



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

“DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DE AGUA DE POLISACARIDOS DE USO EN ALIMENTOS”.

TESIS MANCOMUNADA

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

QUÍMICA DE ALIMENTOS

PRESENTAN:

DORANTES ZAVALA GABRIELA

GUZMÁN MÉNDEZ MIRIAM



MÉXICO, D.F.

2001

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central






UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

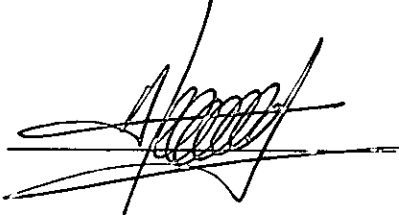
JURADO ASIGNADO:

Presidente	Prof. Viades Trejo Josefina 
Vocal	Prof. Leal Lara Hermilo 
Secretario	Prof. Tecante Coronel Alberto 
1er Suplente	Prof. Carreño Ortiz Hugo Rubén _____
2 o. Suplente	Prof. Cuervo Coss Rodolfo _____

Sitio donde se desarrollo el tema:

Departamento de Alimentos y Biotecnología. Laboratorio 4-A

Asesor de tema:

Dr. Alberto Tecante Coronel 

Nombre completo y firma de los sustentantes

Gabriela Dorantes Zavala 

Miriam Guzmán Méndez 

AGRADECIMIENTOS

A JEHOVÁ DIOS por darme la oportunidad de vivir, conocerlo y amarlo.

A MI MADRE por sus cuidados, desvelos y enseñanzas.

A MI PADRE por su confianza y apoyo.

A MIS HERMANOS Rogelio, Pedro, Wendy, Lorena y Daniel por su amistad, compañía, paciencia y ayuda.

A JENNYFER la bebé que da alegría y sentido a mi vida.

A GABY por su ayuda, paciencia y amistad.

AL DOCTOR TECANTE, mi asesor, por su confianza, enseñanza y paciencia.

A TI que me diste tu amistad, tus cuidados, tus consejos, tu comprensión, tu confianza y tu apoyo. Que me hiciste reír, gozar, valorar y disfrutar la vida; que estando lejos o cerca de mi siempre estuviste conmigo.

MUCHAS GRACIAS.

Miriam Guzmán Méndez

AGRADECIMIENTOS

Con agradecimiento a la *Universidad Nacional Autónoma de México* por los medios y facilidades que de ella recibí.

A mi madre.

Con cariño y gratitud por brindarme todo lo necesario para mi realización profesional.

A mis hermanos.

Javier y Gabino por su ayuda y confianza que siempre depositaron en mi.

A mis sobrinos.

Con amor.

A mis amigos.

Por todos los momentos únicos vividos.

Al Dr. Alberto Tecante.

Por su paciencia, dirección profesional y valores humanos mostrados para la realización de este trabajo.

A mis maestros

Particularmente a aquellos que tanto influyeron en mi formación profesional.

Gabriela Dorantes Zavala.

INDICE GENERAL

	Página
Resumen.....	9
Introducción.....	11
Objetivo general.....	14
Capítulo 1	
Generalidades.....	15
1.1. Importancia de los hidrocoloides en los alimentos.....	17
1.1.1. Xantana.....	19
1.1.2. Carboximetilcelulosa.....	21
1.1.3. Gelana.....	24
1.2. Adsorción de agua por los alimentos.....	27
1.2.1 Adsorción de gases por sólidos.....	28
1.2.2 Tipos de adsorción	28
1.2.3 Isotermas.....	29
1.3. Métodos utilizados para la determinación de la capacidad de adsorción de agua en hidrocoloides	
1.3.1. Método de Baumann.....	30
1.3.2. Adsorción isotérmica.....	35
Capítulo 2	
Materiales y métodos	
2.1. Materiales.....	36
2.2. Método modificado del capilar de Baumann.....	36

2.3. Adsorción Isoterma.....	38
2.2.2. Fórmulas utilizadas.....	37, 39
Capítulo 3	
Resultados y discusión	
3.1. Adsorción isoterma.....	41
3.2. Isotermas de adsorción.....	51
3.3. Capacidad de adsorción de agua por el método modificado de Baumann.....	55
Conclusiones.....	71
Bibliografía.....	73
Anexo 1. Solubilidad de las diferentes sales a 20 ° C.....	75
Anexo 2. Determinación de humedad por termobalanza.....	76
Anexo 3. Resultados de la isoterma de adsorción.....	77
Anexo 4. Volumen de agua adsorbida por gramo de hidrocoloide con el método modificado de Baumann.....	80

INDICE DE FIGURAS

	Página
Fig 1 Estructura de la xantana (XTN).....	22
Fig 2 Estructura de la carboximetil celulosa (CMC).....	23
Fig 3 Estructura de la gelana (GEL).....	25
Fig 4 Componentes del método original de Baumann.....	32
Fig 5 Detalles del método de modificado del método de Baumann.....	33
Fig 6 Componentes y su arreglo usados en el presente estudio.....	34
Fig 7 Comportamiento de la humedad adsorbida con el tiempo para CMC, XTN y GEL a 20 °C para una humedad relativa de 32.3%.....	44
Fig 8 Comportamiento de la humedad adsorbida con el tiempo para CMC, XTN, y GEL a 20 °C para una humedad relativa de 43.9%.....	45
Fig 9 Comportamiento de la humedad adsorbida con el tiempo para CMC, XTN y GEL a 20 °C para una humedad relativa de 47.6%.....	46
Fig 10 Comportamiento de la humedad adsorbida con el tiempo para CMC, XTN y GEL a 20 °C Para una humedad relativa de 53.2%.....	47
Fig 11 Comportamiento de la humedad adsorbida con el tiempo para CMC, XTN y GEL a 20 °C Para una humedad relativa de 84%.....	48
Fig 12 Comportamiento de la humedad adsorbida con el tiempo para CMC, XTN y GEL a 20 °C Para una humedad relativa de 93.2%.....	49
Fig 13 Comportamiento de la humedad adsorbida con el tiempo para CMC, XTN y GEL a 20 °C Para una humedad relativa de 98.2%.....	50
Fig 14 Isoterma de adsorción a 20 ° C.....	54

