
INDICE

Indice	I
Relación de Tablas	V
Relación de Figuras	VII
Notación	XII
Resumen	XIII
Summary	XV
I. INTRODUCCION Y OBJETIVOS	1
1. Introducción	1
2. Objetivos	2
3. Organización del trabajo	3
4. Introduction	5
II. FUNDAMENTOS	7
1. Materiales Lignocelulósicos	7
1.1 Situación Actual	7
1.2 Materiales lignocelulósicos para la fabricación de pasta de celulosa	9
1.3 Fibras lignocelulósicas no madereras	10
1.4 Composición química de las fibras	12
Sustancias macromoleculares	13
Sustancias de bajo peso molecular	17
2. Obtención de celulosa	18
2.1 Procesos de fabricación de pasta de celulosa	18
Pastas mecánicas	18
Pastas Químicas	19
Pastas de Fraccionamiento	26
2.2 Procesos de blanqueo	30
3. Derivados de Celulosa	31
3.1 Tipos de Derivados	31
3.2 Factores que afectan las propiedades de los derivados	32
Grado de sustitución (DS)	32
Uniformidad de la reacción	33
Grado de Polimerización (DP)	34
Polidispersidad (P)	34
Contenido de α -celulosa	34
3.3 Esteres de celulosa	36
3.4 Eteres de celulosa	36
Producción de éteres de celulosa	37
Apariencia Física	38

Estabilidad	38
Manejo y Toxicología	38
4. Carboximetilcelulosa sódica	39
4.1 Importancia del producto	39
4.2 Aplicaciones de la CMC	40
4.3 Aspectos Económicos	44
4.4 Fabricación de la carboximetilcelulosa	45
4.5 Descripción del proceso Druvacell®	46
4.6 Propiedades de la CMC	47
4.7 Propiedades de los geles	53
Los geles físicos	54
Comportamiento viscoelástico de los geles	55
Determinación del punto de gel	57
4.8 Síntesis de carboximetilcelulosa con otros disolventes	58
III. MATERIALES Y METODOS	61
1. Materiales	61
1.1 Materiales lignocelulósicos	61
1.2 Pastas Comerciales	62
2. Métodos	63
2.1 Descripción de los reactores empleados	63
Reactor discontinuo de 10 litros	63
Reactor de descompresión con vapor (steam explosión)	66
2.2 Blanqueo de la celulosa	69
Pastas de pino, chopo y paja de trigo	69
Pastas de <i>Miscanthus sinensis</i>	70
Pastas de bagazo de caña de azúcar y henequén	71
2.3 Propiedades mecánicas de pasta de <i>Miscanthus sinensis</i>	72
2.4 Síntesis de carboximetilcelulosa	72
2.5 Procedimientos analíticos	74
Substrato original y fracción insoluble	74
Alcali Residual	76
Microscopía de barrido	76
Microscopía óptica	77
Difracción de rayos X	77
Absorción de agua en los espacios interfibrilares	78
2.6 Caracterización de carboximetilcelulosa	78
Grado de Sustitución (DS)	78
Determinación de DS por H ⁺ RMN	79
Pureza de la carboximetilcelulosa	81
Relación esfuerzo-velocidad de deformación	82

