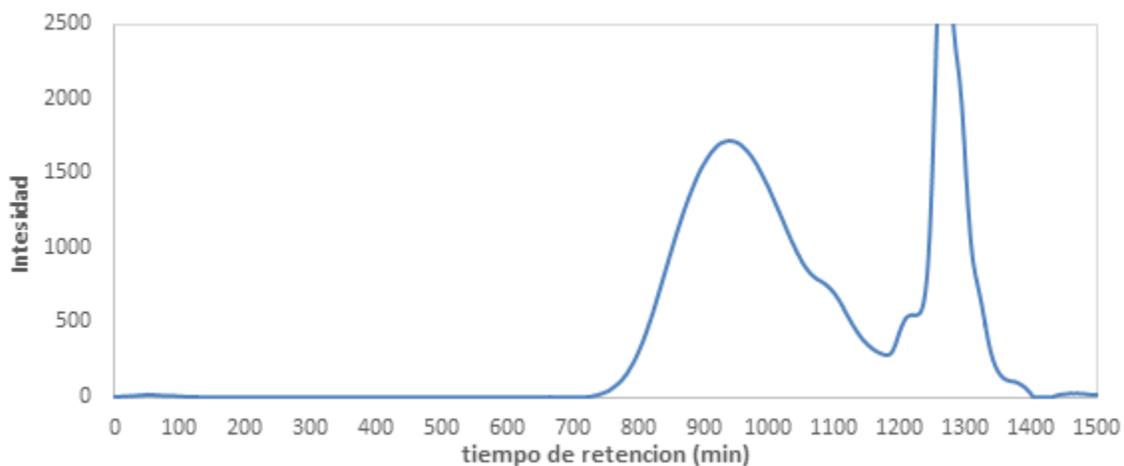


Figura C-2: Perfil cromatografico obtenido para el hidrocoloide extraído por el método 1 de Cáscara sin mesocarpio de maracuyá (CSBM)

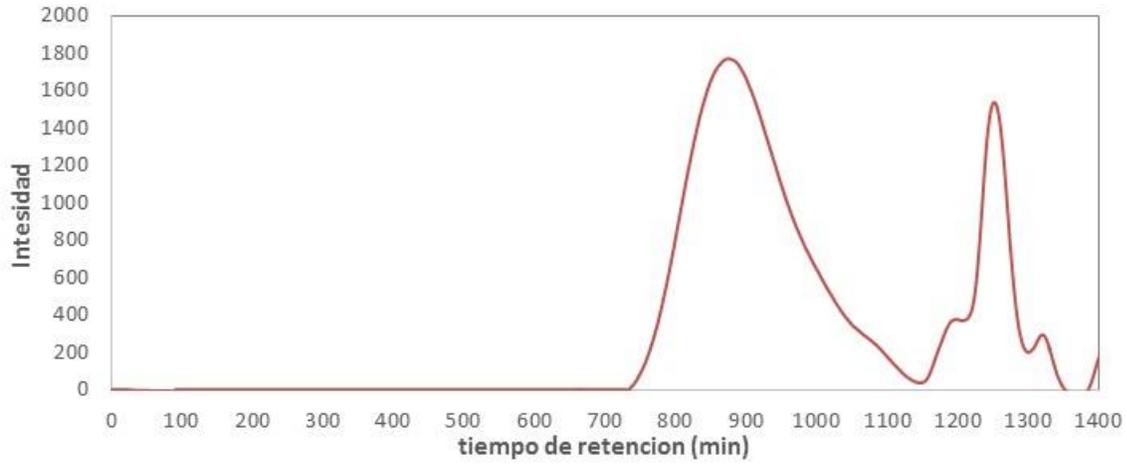


Figura C-3: Perfil cromatografico obtenido para el hidrocoloide extraído por el método 2 de cáscara sin mesocarpio de curuba (CEC)

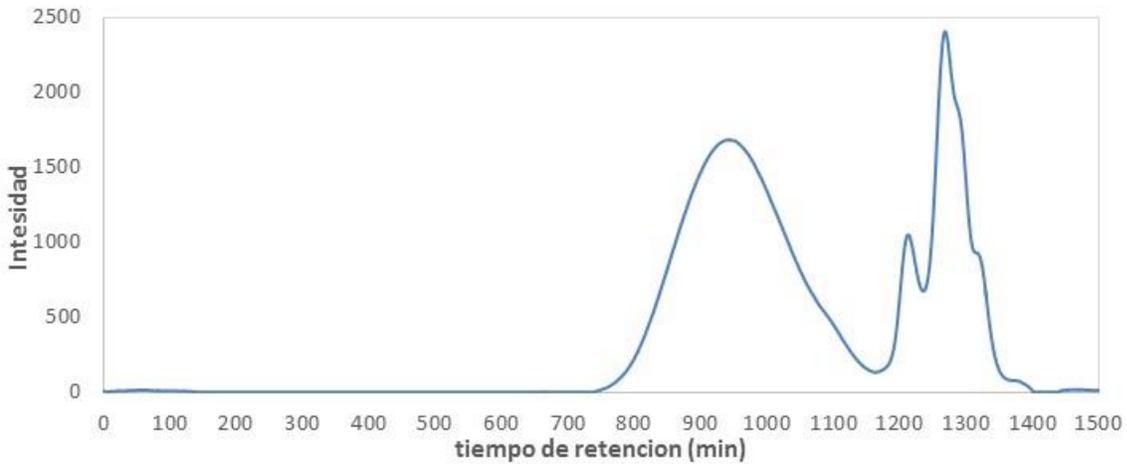


Figura C-4: Perfil cromatografico obtenido para el hidocoloide extraído por el método 2 de Cáscara sin mesocarpio de maracuyá (CSBM)