Fig 15	Adsorción de agua con el tiempo para diferentes masas iniciales (mg) de gelana.....	58
Fig 16	Amplificación de los datos mostrados en la Fig. 15.....	59
Fig 17	Adsorción de agua con el tiempo para diferentes masas iniciales (mg) de xantana.....	61
Fig 18	Amplificación de los datos mostrados en la Fig. 17.....	63
Fig 19	Adsorción de agua con el tiempo para diferentes masas iniciales (mg) de carboximetilcelulosa.....	65
Fig 20	Amplificación de los datos mostrados en la Fig. 19.....	66
Fig 21	Adsorción de agua de los tres hidrocoloides para masas iniciales similares (7.9-8.1 mg) XTN, CMC, GEL.....	67
Fig 22	Adsorción de agua de XTN, GEL y CMC para masas iniciales similares (7.7-8.0 mg) pero diferentes de las mostradas en la Fig. 21.....	68

INDICE DE CUADROS

		Página
Cuadro 1	Clasificación de algunos hidrocoloides.....	17
Cuadro 2	Aplicaciones más importantes de la xantana en alimentos.....	21
Cuadro 3	Aumento de masa de los hidrocoloides con el tiempo para una humedad relativa de 32.3%.....	41
Cuadro 4	Humedad en base seca (g agua adsorbida / 100 g de materia seca) de los hidrocoloides para una humedad relativa de 32.3%.....	42
Cuadro 5	Humedad de equilibrio media para XTN, CMC y GEL a una humedad relativa de 32.3%.....	51
Cuadro 6	Humedad de equilibrio media para XTN, CMC y GEL para las diferentes humedades relativas.....	53
Cuadro 7	Adsorción de agua en la zona de tendencia al equilibrio Q_e , para las diferentes masas iniciales de gelana.....	57
Cuadro 8	Adsorción de agua con el tiempo en la zona de tendencia al equilibrio para diferentes masas iniciales de xantana.....	60
Cuadro 9	Adsorción de agua con el tiempo en la zona de tendencia al equilibrio para diferentes masas iniciales de carboximetilcelulosa.....	62
Cuadro 10	Adsorción total de cada hidrocoloide.....	70
Cuadro 11	Gramos de agua adsorbida de los tres hidrocoloides por los dos métodos utilizados.....	70
Cuadro A.3.1	Humedad base seca para una humedad relativa de 43.9 %.....	77
Cuadro A.3.2	Humedad base seca para una humedad relativa de 47.6 %.....	77
Cuadro A.3.3	Humedad base seca para una humedad relativa de 53.6 %.....	78
Cuadro A.3.4	Humedad base seca para una humedad relativa de 84 %.....	78

Cuadro A.3.5	Humedad base seca para una humedad relativa de 93.2 %.....	78
Cuadro A.3.6	Humedad base seca para una humedad relativa de 98.2 %.....	79
Cuadro A.4.1	Masa inicial de xantana = 7.6 mg.....	80
Cuadro A.4.2	Masa inicial de xantana = 7.9 mg.....	81
Cuadro A.4.3	Masa inicial de xantana = 7.7 mg.....	82
Cuadro A.4.4	Masa inicial de xantana = 7.7 mg.....	83
Cuadro A.4.5	Masa inicial de xantana = 7.5 mg.....	84
Cuadro A.4.6	Masa inicial de gelana = 8.6 mg.....	85
Cuadro A.4.7	Masa inicial de gelana = 8.1 mg.....	86
Cuadro A.4.8	Masa inicial de gelana = 7.8 mg.....	87
Cuadro A.4.9	Masa inicial de gelana = 8.4 mg.....	88
Cuadro A.4.10	Masa inicial de carboximetilcelulosa = 8.0 mg.....	89
Cuadro A.4.11	Masa inicial de carboximetilcelulosa = 8.1 mg.....	90
Cuadro A.4.12	Masa inicial de carboximetilcelulosa = 8.3 mg.....	91
Cuadro A.4.13	Masa inicial de carboximetilcelulosa = 8.4 mg.....	92
Cuadro A.4.14	Masa inicial de carboximetilcelulosa = 8.4 mg.....	93

RESUMEN

En el presente trabajo se estudió la capacidad de adsorción de agua de tres polisacaridos diferentes utilizados como aditivos en alimentos: gelana (GEL), xantana (XTN) y carboximetilcelulosa (CMC). Se consideró el contacto entre el polisacárido en polvo y el agua líquida, y entre el polvo y el vapor de agua. En el primer caso, la capacidad de adsorción de agua fue determinada por el método modificado de Baumann, mientras que en el segundo caso se construyó la isoterma de adsorción a una temperatura de 20 °C.

El método de Baumann es útil para cuantificar la hidratación rápida del polisacárido al contacto directo con el agua cuando ocurre difusión del líquido en el sólido, mientras que la isoterma es útil para cuantificar la hidratación a largo plazo debido a la difusión del vapor en el sólido.