Viscosidad de polímeros en solución	83
Peso molecular medio y distribución de pesos moleculares	84
Microfiltración	84
IV. RESULTADOS Y DISCUSION	85
1. Caracterización de las materias primas	85
2. Preparación de las pastas	87
2.1 Pastas de cocción rápida	87
Blanqueo	87
Características de las pastas resultantes	87
2.2 Pastas IRSP	96
Impregnación	96
Pulpeo	99
Blanqueo	107
Propiedades mecánicas de pastas de <i>Miscanthus sinensis</i>	108
Análisis microscópico de las pastas	114
2.3 Pastas sosa/AQ comerciales	124
Composición Química	124
Difracción de rayos X y grado de hinchamiento	125
Solubilidad en NaOH concentrado	127
4. Obtención de carboximetilcelulosa	128
4.1 Carboximetilcelulosa a partir de chopo, pino y paja de trigo	128
Síntesis de carboximetilcelulosa	128
Caracterización de carboximetilcelulosa	130
Recopilación de resultados	139
4.2 Carboximetilcelulosa a partir de plantas anuales	140
Síntesis de carboximetilcelulosa	140
Caracterización de carboximetilcelulosa	140
Comportamiento reológico de soluciones de CMC	149
V. CONCLUSIONES	163
1. Obtención de pastas de celulosa	163
1.1 Obtención de pastas de cocción rápida	163
1.2 Obtención de pastas IRSP	163
2. Obtención y caracterización de carboximetilcelulosa	164
2.1 Obtención de carboximetilcelulosa a partir de pastas de chopo, pino y paja de trigo	164
2.2 Obtención de carboximetilcelulosa a partir de pastas de plantas anuales	165
3. Recomendaciones	166

CONCLUSIONS	168
4. Cellulose pulp obtaining	168
4.1 Fast cooking pulps	168
4.2 IRSP pulps	168
5. Synthesis and characterization of carboxymethylcellulose	169
5.1 Carboxymethylcellulose from fast cooking pulps	169
5.2 Carboxymethylcellulose from annual plants	170
6. Future work	171
VI. BIBLIOGRAFIA	173
APENDICES	197
Apéndice I. Determinación de azúcares elementales por HPLC	197
Apéndice II. Preparación de las muestras por Microscopía de Barrido Electrónico	201
Apéndice II. Determinación del índice de cristalinidad	202
Apéndice IV. Determinación del comportamiento reológico de las soluciones acuosas de carboximetilcelulosa	203

LISTADO DE TABLAS

Tabla 2.1	Principales fibras disponibles a escala mundial.	11
Tabla 2.2	Composición química de algunas fibras naturales	12
Tabla 2.3	Valores del grado de polimerización medio en viscosidad para diferentes derivados de celulosa	34
Tabla 2.4	Composición típica de algunos productos derivados de la celulosa	35
Tabla 2.5	Principales funciones de la CMC en aplicaciones industriales de acuerdo a sus propiedades	40
Tabla 2.6	Aplicaciones de la CMC de acuerdo al grado de pureza	40
Tabla 2.7	Características típicas de la CMC	53
Tabla 3.1	Principales características de pastas blanqueadas comerciales no madereras	62
Tabla 3.2	Condiciones de operación para cada etapa en la secuencia de blanqueo (Op(AZR)P).	70
Tabla 3.3	Ensayos físicos y normativas utilizadas	72
Tabla 4.1	Composición de la materia prima. Porcentaje en base a 100g del material lignocelulósico seco	86
Tabla 4.2	Cocciones rápidas de pino, condiciones de operación, composición química de las pastas resultantes (%BPS) y resultados del blanqueo.	88
Tabla 4.3	Cocciones rápidas de chopo. Condiciones de operación y composición química de las pastas resultantes (%BPS).	89
Tabla 4.4	Cocciones rápidas de paja. Condiciones de operación y composición química de las pastas resultantes (%BPS).	90
Tabla 4.5	Cocciones alcalinas de paja de trigo. (Datos Bibliográficos)	90
Tabla 4.6	Consumo de álcali durante la impregnación y carga de álcali en el <i>Miscanthus</i> impregnado (g NaOH/100 g <i>Miscanthus</i> seco)	97
Tabla 4.7	Consumo de álcali durante la impregnación y carga de álcali en bagazo de caña, henequén y <i>Miscanthus sinensis</i> impregnado (g NaOH/100 g material seco)	98
Tabla 4.8	Cocciones a 180, 190 y 200°C de <i>Miscanthus sinensis</i> triturado (astillado) e impregnado con una carga de 20% NaOH. Tiempo de cocción, rendimiento neto, incocidos, viscosidad y número de kappa.	100
Tabla 4.9	Efecto de la carga de impregnación en el rendimiento neto y porcentaje de incocidos para pastas de <i>Miscanthus sinensis</i> hechas a 180°C.	101
Tabla 4.10	Cocciones a 180°C de <i>Miscanthus sinensis</i> impregnado con y sin presión utilizando una carga de 30% NaOH y 0.1% AQ. Tiempo de cocción, rendimiento neto, incocidos, viscosidad y número de kappa.	104
Tabla 4.11	Cocciones a 180°C de fibras de bagazo de caña y henequén impregnados	106