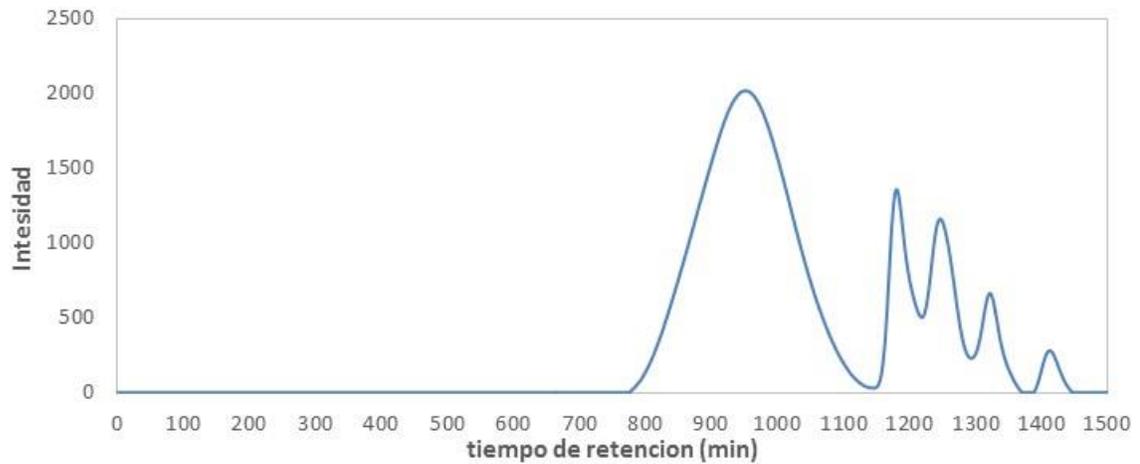
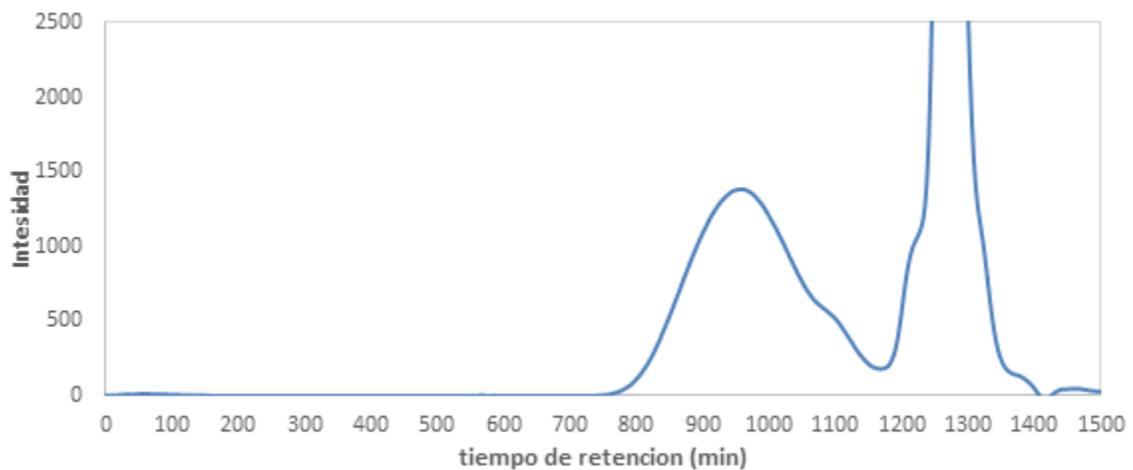


Figura C-5: Perfil cromatografico obtenido para el hidocoloide extraído por el método 3 de cáscara sin mesocarpio de curuba (CEC)



D. Anexo D: Espectros IR-FT

Figura D-1: Espectro Infrarrojo Transformada de Fourier (FT-IR) del hidrocoloide extraído por el método 1 de cáscara sin mesocarpio de curuba (CEC).

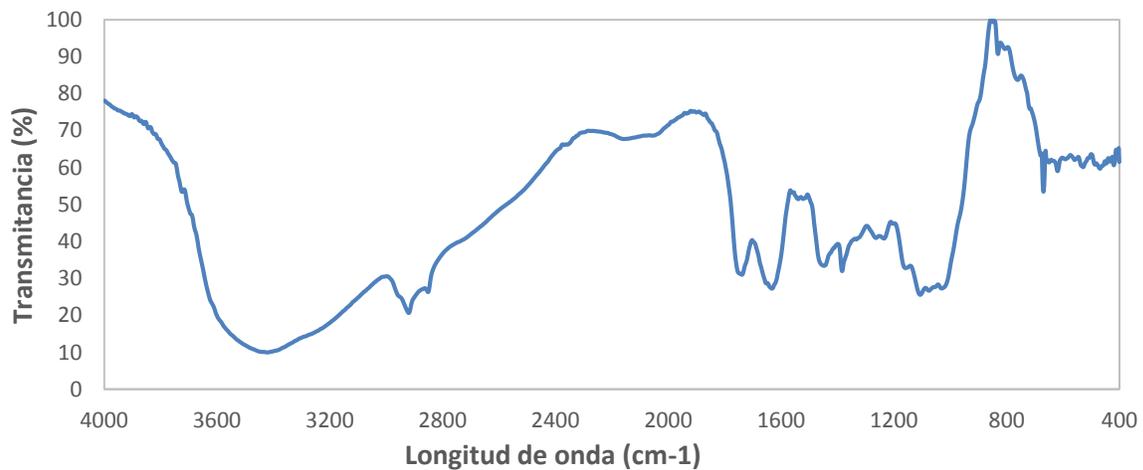


Figura D-2: Espectro Infrarrojo Transformada de Fourier (FT-IR) del hidrocoloide extraído por el método 2 de cáscara sin mesocarpio de curuba (CEC).