Los resultados obtenidos son muy diferentes para dos de los hidrocoloideos en estudio ya que para el método de isotermas de adsorción el hidrocoloide que más agua adsorbió fue la CMC siguiendo la XTN y para el método modificado de Baumann el hidrocoloide que mayor cantidad de agua adsorbió fue la XTN siguiendo la CMC aunque para ambos métodos el hidrocoloide que menor cantidad de agua adsorbió fue la GEL; los valores obtenidos de adsorción de agua varían considerablemente entre los dos métodos ya que por ejemplo para XTN por el método de isotermas de adsorción a una humedad relativa de 84% se obtuvieron valores de 42.11 g de agua adsorbida/ 100 g de hidrocoloide y para el método modificado de Baumann los valores obtenidos fueron de 10 412 g de agua adsorbida/ 100 g de hidrocoloide; aunque en la literatura sólo existen datos sobre este hidrocoloide los resultados que obtuvimos no coinciden ya que se

reportan valores de 15 850 g de agua /100 g de hidrocoloide para el método modificado de Baumann, además de que en la literatura con este método sí se observa claramente en que momento se llega al equilibrio de adsorción y en este trabajo sólo podemos observar una ligera inclinación en la que suponemos es la tendencia al equilibrio de adsorción.

Diversos son los factores que influyeron en la obtención de estos resultados como por ejemplo los grupos hidrofílicos existentes en la molécula del hidrocoloide, la accesibilidad de estos grupos hidrofílicos en la molécula del hidrocoloide, el área de contacto del hidrocoloide a captar agua y las fuerzas de interacción agua-hidrocoloide.

INTRODUCCIÓN

La adsorción y retención de agua de los polisacáridos son dos de las propiedades funcionales más importantes ya que determinan en gran parte el tipo de aplicación que ha de dársele a un polisacárido en particular. Existen reportes (Wallingford y Labuza, 1983) en los que se discute el papel que estas propiedades juegan en aplicaciones específicas. Los hidrocoloides o gomas, como más comúnmente se les conoce, son usados en la industria de alimentos como agentes modificadores de textura en muy diferentes tipos de productos. Aunque el término goma estrictamente designa a los exudados de vegetales, en la práctica se usa para designar a la gran variedad de compuestos que incluyen polisacáridos de plantas y de origen microbiano, proteínas de origen animal como la gelatina y algunos derivados químicos de celulosa. Estos materiales son usados por sus diversas propiedades funcionales que les permiten actuar como estabilizadores, espesantes, formadores de estructura así como gelificantes. Estas propiedades funcionales están relacionadas entre sí, en parte, por la habilidad de adsorber y retener grandes cantidades de agua e interactuar con el disolvente (Wallingford y Labuza, 1983).

En general, la Capacidad de Retención de Agua (CRA) es la habilidad de las gomas y de los alimentos de adsorber agua y es igual a la cantidad de agua adsorbida y retenida por la goma una vez que ésta ha alcanzado el equilibrio cuando se le somete a condiciones de humidificación (Wallingford y Labuza, 1983). Sin embargo, otros autores consideran la CRA más apropiadamente como la cantidad de agua captada bajo ciertas condiciones sin implicar retención (Labuza y Lewicki, 1978). Las formas para determinar esta capacidad pueden ser las siguientes: 1) Aplicación de ciertos tipos de

fuerzas externas como compresión y fuerza de centrifugación; 2) Adsorción isotérmica, bajo condiciones dadas, de vapor de agua hasta igualación del potencial químico de ésta (isoterma de adsorción); 3) Difusión de un líquido cuantificando la cantidad adsorbida con un sistema capilar (método de Baumann); 4) Determinación de propiedades coligativas como el punto de congelación (Chen y Labuza, 1984). En este trabajo se usó la adsorción isotérmica y el sistema modificado de Baumann para la determinación de la Capacidad de Adsorción de Agua (CA). El último es uno de los métodos más usados para determinar la cantidad de agua adsorbida por materiales sólidos de partícula pequeña (polvos) sean alimentos o no (Wallingford y Labuza, 1983; Elizalde y col., 1996). El primero se ha usado con menos frecuencia en el caso de hidrocoloides. La información que cada uno de ellos proporciona es diferente. El método de Baumann cuantifica la capacidad que un polisacárido tiene de captar agua líquida al hacer contacto directo con ella. Por contacto directo se entiende el que el agua líquida y el polvo hagan contacto físico y el polvo adsorba agua hasta una cierta cantidad. En la adsorción isotérmica, el polvo hace contacto con agua en estado vapor en un medio ambiente de humedad relativa dada y sobre una mayor escala de tiempo dado que se busca alcanzar un equilibrio (Chen y col., 1984; Elizalde y col., 1996).

La justificación del presente trabajo es que el conocer y caracterizar esta propiedad funcional tiene gran importancia ya que permite no sólo saber si un polisacárido puede usarse para una aplicación determinada, como por ejemplo durante el almacenamiento de un alimento o durante la formulación de cierto tipo de alimento, sino porque permite hacer una selección más racional y menos empírica del hidrocoloide para dicha aplicación. El agua es un componente importante de los alimentos, comprende el 75-95% de muchos productos alimenticios y como es uno de los constituyentes

mayoritarios afecta su vida de anaquel y sus propiedades organolépticas. El contenido de humedad es frecuentemente usado como el único parámetro para definir las condiciones de humedad de un producto higroscópico debido a que influye en las propiedades físicas y mecánicas de dicho material. La aparición de reacciones químicas, la actividad enzimática y el crecimiento microbiano dependen de la presencia y estado del agua en los alimentos (Labuza y Lewicki, 1978).

OBJETIVO GENERAL

Determinar la capacidad de adsorción de agua de los polisacáridos de uso alimentario carboximetilcelulosa, gelana y xantana por medio del método modificado de Baumann y la adsorción isotérmica para saber cómo se comportan los polisacáridos y para cuantificar esta propiedad funcional frente a dos formas diferentes de interacción con el agua.

OBJETIVO PARTICULAR

Determinar la capacidad de adsorción de agua de estos tres polisacáridos mediante el método modificado de Baumann cuando hay contacto sólido-líquido.

Determinar la capacidad de adsorción de agua de estos tres polisacáridos cuando éstos están en condiciones de humidificación en atmósferas con diferentes humedades relativas generadas por medio de sales bajo condiciones isotérmicas.