	con una carga de 30% NaOH y 0.1% AQ. Tiempo de cocción, rendimiento neto, incocidos, viscosidad y número de kappa.	
Tabla 4.12	Composición química de pastas blanqueadas de bagazo de caña y henequén.	108
Tabla 4.13	Propiedades físicas de pastas cruda de <i>Miscanthus sinensis</i> a diferentes grados de refinamiento (Cocción 180°C y 26 min; impregnación con licor al 30% NaOH + 0.1% AQCA).	109
Tabla 4.14	Propiedades de la pasta blanqueada (TCF) de <i>Miscanthus sinensis</i> a diferentes grados de refinamiento (Cocción a 180°C y 26 min; Licor de impregnación al 30% NaOH + 0.1% AQCA).	110
Tabla 4.15	Composición química de pastas blanqueadas de abacá, sisal, lino, yute y <i>Miscanthus Sinensis</i> (% pasta seca)	126
Tabla 4.16	Solubilidad de los componentes de celulosa de cadena corta en NaOH 40% y grado de hinchamiento antes y después de la alcalinización.	128
Tabla 4.17	Rendimiento, humedad y pureza de CMCs a partir de pastas crudas de pino y blanqueadas de pino, chopo y paja. Intervalo de confianza al 95%.	129
Tabla 4.18	Grado de Sustitución de las CMCs sintetizada a partir de pino, chopo y paja de trigo. Intervalo de confianza al 95%.	130
Tabla 4.19	Parámetros experimentales del modelo de potencia para las diferentes CMCs sintetizadas a partir de pino, chopo y paja de trigo.	134
Tabla 4.20	Viscosidad intrínseca de muestras de CMC comerciales de diferentes pesos moleculares.	137
Tabla 4.21	Viscosidad intrínseca $[\eta]$ y aproximación al peso molecular viscoso (M_w) de CMC a partir de pastas de pino, chopo y paja de trigo.	138
Tabla 4.22	Recopilación de resultados.	139
Tabla 4.23	Grado de sustitución de muestras de CMC, porcentaje de pureza, peso molecular promedio	141
Tabla 4.24	Distribución de los sustituyentes C_2 , C_3 y C_6 in una unidad anhidro glucosa (AGU)	142
Tabla 4.25	Propiedades de filtración y observaciones en el microscopio	149
Tabla 4.26	Viscosidad intrínseca, peso molecular medio y constante de Huggins de muestras de CMC de plantas anuales	150
Tabla 4.27	Características de las muestras de CMC en soluciones diluidas	153
Tabla 4.28	Parámetros experimentales del modelo de potencia para las diferentes CMC sintetizadas a partir de plantas anuales	155
Tabla A.1	Tiempo de retención de azúcares analizados por HPLC	198
Tabla A.2	Factores de recuperación y solvatación correspondientes a los monosacaridos analizados	200