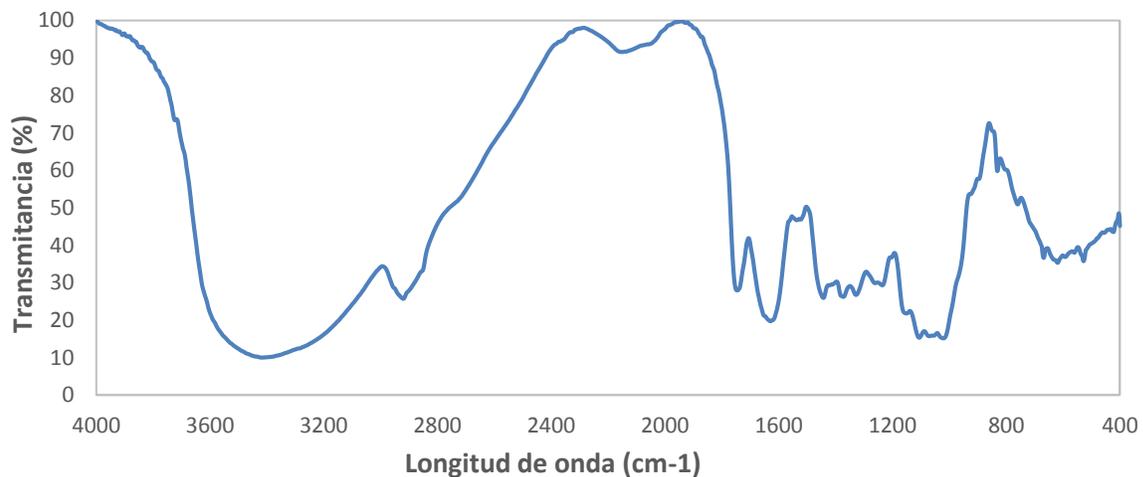


Figura D-3: Espectro Infrarrojo Transformada de Fourier (FT-IR) del el hidocoloide extraído por el método 3 de cáscara sin mesocarpio de curuba (CEC).

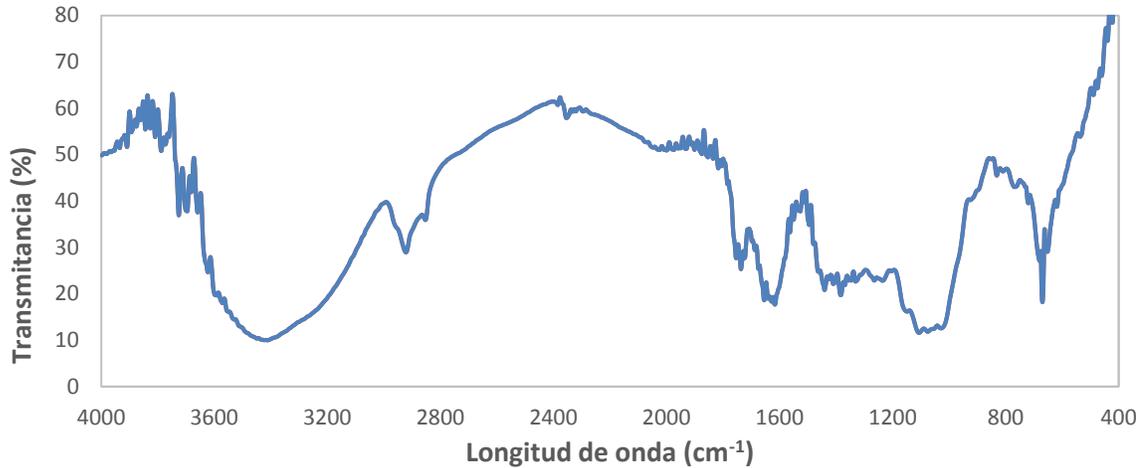


Figura D-4: Espectro Infrarrojo Transformada de Fourier (FT-IR) del hidocoloide extraído por el método 1 de Cáscara sin mesocarpio de maracuyá (CSBM).

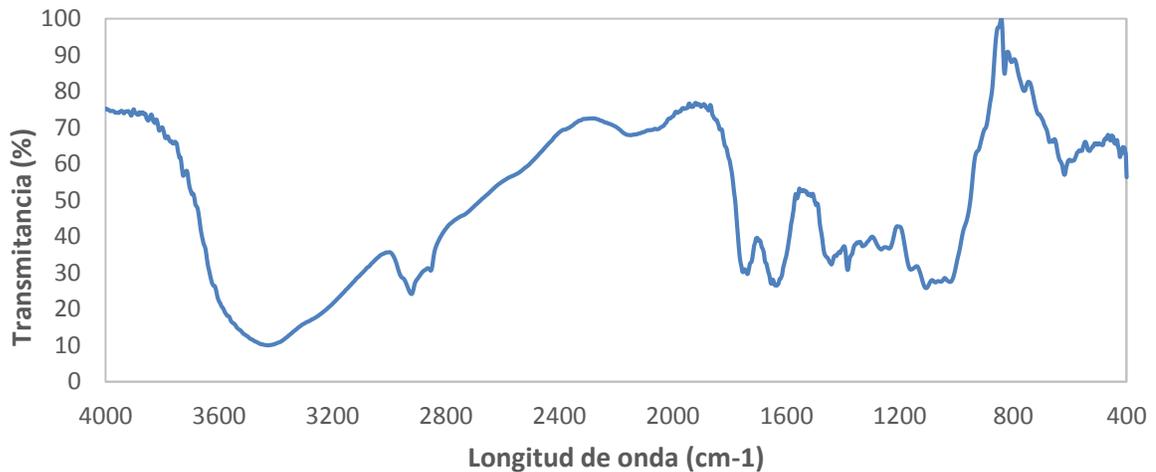


Figura D-5: Espectro Infrarrojo Transformada de Fourier (FT-IR) del hidocoloide extraído por el método 2 de Cáscara sin mesocarpio de maracuyá (CSBM).