CAPITULO 1

GENERALIDADES

Se han hecho diversos trabajos para conocer la capacidad de adsorción de agua de muchos productos alimenticios con el fin de saber su comportamiento con respecto al agua adsorbida durante su elaboración y almacenamiento, utilizando diferentes métodos para conocer esta capacidad de adsorción. Los métodos más utilizados son el de adsorción isotérmica y el método modificado de Baumann (Chen y col., 1984; Labuza y Lewicki, 1978). Debido a que durante la elaboración y almacenamiento de alimentos se usan ampliamente los hidrocoloides para mejorar sus características y conservarlas, también ha interesado conocer su capacidad de adsorción de agua a diferentes humedades relativas y en contacto directo del hidrocoloide con el agua. Sin embargo, aunque es de gran importancia esta propiedad, se han reportado datos sólo para algunos hidrocolides como xantana (XTN), carragenina, guar, karaya, gelatina (Wallingford y Labuza, 1983) pero para otros no, como en el caso de la carboximetilcelulosa (CMC) y la gelana (GEL). Debido a esta falta de información para algunos hidrocoloides de importancia, parte del presente trabajo se realizó para conocer la capacidad de adsorción de agua de hidrocoloides como GEL, CMC y XTN los cuales son de gran uso en la industria alimentaria.

Los polisacáridos son carbohidratos que tienen un número considerable de monosacáridos unidos entre sí a través de enlaces glucosídicos: son coloides que no tienen color ni sabor y su peso molecular puede llegar incluso hasta varios millones. Actualmente se emplea mucho el término hidrocoloide para referirse a los polisacáridos,

ya que debido a su gran capacidad para retener agua, forman partículas coloidales altamente hidratadas. Los polisacáridos son considerados productos de la policondensación de monosacáridos unidos glucosídicamente con la eliminación de agua, formando cadenas lineales o ramificadas que pueden estar constituidas por un solo monosacárido, como el almidón y la celulosa, o bien estar formados por diferentes monosacáridos como es el caso de la mayoría de los hidrocoloides. A los primeros se les denomina homopolisacáridos y a los segundos heteropolisacáridos.

Los hidrocoloides, tanto naturales como sintéticos, se usan ampliamente en la industria alimentaria para controlar las propiedades reológicas de muchos productos. Algunos hidrocoloides no contribuyen al valor nutritivo del alimento ya que el humano no los metaboliza por carecer del sistema enzimático necesario para degradarlos y pasan a formar parte de la fibra cruda y además no imparten olor o sabor a los productos finales en los que se emplean. Otra de sus propiedades es la neutralidad al ser mezclados con los alimentos. Al ser aditivos insípidos, incoloros e inodoros mantienen a los alimentos inalterados, por lo tanto, no afectan sus propiedades organolépticas. Hay algunos hidrocoloides que para desarrollar sus propiedades reológicas deben hidratarse con calentamiento, mientras que hay otros que de preferencia deben hidratarse en agua a temperatura ambiente o en frío.

El término hidrocoloide se refiere a un grupo de polisacáridos con propiedades gelificantes y espesantes. Originalmente los hidrocoloides eran considerados como productos de exudación de plantas, sin embargo, hoy se incluyen muchos polímeros sintéticos. Los hidrocoloides semisintéticos son productos derivados de materiales naturales como la celulosa y el almidón y otros de origen microbiano como la xantana y la gelana. Diversos polímeros naturales tienen algunas características propias de los

hidrocoloides, por lo que hay autores que los incluyen en la clasificación general de estos últimos. Una clasificación general que suele darse a los hidrocoloides es la que se muestra en el Cuadro 1 (Badui, 1981).

CUADRO 1. Clasificación de algunos hidrocoloides.

Naturales	Semisintéticos	Sintéticos
Exudados de árboles Arábigo Tragacanto Karaya Gatti	Derivados de celulosa CMC Metilcelulosa Hidroxipropilmetilcelulosa Hidroximetilcelulosa	Polímeros vinílicos Alcohol polivinílico Polímeros carboxivinílicos
		Polímeros acrílicos
Semillas Algarrobo Guar	Gomas microbianas Dextrana Xantana Gelana	Ác. Poliacrílicos
		Poliacrilamida
Extractos de algas marinas Agar Alginatos Carragenina Furcellarana	Pululana	Polímeros de óxido de etileno
	Derivados de almidón Almidón carboximetílico Almidón hidroxietílico Almidón hidroxipropílico	
Otros Pectina Gelatina Almidón	Otros	
	Pectina baja en metoxilo Alginato de propilenglicol	

1.1 IMPORTANCIA DE LOS HIDROCOLOIDES EN LOS ALIMENTOS

Los hidrocoloides se utilizan ampliamente debido a su alto poder espesante, por lo que pueden impartir diferentes viscosidades a los alimentos en los que se emplean. Existen varios factores que influyen en la viscosidad y las propiedades reológicas de las dispersiones de hidrocoloides: la concentración del polímero, su peso molecular promedio, las interacciones que tenga con otros constituyentes y el esfuerzo cortante al

que se sujetan (Badui, 1981). Agregar hidrocoloides a los alimentos ayuda a incrementar la vida de anaquel, pues la apariencia natural se conserva durante mayor tiempo debido a que no se deshidrata. El uso de los diferentes hidrocoloides en la industria alimentaria es amplio y variado: en la producción de helados, confitería, jugos de fruta, vinos, cerveza, mayonesa, quesos, mermeladas, aderezos, embutidos, alimentos dietéticos. Las gomas o hidrocoloides tienen aplicación en diferentes áreas alimentarias; si tomamos como ejemplo el uso de los congelados, los hidrocoloides actúan controlando la cristalización, su función principal es atrapar el agua libre, reducir la actividad acuosa y controlar el tamaño y la forma de los cristales, facilitando así el proceso de congelado y logrando una cristalización suave y homogénea, ya que de no emplearlos, la cristalización del agua del sistema es completamente heterogénea, pudiendo formar picos que dañen al alimento. Cuando no se adicionan hidrocoloides, la superficie del producto se torna blanca por la deshidratación superficial del agua libre, afectando en forma directa las propiedades organolépticas y, por tanto, su aceptación por parte del consumidor.