RELACION DE FIGURAS

Figura 2.1	Ubicación de los bosques en los países con las tasas más elevada y más reducida de variación neta de la superficie forestal	8
Figura 2.2	Procedencia de las fibras vegetales utilizadas por la obtención de celulosa a escala mundial	9
Figura 2.3	Esquema general de los componentes químicos de los materiales lignocelulósicos	13
Figura 2.4	Estructura de la cadena de celulosa	14
Figura 2.5	Estructura de la pared celular. a) Fibra vegetal; b) Sección de fibra mostrando las células; c) Fragmento de la pared secundaria donde aparecen las microfibrillas de la celulosa y el espacio interfibrillar; d) Fragmento de la microfibrilla donde se visualizan las microfibrillas celulósicas; e) cadenas individuales de celulosa; f) Fragmentos de la cadena celulósica y g) unidad repetitiva de celobiosa.	15
Figura 2.6	Monómeros precursores de las hemicelulosas	16
Figura 2.7	Esquema del proceso Masonite (discontinuo)	28
Figura 2.8	Clasificación de los derivados de celulosa más importantes a escala industrial	32
Figura 2.9	Esquema general para la producción de éteres de celulosa	37
Figura 2.10	Efecto de la pérdida de agua en el grado de sustitución de la carboximetil celulosa.	42
Figura 2.11	Proceso industrial Druvacell.	48
Figura 2.12	Estructura de la celulosa (a) y carboximetil celulosa DS 1.5 (b).	49
Figura 2.13	Etapas de solvatación de l a reacción de eterificación de los éteres de celulosa.	50
Figura 2.14	Efecto de la uniformidad en las propiedades de la CMC	51
Figura 2.15	Efecto de la desagregación del polímero (CMC) en la viscosidad del sistema	52
Figura 2.16	Variación de los módulos de conservación G' y de pérdida G'' para a) un gel fuerte, b) una solución concentrada ($c < c^*$) y c) una solución diluida ($c > c^*$) donde c^* es la concentración de intersección	56
Figura 2.17	Ejemplos de estructuras de geles de biopolímeros (Djabourov y Guenet, 1995). a) gel de carragenanos, b) gel de k-carragenanos en presencia de potasio, c) gel de pectinas débiles metiladas en presencia de calcio (modelo del cartón de huevos), d) gel ácido de pectinas débiles metiladas, e) gel de gelatina con triples hélices de tipo colágeno y f) gel de proteínas globulares.	57
Figura 2.18	Variación de la viscosidad y del módulo elástico en la vecindad del punto gel	58

Figura 2.19	Medios de reacción homogénea (arriba) y heterogénea (abajo)	60
Figura 3.1	Esquema del reactor discontinuo de 10 L.	65
Figura 3.2.	Equipo del reactor con descompresión con vapor (steam explosion)	67
Figura 3.3	Equipo de impregnación	69
Figura 3.4	Esquema del reactor de síntesis de carboximetilcelulosa	73
Figura 3.5	Secuencia analítica de caracterización de la materia prima y fibra sólida obtenida después del pretratamiento	75
Figura 3.6	Ejemplo de una curva de valoración para el cálculo del DS de muestras de CMC	79
Figura 3.7	Espectro de RMN H^+ de una muestra de CMC con $DS \approx 1$	81
Figura 4.1	Micrografía de paja de trigo a) material original y b) material cocido a $180^\circ C$ y 2.5 min. (x100)	91
Figura 4.2	Efecto de la temperatura máxima de cocción en el número de kappa. Se utilizó $H_m=270$ en todos los experimentos. La línea discontinua indica únicamente la tendencia.	92
Figura 4.3	Efecto de la temperatura máxima de cocción en el rendimiento global en pasta cruda de paja de trigo. Se utilizó $H_m=270$ en todos los experimentos. La línea discontinua indica únicamente la tendencia.	92
Figura 4.4	Efecto de la temperatura máxima de cocción en la composición química de la pasta de paja de trigo cruda. Resultados expresados en base a 100g de paja de trigo seca. El factor H_m es 270 en todos los experimentos.	93
Figura 4.5	Efecto de la temperatura máxima de cocción en la viscosidad límite o intrínseca de las pastas crudas y blanqueadas de pino, chopo y paja de trigo (las líneas discontinuas indican únicamente la tendencia).	94
Figura 4.6	Efecto de la trituración y desmedulación (eliminación de los finos) de cañas de <i>Miscanthus sinensis</i> sobre el rendimiento de la pasta. Impregnación con 20% NaOH y cocción a $200^\circ C$. Caña entera: rendimiento bruto (●), rendimiento neto (○). Caña triturada: rendimiento bruto (■), rendimiento neto (□).	99
Figura 4.7	Evolución del número de kappa y viscosidad en función del tiempo de cocción. (Licor de impregnación: ○ 20% NaOH/ $180^\circ C$, □ 30% NaOH/ $180^\circ C$, y ▽ 30% NaOH/ $180^\circ C$ + 0.1% AQCA, ● 20% NaOH/ $190^\circ C$ y ▼ 20% NaOH/ $200^\circ C$ La línea punteada indica número de kappa menor a 20, objetivo de esta parte del trabajo).	102
Figura 4.8	Perfil de temperatura de cocción de <i>Miscanthus</i> a $180^\circ C$ y 26min.	103
Figura 4.9	Viscosidad y número de Kappa frente a tiempo de cocción de pastas de <i>Miscanthus sinensis</i> cocidas a $180^\circ C$. Licor de impregnación: 30% NaOH/0.1%AQ. (Las iniciales ICP e ISP indican impregnación con presión y sin presión respectivamente)	105
Figura 4.10	Viscosidad frente a tiempo de cocción de pastas de bagazo de caña y henequén cocidas a $180^\circ C$ (Licor de impregnación: 30% NaOH/0.1%AQ)	106