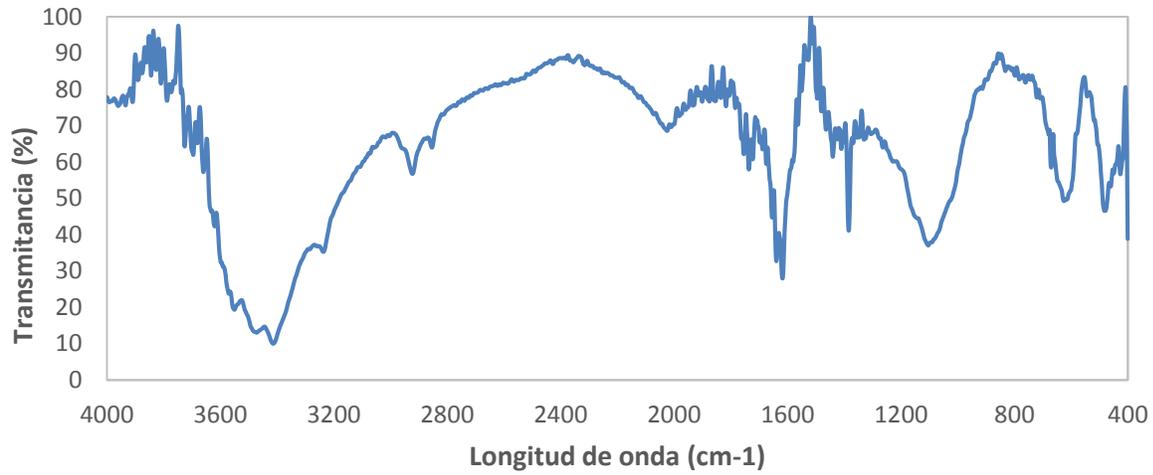
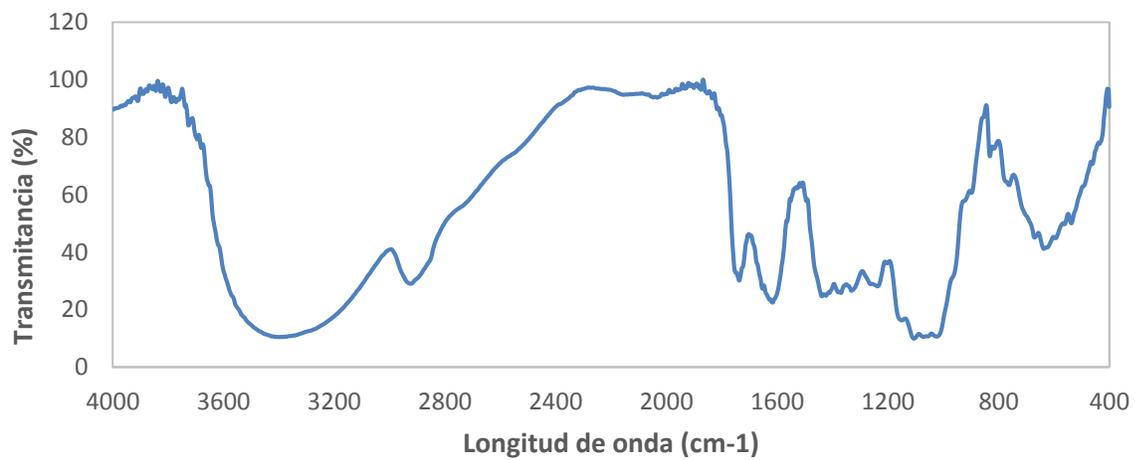


Figura D-6: Espectro Infrarrojo Transformada de Fourier (FT-IR) del hidrocoloide extraído por el método 3 de cáscara sin mesocarpio de maracuyá (CSBM).



E. Anexo: Curvas de calibración

Tabla E-4-1: Curvas de Calibración

Método	Curva de calibración
Ácido galacturónico	$Y=0,00923x+0,02059$ $r^2=0,994$
Metoxilaciones y acetilaciones (metanol y ácido acético)	$Y=1283,1x$ $r^2=0,995$ (CH ₃ OH)
	$Y=1192x$ $r^2=0,989$ (CH ₃ OH)
	$Y=7573x$ $r^2=0,995$ (CH ₃ COOH) $Y=27570x$ $r^2=0,997$ (CH ₃ COOH)
Peso molecular (estándares de pululanos 342Da a 366000Da)	$Y=-1,1803x+14,832$ $r^2=0,997$

F. Anexo: Divulgación de los resultados

Artículo publicado

Mayra A. Quintero, Luz P. Restrepo, "Obtención de Pectina de Algunos Residuos de la Industria Frutícola". Colombia. Revista Facultad Nacional De Agronomía – Medellín. ISSN: 0304-2847. Universidad Nacional de Colombia v.67 fasc. p.1196 - 1199, 2014

Participación en eventos

II Congreso Internacional de investigación e innovación en ingeniería, ciencia y tecnología de alimentos, ICTA 2014, Medellín, Colombia. Modalidad: Poster. Título: Obtención de pectina de algunos residuos de la industria frutícola. Quintero M.; Restrepo L.

XX congreso chileno de ciencia y tecnología de los alimentos, Chillan, Chile, 2015 Modalidad: Poster. Título: Obtención de pectina de algunos residuos de la industria frutícola. Quintero M.; Restrepo L.; Narváez C.