Para los procesos de congelación se pueden utilizar diversos tipos de hidrocoloides, los más usados son: goma guar, xantana y carragenina tipo lambda, que no forma geles y puede actuar como agente de viscosidad, mientras que las dos primeras controlan la cristalización. Los hidrocoloides ayudan a obtener un congelado homogéneo, mejorando la apariencia del producto y dándole ventaja sobre otros del mercado. Cuando no se utilizan, los productos se muestran destruidos, dañados en su estructura, pierden cuerpo y textura. En el caso de los cárnicos se inyecta una solución. En alimentos preparados, como tacos, se incorpora en la masa de la tortilla. Los niveles de uso para esta aplicación van desde 0.15 hasta el 0.3 % máximo, por tanto, es mínimo lo que se

adiciona, pues su función principal es captar humedad y atrapar el agua del sistema. Algunas veces se utilizan otros ingredientes, como fosfatos, mismos que también controlan la cristalización o son agentes amortiguadores. Asimismo, se pueden utilizar sales, como en las carnes, pues evitan que la proteína “encoja”. Por ello, el momento ideal para aplicar el hidrocólido dependerá básicamente del tipo de alimento, pero, por lo regular, se adiciona antes de ser procesado. Los hidrocólidos son compatibles con gran cantidad de alimentos, sin embargo, en el caso de verduras, aunque pueden utilizarse, su aplicación es distinta. Por lo regular se aplica directamente al alimento, aunque en verduras, por su tamaño y estructura, es complicado, por tanto, es preferible rociarlas para controlar la cristalización superficial.

Los hidrocólidos no afectan el tejido de los productos cárnicos, al contrario, lo protegen, ya que la carne tiene una estructura proteínica y un contenido de agua natural de alrededor de 70%, por lo cual, si se cristaliza sin control, se daña el tejido, las fibras se destruyen y dan apariencia café al momento de descongelar; además, los picos del mismo cristal de hielo pueden destruir el tejido. Con el hidrocólido, se logra que la cristalización no lo dañe y al momento de descongelar el producto mantenga los jugos naturales de la carne y la estructura quede intacta. Los hidrocólidos han logrado gran penetración en los productos cárnicos, sobre todos en cortes finos.

1.1.1 XANTANA (XTN).

La xantana es un polisacárido natural de alto peso molecular que se produce en un proceso de fermentación de cultivo puro por medio del microorganismo *Xantomonas campestris*. Es muy soluble en agua caliente o fría y da lugar a soluciones altamente

viscosas a bajas concentraciones. Las soluciones viscosas son pseudoplásticas y exhiben un característico adelgazamiento como respuesta a la aplicación de fuerzas de cizalla. Los cambios de temperatura en las cercanías de 60-70 °C tienen poco efecto sobre la viscosidad de las soluciones y la goma misma es estable. Las variaciones en el intervalo de pH 6-9 tienen también poco efecto sobre la viscosidad, e incluso fuera de ese intervalo de pH tienen poca importancia los cambios de viscosidad.

La xantana se disuelve directamente en muchas soluciones ácidas, pero se obtienen mejores resultados al agregar ácido a una solución ya preparada. En presencia de la mayoría de los ácidos orgánicos, la estabilidad es excelente. En cuanto a los ácidos minerales, su compatibilidad con ella depende del tipo de ácido y de su concentración. Se debe hacer notar, sin embargo, que a altas temperaturas se acelera la hidrólisis ácida del polisacárido ocasionando viscosidades más bajas (Fennema, 1993). La xantana es usada en bebidas para mejorar su palatabilidad y liberación del aroma, y en los jugos de naranja para estabilizar la turbidez. A causa de esta estabilidad térmica es usada como espesante y estabilizante en muchos alimentos enlatados como se ilustra en el Cuadro 2.

La estructura de este hidrocoloide es una porción lineal que está compuesta por unidades repetidas de D-Glucosa y es químicamente idéntica a la celulosa. Las cadenas laterales que influyen en su solubilidad en agua están dadas por subunidades de D-Manosa y de ácido D-Glucorónico y también contienen 3% en peso de Piruvato (Anónimo, 1991; Wallingford y Labuza, 1983), según se muestra en la Figura 1.

CUADRO 2. Aplicaciones más importantes de la xantana en alimentos.

AREA	PRODUCTO	FUNCION
Aderezos	Aderezos para ensaladas, salsas.	Estabilizar la emulsión. Impartir propiedades de flujo.
Polvos	Bebidas, salsas, jugos, postres.	Proporcionar viscosidad.
Jarabes, coberturas	Coberturas de chocolate, helados, panqués, jarabes, salsas, condimentos.	Aumentar viscosidad, estabilidad y propiedades de flujo
Bebidas	Jugos, bebidas	Suspensión de partículas.
Lácteos	Queso cottage, crema, quesos pasteurizados, helados bebidas lácteas	Estabilizar emulsiones. Evitar desuerado. Control de viscosidad. Estabilidad térmica.
Productos horneados	Pastas, pan de frutas, pasteles, pastas congeladas	Impartir propiedades pseudo-plásticas para facilitar bombeo. Estabilizar suspensiones. Estabilidad congelamiento – descongelamiento. Retención de humedad.