Figura 4.11	Envejecimiento de hojas de papel hechas de pasta blanqueada mediante el proceso IRSP de <i>Miscanthus sinensis</i> : ● cámara climática y ○ exposición a la luz (suntest).	111
Figura 4.12	Pastas de <i>Miscanthus sinensis</i> : Longitud de ruptura vs. SR. (Pastas sin blanquear: ○ ASAM (Kordsachia y Patt, 1991), ∇ NS/AQ (Korsachia, et al., 1993), □ Sosa (Kordsachia y Patt, 1991), ◇ Sosa/AQ (Korsachia, et al., 1993), Δ este trabajo. Pastas blanqueadas: ● este trabajo).	112
Figure 4.13	Pastas de <i>Miscanthus sinensis</i> : Índice de rasgado vs. SR. (Pastas sin blanquear: ○ ASAM (Kordsachia y Patt, 1991), ∇ Sosa (Kordsachia y Patt, 1991), □ este trabajo. Pasta blanqueada: ● este trabajo).	113
Figure 4.14	Pastas de <i>Miscanthus sinensis</i> : Índice de rasgado vs. SR. (Pastas sin blanquear: ○ ASAM (Kordsachia y Patt, 1991), ∇ Sosa (Kordsachia y Patt, 1991), □ este trabajo. Pasta blanqueada: ● este trabajo).	113
	Figura 4.23. Viscosidad frente a tiempo de cocción de pastas de bagazo de caña y henequén cocidas a 180°C (Licor de impregnación: 30% NaOH/0.1% AQ)	
Figura 4.15	Vista general de la pasta de <i>Miscanthus sinensis</i> sin refinar (x4). Presencia de fibras y células parénquimas y epidérmicas (0.25mm)	114
Figura 4.16	Células epidérmicas unidas o peines unidos (0.25mm)	115
Figura 4.17	Células parénquimas a) vasos agrupados y b) amplificación de un vaso (0.25mm)	116
Figura 4.18	Paquete de fibras (incocido) (0.25mm)	116
Figura 4.19	Vista general de pasta de <i>Miscanthus sinensis</i> refinada (0.25mm)	117
Figura 4.20	Micrografía de <i>Miscanthus sinensis</i> (material original x65)	117
Figura 4.21	Micrografía de <i>Miscanthus sinensis</i> pasta hecha a 180°C, 26 min (x350)	118
Figura 4.22	Micrografía de <i>Miscanthus sinensis</i> cocido a 190°C y 6 min (x1300)	118
Figura 4.23	Micrografía de <i>Miscanthus sinensis</i> cocido a 200°C y 3 min. (x1500)	119
Figura 4.24	Vista general de pasta de bagazo de caña (0.25 mm)	120
Figura 4.25	Vaso criboso roto en pasta de bagazo de caña (0.25mm)	120
Figura 4.26	Vista general de pasta de henequén (0.25mm)	121
Figura 4.27	Micrografía de bagazo de caña original (x85)	121
Figura 4.28	Micrografía de pasta de bagazo de caña hecha a 180°C, 26 min (x350)	122
Figura 4.29	Micrografía de fibras de bagazo de caña y un elemento de vaso criboso	122
Figura 4.30	Micrografía de henequén original (x100)	123
Figura 4.31	Micrografía de pasta de henequén cocida a 180°C y min. (x350)	123
Figura 4.32	Espectro de rayos X de una muestra de celulosa de Abacá.	127
Figura 4.33	Relación entre esfuerzo y velocidad de deformación en las soluciones acuosas de CMC. (La letra C significa que la CMC proviene de pasta cruda y la B de pasta blanqueada. Las iniciales AV y BV definen a las CMCs comerciales de alta y baja viscosidad respectivamente.	132