Bibliografía

- Abzueta, C. I. D. (2012). *Extracción de Pectina de Alto Metoxilo a Partir de Cáscara de Parchita para la Producción de Mermelada*. Universidad de los Andes, Mérida Edo Mérida.
- Addosio, R. D., Páez, G., Marín, M., Mármol, Z., & Ferrer, J. (2005). Obtención y caracterización de pectina a partir de la cáscara de parchita (*Passiflora edulis f. flavicarpa* Degener). *Revista de la Facultad de Agronomía*, 22(3): 240-249.
- Alfredo, V.-O., Gabriel, R.-R., Luis, C.-G., & David, B.-A. (2009). Physicochemical properties of a fibrous fraction from chia (*Salvia hispanica* L.). *LWT - Food Science and Technology*, 42(1), 168-173. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2008.05.012>
- Andersson, R., Westerlund, E., Aman, P., & Eliasson, A. (2006). Cell-wall polysaccharides: Structural, chemical, and analytical aspects. *FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY-NEW YORK-MARCEL DEKKER-*, 159, 129.
- Ardila, S. F. (2007). *Pectinas: aislamiento, caracterización y producción a partir de frutas tropicales y de los residuos de su procesamiento industrial* (primera ed.). Universidad Nacional de Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Departamento de Farmacia.
- Ayala-Zavala, J. F., Vega-Vega, V., Rosas-Domínguez, C., Palafox-Carlos, H., Villa-Rodríguez, J. A., Siddiqui, M. W., . . . González-Aguilar, G. A. (2011). Agro-industrial potential of exotic fruit byproducts as a source of food additives. *Food Research International*, 44(7), 1866-1874. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2011.02.021>
- Badui Dergal, S. (2006). *Química de los alimentos*. México: Alhambra Mexicana.
- Baena, L. M., Cardona, N. A. G., Díaz, C., Zuluaga, C., Morales, C., & Quicazan, M. (2006). Caracterización fisicoquímica y funcional de tres concentrados comerciales de fibra dietaria.
- Bertin, C., Rouau, X., & Thibault, J.-F. (1988). Structure and properties of sugar beet fibres. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 44(1), 15-29. doi: 10.1002/jsfa.2740440104
- Blumenkrantz, N., & Asboe-Hansen, G. (1973). New method for quantitative determination of uronic acids. *Analytical Biochemistry*, 54(2), 484-489. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0003-2697\(73\)90377-1](http://dx.doi.org/10.1016/0003-2697(73)90377-1)

- Canteri-Schemin, M. H., Fertoni, H. C. R., Waszczyński, N., & Wosiacki, G. (2005). Extraction of pectin from apple pomace. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 48, 259-266.
- Carvajal-de Pabón, L. M., Turbay, S., Álvarez, L. M., Rodríguez, A., Álvarez, J. M., Bonilla, K., . . . Parra, M. (2014). Relación entre los usos populares de la granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) y su composición fitoquímica. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 12, 185-196.
- Córdoba, K. R. V., Gama, T. M. M. T. B., Winter, C. M. G., Nieto, G. K., & Feitas, R. J. S. d. (2005). Características físico-químicas da casca do maracujá amarelo (*Passiflora edulis* Flavicarpa Degener) obtida por secagem. *B. CEPPA*, 23(2), 221-230.
- Cruz-Salazar, M. (2002). *Caracterización del residuo fibroso obtenido de la cáscara de maracujá Passiflora edulis Flavicarpa Degener* (pp. 37–56). Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Yucatán, México.
- Cubero, N., Monferrer, A., & Villalta, J. (2002). *Aditivos alimentarios*. España, Madrid: Mundi-prensa libros.
- Cubides, C. A. B. (2007). *Extracción de pectina de la guayaba (Psidium guajava) a escala de planta piloto*. (Especialización en ciencia y tecnología de alimentos), Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- C. Carranza, S. Cultivo, D. Miranda, G. Fischer, Magnitskiy, F. Casierra, W. Piedrahíta & L. E. Flórez (2009). *Cultivo, poscosecha y comercialización de las pasifloráceas en Colombia: maracujá, granadilla, gulupa y curuba*. (Eds.),
- Chan, S.-Y., & Choo, W.-S. (2013). Effect of extraction conditions on the yield and chemical properties of pectin from cocoa husks. *Food Chemistry*, 141(4), 3752-3758. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.06.097>
- Chaparro Diana, Franco M. Camila, Urango L. Amparo. (2014). Características nutricionales y antioxidantes de la fruta curuba larga (*Passiflora mollissima* Bailey). *Perspectivas en Nutrición Humana*, 16, 203-212.
- Dalgetty, D. D., & Baik, B.-K. (2003). Isolation and characterization of cotyledon fibers from peas, lentils, and chickpeas. *Cereal Chemistry*, 80(3), 310-315.
- El cultivo del lulo (*Solanum quitoense*), una fruta agradable y de gran valor nutritivo. (2014). *Boletín mensual INSUMOS Y FACTORES ASOCIADOS A LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA*, 64. https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/insumos_factores_de_produccion_may_2014.pdf
- Elleuch, M., Bedigian, D., Roiseux, O., Besbes, S., Blecker, C., & Attia, H. (2011). Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review. *Food Chemistry*, 124(2), 411-421. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.06.077>
- Encuesta Nacional de Situación Nutricional en Colombia. (2010). Retrieved October, 2016, from http://www.icbf.gov.co/portal/page/portal/PortalICBF/bienestar/nutricion/ens_in