1.1.2 CARBOXIMETILCELULOSA (CMC).

La CMC es una modificación química de la celulosa. El derivado de celulosa más ampliamente utilizado es su sal sódica. Esta es obtenida tratando la celulosa con una mezcla de hidróxido de sodio y ácido cloroacético. La celulosa aniónica reacciona nucleofílicamente desplazando al átomo de cloro para producir un enlace éter. Es usada principalmente para incrementar la viscosidad de los alimentos, cuya viscosidad disminuye con el incremento de la temperatura. Las soluciones son estables a pH 5-10, con un máximo a pH 7-9. Forma sales solubles con cationes divalentes dando como resultado dispersiones turbias. Los cationes divalentes pueden inducir tanto la gelificación como la precipitación. La carboximetilcelulosa coopera en la disolución

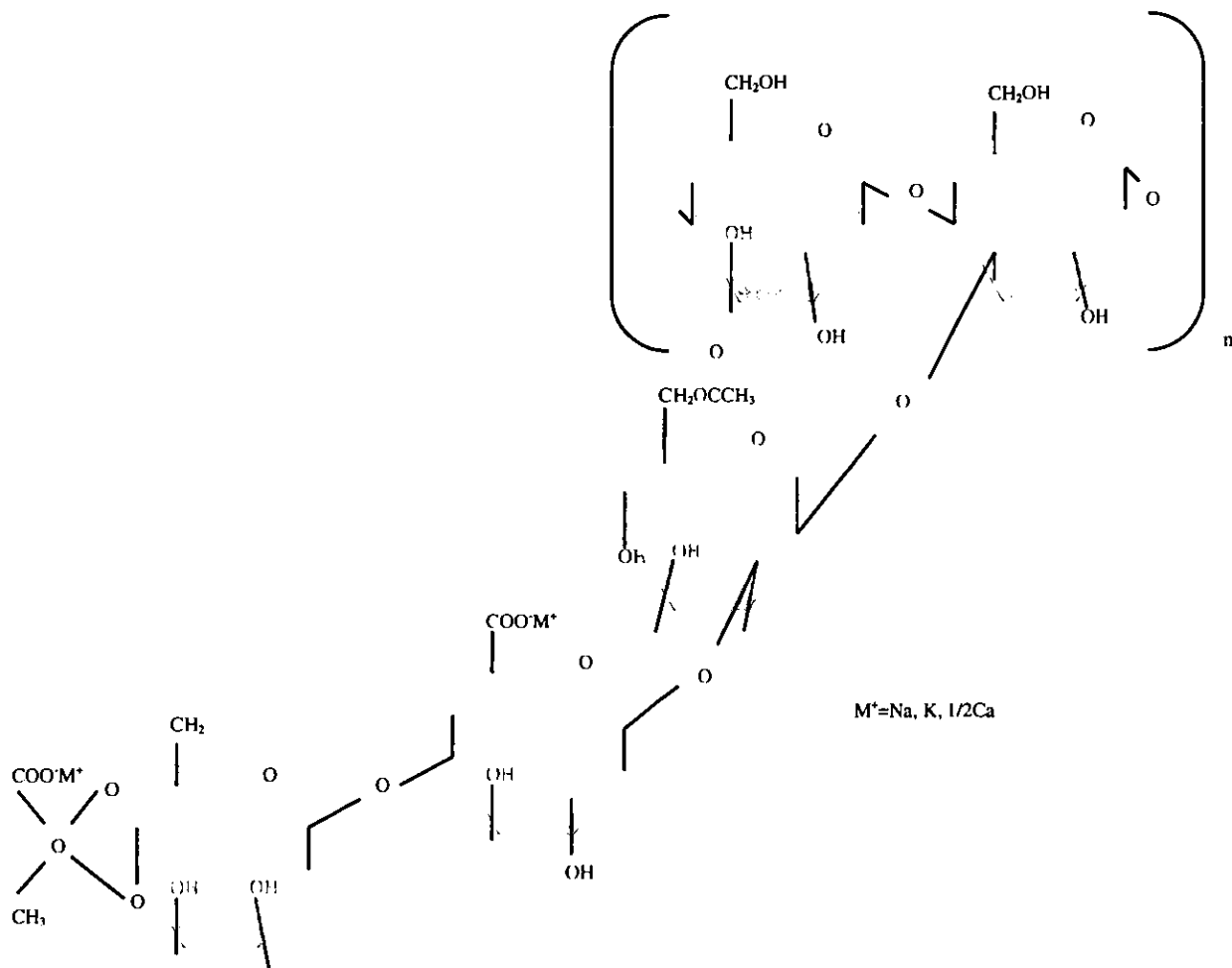


FIGURA 1. La estructura de la xantana es una porción lineal compuesta por unidades repetidas de D-glucosa y cadenas laterales formadas por subunidades de D-manosa y ácido D- glucurónico, contiene 28 grupos polares.

de proteínas habituales en alimentos como son la gelatina, la caseína o las de soya. El mecanismo incluye la formación de un complejo Carboximetilcelulosa-Proteína observable por el incremento de viscosidad de la solución.

Debido a sus propiedades reológicas altamente deseables y a su falta de toxicidad y digestibilidad, ha encontrado gran y variado uso en alimentos. Actúa como ligante o espesante en rellenos de tartas, pudines, flanes y quesos para extender, al mismo tiempo que su buena capacidad de retención de agua la hace útil en helados y otros postres en los que inhibe el crecimiento de los cristales de hielo. Retarda también el incremento de cristales de azúcar en productos de confitería, glaseados y jarabes y productos de pastelería. Coopera con la estabilización de emulsiones en salsas para ensalada. Es utilizada en alimentos dietéticos para mejorar las propiedades reológicas que serían normalmente proporcionadas por la sacarosa. En las bebidas carbonatadas bajas en calorías, ayuda a retener dióxido de carbono (Fennema, 1993).