Figura 4.34	Relación entre esfuerzo y velocidad de deformación en las soluciones acuosas de CMC de chopo. (La letra B significa que la CMC proviene de pasta blanqueada, las iniciales AV y BV definen a las CMC comerciales de alta y baja viscosidad respectivamente).	133
Figura 4.35	Relación entre esfuerzo y velocidad de deformación en las soluciones acuosas de CMC de paja de trigo. (La letra B significa que la CMC proviene de pasta blanqueada, las iniciales AV y BV identifican a las CMC comerciales de alta y baja viscosidad respectivamente).	133
Figura 4.36	Representación doble logarítmica de Mark-Howink (viscosidad intrínseca frente a peso molecular) para disoluciones de CMC comerciales de pesos moleculares de 90000, 250000 y 700000 en NaCl 0.1M a 25°C.	136
Figura 4.37	Representación gráfica de η_{sp}/c frente a c para diferentes concentraciones de CMC comercial (M_w 250000) en NaCl 0.1M a 25°C.	136
Figura 4.38	Representación gráfica de η_{sp}/c frente a c para diferentes concentraciones de CMC comercial (M_w 700000) en NaCl 0.1M a 25°C.	137
Figura 4.39	Configuración estereo-química de una sección de celulosa. Las tres diferentes posiciones de la sustitución de grupos OH por CH_2COOH se indican con las flechas	142
Figura 4.40	Espectro H NMR de una muestra de CMC con DS=0.9	144
Figura 4.41	Distribución del peso molecular de muestras de CMC de abacá, lino y yute.	145
Figura 4.42	Distribución del peso molecular de muestras de CMC de <i>Miscanthus sinensis</i> , <i>Miscanthus sinensis</i> blanqueado con enzimas y sisal.	145
Figura 4.43	Micrografía general de una solución de CMC de <i>Miscanthus sinensis</i> (enzima). Concentración 10g/L de CMC en agua.	146
Figura 4.44	Micrografía de una fibra de <i>Miscanthus sinensis</i> (sin reaccionar) presente en una muestra de 10g/L de CMC en agua.	147
Figura 4.45	Acercamiento de una fibra de <i>Miscanthus sinensis</i> sin reaccionar. Reacción en la superficie e hinchamiento de la misma	147
Figura 4.46	Micrografía general de una solución de CMC de abacá. Concentración 50g/L de CMC en agua.	148
Figura 4.47	Micrografía de una fibra de abacá (sin reaccionar) presente en una muestra de 50g/L de CMC en agua	148
Figura 4.48	Representación gráfica de η_{sp}/c frente a c para diferentes concentraciones de CMC de lino y yute en NaCl 0.1M a 25°C	151
Figura 4.49	Representación gráfica de η_{sp}/c frente a c para diferentes concentraciones de CMC de bagazo de caña y henequén en NaCl 0.1M a 25°C.	151
Figura 4.50	Normalización de la viscosidad específica en el dominio Newtoniano, η_{sp} frente al parámetro $C[\eta]$. ● ABE2, ○ ABE1 y ▼ ecuación teórica de Cowman.	153