- Espinal-Ruiz, M., Parada-Alfonso, F., Restrepo-Sánchez, L.-P., Narváez-Cuenca, C.-E., & McClements, D. J. (2014). Interaction of a Dietary Fiber (Pectin) with Gastrointestinal Components (Bile Salts, Calcium, and Lipase): A Calorimetry, Electrophoresis, and Turbidity Study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *62*(52), 12620-12630. doi: 10.1021/jf504829h
- Espinal-Ruiz, M., Restrepo-Sánchez, L.-P., Narváez-Cuenca, C.-E., & McClements, D. J. (2016). Impact of pectin properties on lipid digestion under simulated gastrointestinal conditions: comparison of citrus and banana passion fruit (*Passiflora tripartita* var. *mollissima*) pectins. *Food Hydrocolloids*, *52*, 329-342.
- FAO. Pectins. 2011, from <http://www.fao.org/aq/agn/jecfa-additives/specs/monograph7/additive-306-m7.pdf>
- Fernández-López, J., Sendra-Nadal, E., Navarro, C., Sayas, E., Viuda-Martos, M., & Alvarez, J. A. P. (2009). Storage stability of a high dietary fibre powder from orange by-products. *International Journal of Food Science & Technology*, *44*(4), 748-756. doi: 10.1111/j.1365-2621.2008.01892.x
- Food Chemicals Codex* (1981). Vol. 2-3. A. o. L. Sciences, F. N. Board, C. o. C. Specifications, N. R. Council & C. o. F. C. Codex (Eds.), *Monographs* (pp. 215-217). Retrieved from <https://books.google.com.co/books?id=2GErAAAAYAAJ>
- Forero, D. P., Carriazo, J. G., & Osorio, C. (2015). Effect of Different Drying Methods on Morphological, Thermal, and Biofunctional Properties of Lulo (*Solanum quitoense* Lam.) Fruit Powders. *Drying Technology* (just-accepted). doi: <http://dx.doi.org/10.1080/07373937.2015.1094667>
- Franková, L., & Fry, S. C. (2013). Biochemistry and physiological roles of enzymes that 'cut and paste' plant cell-wall polysaccharides. *Journal of Experimental Botany*, *64*(12), 3519-3550. doi: 10.1093/jxb/ert201
- Frutas & Hortalizas. (2012). *Revista de la Asociación Hortofrutícola de Colombia*, *21*.
- Frutas Colombianas en proceso de Análisis de Riesgo de Plagas (ARP). (2016), URL: <http://www.ica.gov.co/CEF/frutas/frutas.htm>
- Gannasin, S. P., Ramakrishnan, Y., Adzahan, N. M., & Muhammad, K. (2012). Functional and Preliminary Characterisation of Hydrocolloid from Tamarillo (*Solanum betaceum* Cav.) Puree. *Molecules*, *17*(6), 6869.
- Garna, H., Mabon, N., Robert, C., Cornet, C., Nott, K., Legros, H., . . . Paquot, M. (2007). Effect of Extraction Conditions on the Yield and Purity of Apple Pomace Pectin Precipitated but Not Washed by Alcohol. *Journal of Food Science*, *72*(1), C001-C009. doi: 10.1111/j.1750-3841.2006.00227.x
- Gilabert, J. P. i. (2001). *Degradación enzimática y características físicas y químicas de la pectina del bagazo de melocotón* [Universitat de Lleida. Departament de Tecnologia d'Aliments.
- Gnanasambandam, R., & Proctor, A. (2000). Determination of pectin degree of esterification by diffuse reflectance Fourier transform infrared spectroscopy.

- Food Chemistry*, 68(3), 327-332. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0308-8146\(99\)00191-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0308-8146(99)00191-0)
- Gómez, E. M. (2014). ANÁLISIS NUTRICIONAL Y ESTUDIO DE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE ALGUNAS FRUTAS TROPICALES CULTIVADAS EN COLOMBIA. (Magister en Ciencias Química), Universidad Nacional de Colombia.
- Guillotín, S. E. (2005). *Studies on the intra- and intermolecular distributions of substituents in commercial pectins*. S.n., [S.I.]. Retrieved from <http://edepot.wur.nl/121697>
- Harholt, J., Suttangkakul, A., & Vibe Scheller, H. (2010). Biosynthesis of Pectin. *Plant Physiology*, 153(2), 384-395. doi: 10.1104/pp.110.156588
- Jenkins, D. J. A., Marchie, A., Augustin, L. S. A., Ros, E., & Kendall, C. W. C. (2004). Viscous dietary fibre and metabolic effects. *Clinical Nutrition Supplements*, 1(2), 39-49. doi: 10.1016/j.clnu.2004.09.007
- Kačuráková, M., Capek, P., Sasinková, V., Wellner, N., & Ebringerová, A. (2000). FT-IR study of plant cell wall model compounds: pectic polysaccharides and hemicelluloses. *Carbohydrate Polymers*, 43(2), 195-203. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0144-8617\(00\)00151-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0144-8617(00)00151-X)
- Kaya, M., Sousa, A. G., Crépeau, M.-J., Sørensen, S. O., & Ralet, M.-C. (2014). Characterization of citrus pectin samples extracted under different conditions: influence of acid type and pH of extraction. *Annals of Botany*, 114(6), 1319-1326. doi: 10.1093/aob/mcu150
- Koubala, B. B., Kansci, G., Mbome, L. I., Crépeau, M. J., Thibault, J. F., & Ralet, M. C. (2008). Effect of extraction conditions on some physicochemical characteristics of pectins from "Améliorée" and "Mango" mango peels. *Food Hydrocolloids*, 22(7), 1345-1351. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2007.07.005>
- Kulkarni, S. G., & Vijayanand, P. (2010). Effect of extraction conditions on the quality characteristics of pectin from passion fruit peel (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* L.). *LWT - Food Science and Technology*, 43(7), 1026-1031. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2009.11.006>
- Kumar, V., Sinha, A. K., Makkar, H. P. S., de Boeck, G., & Becker, K. (2012). Dietary Roles of Non-Starch Polysaccharides in Human Nutrition: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 52(10), 899-935. doi: 10.1080/10408398.2010.512671
- Larrauri, J. A. (1999). New approaches in the preparation of high dietary fibre powders from fruit by-products. *Trends in Food Science & Technology*, 10(1), 3-8. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0924-2244\(99\)00016-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0924-2244(99)00016-3)
- Leroux, J., Langendorff, V., Schick, G., Vaishnav, V., & Mazoyer, J. (2003). Emulsion stabilizing properties of pectin. *Food Hydrocolloids*, 17(4), 455-462. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0268-005X\(03\)00027-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0268-005X(03)00027-4)
- Liew, S. Q., Chin, N. L., & Yusof, Y. A. (2014). Extraction and Characterization of Pectin from Passion Fruit Peels. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2, 231-236. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aaspro.2014.11.033>