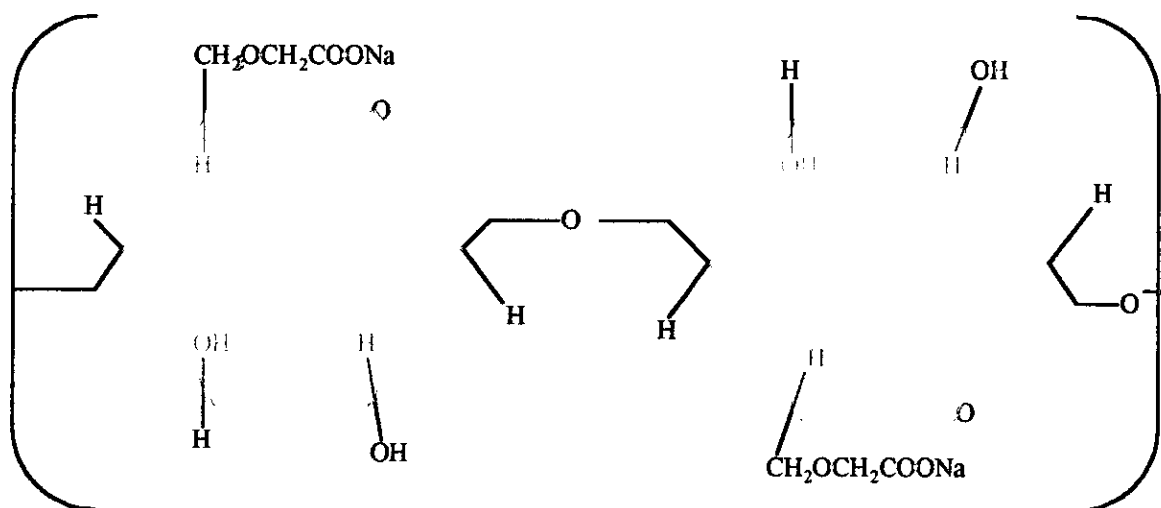


FIGURA 2. La estructura de la carboximetilcelulosa está formada por unidades repetidas de celobiosa en la cual se ha sustituido hidrógenos por grupos carboximetílicos y contiene 12 grupos polares.

1.1.3 GELANA (GEL).

La gelana es un polisacárido descubierto en 1978 pero aprobado hasta 1990 por la administración de fármacos y alimentos de los Estados Unidos (FDA por sus siglas en inglés) como aditivo en alimentos y comercializado con el nombre Kelcogel. Es un agente gelificante, multifuncional aun a niveles de uso muy bajos. Se usa debido a que tiene las siguientes propiedades: gelifica, es compatible con otros hidrocoloides originando una variedad de texturas del gel, facilita la modificación de los atributos de textura del gel si se modifica su concentración y la de los iones (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+) que favorecen su gelificación, es estable sobre un amplio intervalo de pH en el medio (3.5 - 8.0), forma geles a concentraciones tan bajas como 0.05% masa, tiene gran capacidad para realzar los sabores de frutas y sus geles son claros.

Es un agente gelificante que puede ser usado sin dificultad en un amplio intervalo de gelificación o estructurando productos alimenticios. Existen dos formas: la acilada y la no acilada. Ambas se usan en varias presentaciones en alimentos. La parcialmente acilada o de alto acilo forma un gel termoreversible que es suave y no quebradizo. El más aplicado en alimentos es la forma con bajos contenidos de acetilo o de bajo acilo, la cual es preferida por formar geles que son más rígidos o firmes aunque más quebradizos.

La gelana es un polisacárido extracelular de origen microbiano producido por fermentación aerobia de *Sphingomonas paucimobilis* y esta constituida por unidades repetidas de monosacáridos como 1,3 β -D-glucosa, ácido 1,4 β -D-glucurónico, 1,4 β -D-glucosa y 1,4 α -L-ramnosa en proporciones moleculares de 1:1:1:1 respectivamente. Estos monosacáridos forman un tetrasacárido que constituye la unidad estructural básica

que se repite formando la estructura primaria del polisacárido según se muestra en la Figura 3. En su forma nativa (alto acilo) tiene sustituyentes D-acetilo y D-L- glicerilo en cada tercera glucosa enlazada en el polímero, el grupo acetilo en la posición 6 de la glucosa y el glicerilo, que es el predominante, en la posición 2. Debido a que el grupo glicerilo es voluminoso impide la asociación y ocasiona cambios significativos en la textura del gel, por ello la gelana nativa o acilada forma geles de textura muy diferente a los formados por la desacilada. Estos sustituyentes pueden eliminarse intencionalmente durante el proceso de producción comercial produciendo una gelana desacilada.

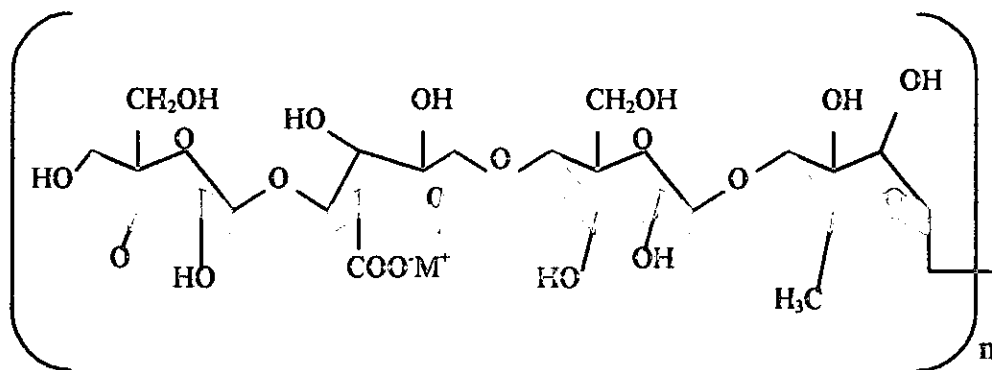


FIGURA 3. La estructura de la gelana desacilada esta constituida por unidades repetidas de monosacáridos como 1,3 β -D-glucosa, ácido 1,4 β -D-glucurónico, 1,4 β -D-glucosa y 1,4 α -L-ramnosa, los cuales forman un tetrasacárido que constituye la unidad estructural básica que se repite formando la estructura primaria del polisacárido, contiene 19 grupos polares.