Figura 4.51	Viscosidad en función de la velocidad de deformación a diferentes concentraciones: a) CMC ABE2 ●7.5, ○15, ▼20, ▽30, ■ 50, □100, ◆150 y ◇200g/L b) CMC de MIX2 ●10, ○20, ▼30, ▽50, ■ 100g/L in 0.1M NaCl a 20°C	154
Figura 4.52	Relación entre esfuerzo y velocidad de deformación en las soluciones acuosas al 2% de CMC de bagazo de caña y henequén.	155
Figura 4.53	Módulos de conservación y pérdida en función de la frecuencia para muestras de CMC de abacá (ABE2) a diferentes concentraciones en 0.1M NaCl a 20°C.	157
Figura 4.54	Caracterización reológica de una muestra de CMC de abacá (ABE1) (derivada una vez) a diferentes concentraciones (C=20g/l $G'' > G'$ para $\omega < 25\text{Hz}$; C > 20g/l $G' > G''$ en todas el rango de ω).	157
Figura 4.55	Módulos de conservación y pérdida en función de la frecuencia para muestras de CMC de abacá (ABE1 y ABE2) a una concentración de 100g/L en 0.1M NaCl a 20°C	158
Figura 4.56	Evolución de la temperatura en a) módulo elástico (G'), módulo viscoso (G'') y viscosidad compleja η^* y b) relación G'/G'' de una muestra de CMC de abacá (una derivación). Condiciones: C=50g/l; frecuencia=1 Hz.	159
Figura 4.57	Evolución de la temperatura en a) módulo elástico (G'), módulo viscoso (G'') y viscosidad compleja η^* y b) relación G'/G'' de una muestra de CMC de abacá (una derivación). Condiciones: C=50g/l; frecuencia=1 Hz.	160
Figura 4.58	Viscosidad y viscosidad compleja η y η^* frente a la velocidad de deformación ($\dot{\gamma}$) y pulsación (ω) para una muestra de abacá dos veces eterificada (ABE2).	161
Figura 4.59	Módulo elástico (G') en función de la concentración de la muestra de CMC a) CMC de abacá después de una (ABE1) y dos (ABE2) reacciones de eterificación y b) CMC de abacá (ABE2) y <i>Miscanthus sinensis</i> (MIX2) después de dos eterificaciones.	162
Figura 4.60	Relación entre el módulo elástico (G') y módulo viscoso (G'') en función de la concentración de la muestra de CMC de abacá después de una y dos eterificaciones (ABE1 y ABE2).	162
Figura A.1	Cromatograma HPLC de una solución patrón de azúcares elementales	199

NOTACION

AGU	Unidad anhidro glucosa
AHQ	Antrahidroquinona
AQ	Antraquinona
AQCA	Acido carboxílico de antraquinona
AOX	Haluros orgánicos absorbibles (Adsorbable Organic Halides)
ASAM	Proceso de cocción alcalina con sulfito (Alkaline Sulfite Anthraquinone Metanol)
CMC	Carboximetilcelulosa
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DMAc	N,N-Dimetilacetamida
DP	Grado de Polimerización
DS	Grado de Sustitución
ECF	Libre de cloro elemental (Elemental Chlorine Free)
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (Food and Agriculture Organization)
G'	Modulo viscoso (almacenamiento)
G''	Módulo elástico (pérdida)
Hm	Factor H modificado (Clayton <i>et al.</i> , 1989)
HPLC	Cromatografía líquida de alta resolución (High Performance Liquid Chromatography)
ISO	International Standards Organization
MCC	Modified Continuous Cooking
RMN H ⁺	Resonancia Magnético Nuclear de protones
T _{max}	Temperatura máxima de cocción
TAPPI	Technical Association of the Pulp and paper Industry (EUA)
TCF	Totalmente libre de Cloro (Totally Chlorine Free)
TOCl	Organoclorados totales (Total organic Chlorides)

Letras griegas

[η]	Viscosidad intrínseca o límite (ml/g o dl/g).
η_0	Viscosidad intrínseca del disolvente.
η_{sp}	Viscosidad específica [$(\eta - \eta_0)/\eta_0$].
η_{red}	Viscosidad reducida (η_{sp}/c).
$ \eta^* $	Viscosidad compleja
τ_{xy}	Esfuerzo cortante