- Lim, J., Yoo, J., Ko, S., & Lee, S. (2012). Extraction and characterization of pectin from Yuza (*Citrus junos*) pomace: A comparison of conventional-chemical and combined physical–enzymatic extractions. *Food Hydrocolloids*, 29(1), 160-165. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.02.018>
- Luz Marina Carvajal, Sandra Turbay, Lizeth Marely Álvarez, Adalberto Rodríguez, Maritza Alvarez, Karla Bonilla, . . . Marisol Parra. (2014). Propiedades funcionales y nutricionales de seis especies de passiflora (*Passifloraceae*) del departamento del Huila, Colombia. *Caldasía*, 36, 1-15.
- Manrique, G. D., & Lajolo, F. M. (2002). FT-IR spectroscopy as a tool for measuring degree of methyl esterification in pectins isolated from ripening papaya fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 25(1), 99-107. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0925-5214\(01\)00160-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0925-5214(01)00160-0)
- Manual Tomate de Árbol*(2015). Programa de apoyo agrícola y agroindustrial vicepresidencia de fortalecimiento empresarial Cámara de Comercio de Bogotá
- Martínez, R., Torres, P., Meneses, M. A., Figueroa, J. G., Pérez-Álvarez, J. A., & Viuda-Martos, M. (2012). Chemical, technological and in vitro antioxidant properties of mango, guava, pineapple and passion fruit dietary fibre concentrate. *Food Chemistry*, 135(3), 1520-1526. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.05.057>
- Melo, C. B. P. (2015). *Evaluación del contenido nutricional y actividad antioxidante en Solanum tuberosum grupo Phureja*. (Magister en Ciencia y Tecnología de Alimentos), Universidad Nacional De Colombia.
- Mesbahi, G., Jamalian, J., & Farahnaky, A. (2005). A comparative study on functional properties of beet and citrus pectins in food systems. *Food Hydrocolloids*, 19(4), 731-738. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2004.08.002>
- Min, B., Lim, J., Ko, S., Lee, K.-G., Lee, S. H., & Lee, S. (2011). Environmentally friendly preparation of pectins from agricultural byproducts and their structural/rheological characterization. *Bioresource Technology*, 102(4), 3855-3860. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2010.12.019>
- Mongeau, R., & Brassard, R. (1982). Insoluble dietary fiber from breakfast cereals and brans: bile salt binding and water-holding capacity in relation to particle size. *Cereal Chemistry*.
- Nancy Chasquibol Silva, E. A. B., Juan Carlos Morales Gomero. (2008). Extracción y caracterización de pectinas obtenidas a partir de frutos de la biodiversidad peruana. *Ingeniería Industrial*, 26, 175-199.
- Navarro García, G., & Navarro García, S. (1985). *Sustancias pécticas : química y aplicaciones* (S. d. P. e. I. Científico Ed.). Murcia: Universidad de Murcia. Departamento de Química, Agrícola.
- O'Shea, N., Arendt, E. K., & Gallagher, E. (2012). Dietary fibre and phytochemical characteristics of fruit and vegetable by-products and their recent applications as novel ingredients in food products. *Innovative Food Science*

- & *Emerging Technologies*, 16, 1-10. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2012.06.002>
- Ordóñez, F. J. M. (2011). *Extracción y caracterización de la pectina obtenida a partir del fruto de dos ecotipos de cocona (solanum sessiliflorum), en diferentes grados de madurez; a nivel de planta piloto.* (MAESTRÍA EN INGENIERÍA AGRÍCOLA), Universidad Nacional de Colombia.
- Penna, A. L. B. (2002). Hidrocoloides: usos em alimentos. *Food ingredients*, 17, 58-64.
- Pérez, S., Mazeau, K., & Hervé du Penhoat, C. (2000). The three-dimensional structures of the pectic polysaccharides. *Plant Physiology and Biochemistry*, 38(1-2), 37-55. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0981-9428\(00\)00169-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0981-9428(00)00169-8)
- Pinheiro, E. s. R., Silva, I. M. D. A., Gonzaga, L. V., Amante, E. R., Teófilo, R. F., Ferreira, M. M. C., & Amboni, R. D. M. C. (2008). Optimization of extraction of high-ester pectin from passion fruit peel (*Passiflora edulis flavicarpa*) with citric acid by using response surface methodology. *Bioresource Technology*, 99(13), 5561-5566. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2007.10.058>
- Ramírez, A., & Pacheco, E. (2011). Composición química y compuestos bioactivos presentes en pulpas de piña, guayaba y guanábana. *Interciencia*, 36(1), 71-75.
- Rodríguez, E., & Sandoval, A. (2003). Hidrocoloides naturales de origen vegetal. Investigaciones recientes y aplicaciones en la industria de alimentos. *Revista Tecnura*, 7(13), 4-13.
- Ruiz, M. E. (2010). *Capacidad antioxidante y ablandamiento de la guayaba Palmira ICA I (Psidium guajava).* Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Departamento de Química.
- Sánchez-Zapata, E., Fernández-López, J., Peñaranda, M., Fuentes-Zaragoza, E., Sendra, E., Sayas, E., & Pérez-Alvarez, J. A. (2011). Technological properties of date paste obtained from date by-products and its effect on the quality of a cooked meat product. *Food Research International*, 44(7), 2401-2407. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2010.04.034>
- Sarmiento, J. C. N. (2014). *Extracción, cuantificación, caracterización fisicoquímica y funcional de fibra dietaria obtenida a partir de residuos de maracuyá (Passiflora edulis f. flavicarpa Deg).* (Ingeniero Alimentos), Universidad San Francisco de Quito, Quito, Ecuador. Retrieved from <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/2860>
- Schmidt, U. S., Koch, L., Rentschler, C., Kurz, T., Endreß, H. U., & Schuchmann, H. P. (2015). Effect of Molecular Weight Reduction, Acetylation and Esterification on the Emulsification Properties of Citrus Pectin. *Food Biophysics*, 10(2), 217-227. doi: 10.1007/s11483-014-9380-1
- Seixas, F. L., Fukuda, D. L., Turbiani, F. R. B., Garcia, P. S., Petkowicz, C. L. d. O., Jagadevan, S., & Gimenes, M. L. (2014). Extraction of pectin from passion fruit peel (*Passiflora edulis f. flavicarpa*) by microwave-induced heating. *Food Hydrocolloids*, 38, 186-192. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.12.001>

- Serguschenko, I., Kolenchenko, E., & Khotimchenko, M. (2007). Low esterified pectin accelerates removal of lead ions in rats. *Nutrition Research*, 27(10), 633-639. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.nutres.2007.06.005>
- Sharoba, A., Farrag, M., & Abd El-Salam, A. (2013). Utilization of some fruits and vegetables waste as a source of dietary fiber and its effect on the cake making and its quality attributes. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, 19(4), 429-444.
- Simmaky, S., & Jaanaki, G. (2014). Extraction and characterization of pectin from yellow passion fruit (*Passiflora edulis f. flavicarpa* L) endocarp peel. *SAITM Research symposium on Engineering Advancements*, 27-28.
- Tabla de composición de alimentos colombianos (TCAC). (2015). from <http://www.icbf.gov.co/portal/page/portal/PortalICBF/bienestar/nutricion/tabla-alimentos/TCAC%202015%20FINAL.pdf>
- Thakur, B. R., Singh, R. K., Handa, A. K., & Rao, M. A. (1997). Chemistry and uses of pectin — A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 37(1), 47-73. doi: 10.1080/10408399709527767
- Thebaudin, J., Lefebvre, A., Harrington, M., & Bourgeois, C. (1997). Dietary fibres: nutritional and technological interest. *Trends in Food Science & Technology*, 8(2), 41-48.
- Torrallbo, D. F., Batista, K. A., Di-Medeiros, M. C. B., & Fernandes, K. F. (2012). Extraction and partial characterization of *Solanum lycocarpum* pectin. *Food Hydrocolloids*, 27(2), 378-383. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.10.012>
- Trumbo, P., Schlicker, S., Yates, A. A., & Poos, M. (2002). Dietary reference intakes for energy, carbohydrate, fiber, fat, fatty acids, cholesterol, protein and amino acids. *Journal of the American Dietetic Association*, 102(11), 1621-1630.
- Umesh B. Telrandhe, R. K., Vaibhav Uplanchiwar, Mohd. H. Mansoori, Vivek Jain, Raj Kumar Jain, Sunil Kumar Jain. (2012). Nutraceuticals-A Phenomenal resource in modern medicine. *International Journal of Universal Pharmacy and Life Sciences* 2(1), 179-195.
- Verdú, J. M. (2013). *Nutrición para educadores*: Ediciones Díaz de Santos.
- Voragen, A. G. J., Schols, H. A., & Pilnik, W. (1986). Determination of the degree of methylation and acetylation of pectins by h.p.l.c. *Food Hydrocolloids*, 1(1), 65-70. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0268-005X\(86\)80008-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0268-005X(86)80008-X)
- Voragen, F. G. J., Timmers, J. P. J., Linssen, J. P. H., Schols, H. A., & Pilnik, W. (1983). Methods of analysis for cell-wall polysaccharides of fruit and vegetables. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung*, 177(4), 251-256. doi: 10.1007/bf01082488
- Wang, M., Huang, B., Fan, C., Zhao, K., Hu, H., Xu, X., . . . Liu, F. (2016). Characterization and functional properties of mango peel pectin extracted by ultrasound assisted citric acid. *International journal of biological macromolecules*, 91, 794-803.

- Willats, W. G. T., Knox, J. P., & Mikkelsen, J. D. (2006). Pectin: new insights into an old polymer are starting to gel. *Trends in Food Science & Technology*, 17(3), 97-104. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2005.10.008>
- Yapo, B. M. (2009). Biochemical Characteristics and Gelling Capacity of Pectin from Yellow Passion Fruit Rind as Affected by Acid Extractant Nature. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(4), 1572-1578. doi: 10.1021/jf802969m
- Yapo, B. M., Robert, C., Etienne, I., Wathelet, B., & Paquot, M. (2007). Effect of extraction conditions on the yield, purity and surface properties of sugar beet pulp pectin extracts. *Food Chemistry*, 100(4), 1356-1364. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.12.012>
- Yepes, Naranjo, Sánchez (2008). Valorización de residuos agroindustriales-frutas en medellin y el sur del valle del aburrá, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellin*, 4422-4431.
- Zambrano, M., Meléndez, R., & Gallardo, Y. (2001). Propiedades funcionales y metodología para su evaluación en fibra dietética. *Fibra Dietetica en Iberoamérica: Tecnología y Salud. Varela, Sao Paulo*, 195-209.