La gelana desacilada es parcialmente soluble en agua fría, se disuelve por calentamiento de las dispersiones acuosas a temperatura superiores a los 70 °C, la solubilidad se incrementa reduciendo el contenido iónico del agua, es decir se requiere de temperaturas superiores conforme la fuerza iónica del medio dispersante es mayor. Generalmente el subsecuente enfriamiento de la solución resulta en la formación del gel. Requiere de la presencia de cationes como calcio, magnesio, potasio o sodio para promover la gelificación una vez enfriada.

La estructura de la forma de bajo acilo permite la formación del gel por asociación que conduce a la formación de una doble hélice. Los geles obtenidos son similares a los de carragenina y agar; ambos son conocidos por formar dobles hélices. Especialmente la de bajo acilo forma geles texturizantes similares a los de la carragenina la cual también requiere de cationes monovalentes o divalentes para gelificar. Los geles de gelana son altamente resistentes a la degradación enzimática por lo que se usan como medio de cultivo en lugar de los de agar (Harris, 1990; George y Ross, 1983; Donald, 1993 y FDA, 1990). La agregación de hélices y la formación de la red tridimensional en los geles de gelana que se induce por la presencia de cationes muestran que el proceso de gelificación y las propiedades físicas de los geles están relacionados con la naturaleza, tipo y valencia de los cationes divalentes promoviendo una gelificación más fuerte y a mayor temperatura en comparación con los cationes monovalentes. Lo anterior se ha atribuido a la factibilidad que tienen los cationes divalentes de formar geles termoreversibles en donde se inhibe más fácilmente la destrucción de enlaces secundarios en la red.

La gelana es un agente gelificante que presenta ventajas en relación con los hidrocoloides convencionales ya que los geles obtenidos a partir de la goma desacilada

son duros, firmes, quebradizos y poco elásticos. Estos atributos de textura pueden no ser muy apreciados en un alimento y por este motivo se ha optado por hacer mezclas con otros hidrocoloides para impartir nuevas cualidades a los geles o mejorar algunas de las ya existentes.

1.2 ADSORCION DE AGUA POR LOS ALIMENTOS

El contenido de humedad de un alimento se refiere a toda el agua en forma global que contiene, sin considerar que en la mayoría de los alimentos existen zonas o regiones microscópicas que debido a una alta concentración de lípidos no permiten la presencia de agua, obligándola a distribuirse en forma heterogénea a través del producto. La actividad de agua determina el grado de interacción del agua con los demás constituyentes de los alimentos y es una medida indirecta del agua disponible para llevar a cabo las diferentes reacciones a los que están sujetos (Badui, 1981). Es conveniente resaltar que la actividad de agua es una propiedad intrínseca de la muestra, mientras que la humedad relativa de equilibrio es una propiedad de la atmósfera en equilibrio con la muestra.

Las fuerzas moleculares en la superficie de un líquido se encuentran en un estado de insaturación o sin balancear. Lo mismo ocurre para las situadas en la superficie de un sólido donde las moléculas o iones no tienen satisfechas todas las fuerzas de unión con otras moléculas, por lo que las atraen hacia sí a las de los gases u otras sustancias con las que se ponen en contacto reteniéndolas en la superficie. Este fenómeno de concentración de una sustancia *sobre* la superficie de un líquido o un sólido se

denomina *adsorción* y la sustancia atraída sobre la superficie se llama *fase adsorbida* o *adsorbato*, mientras que aquélla a la que se adhiere es el *adsorbente*.

1.2.1 ADSORCIÓN DE GASES POR SÓLIDOS.

Aunque es posible que todos los sólidos adsorban gases en algún grado, la adsorción por regla general no es muy pronunciada, a menos que el adsorbente posea una superficie considerable por unidad de masa. La cantidad de gas adsorbido por un sólido depende de la naturaleza y área del adsorbente y del gas adsorbido, así como de la temperatura y presión del gas. En la adsorción se establece un verdadero equilibrio entre el gas en contacto con el sólido y el de la superficie; es decir, para un adsorbente y gas dados, el grado de adsorción bajo cualquier condición de temperatura y presión es definido y reproducible. Como en todos los equilibrios, el proceso de adsorción se ve afectado considerablemente por la temperatura. Si ésta se incrementa, aquélla disminuye y si la temperatura disminuye la adsorción aumenta. (Maron y Pruton, 1973).

1.2.2 TIPOS DE ADSORCIÓN

El estudio de la adsorción de varios gases en las superficies de los sólidos revela que las fuerzas que operan no son siempre iguales. Generalmente, se reconocen dos tipos de adsorción, esto es, una física o de Van der Waals y otra química o activada. La primera se caracteriza por sus calores bajos, del orden de 10,000 calorías o menos por mol de adsorbato y por el hecho de que el equilibrio es reversible y se establece rápidamente. Las fuerzas que intervienen son de igual naturaleza que las que desvían a

los gases de su conducta ideal, es decir, son de tipo Van der Waals. Por otro lado, la adsorción activada o química va acompañada de cambios caloríficos más acentuados que van desde 20,000 hasta 100.000 calorías, lo que ocasiona una ligadura mucho más firme del gas a la superficie.

Frecuentemente interesa conocer la relación entre la actividad de agua (a_w) de una muestra y su humedad de equilibrio puesto que es importante conocer el comportamiento de la muestra bajo diferentes condiciones de humedad relativa, por ejemplo, durante su almacenamiento, sea éste bajo refrigeración o no. La humedad relativa, que en el equilibrio es igual a la actividad de agua (a_w), se relaciona con el contenido de agua del alimento a través de sus correspondientes isothermas de adsorción. La relación entre la presión de vapor del agua desarrollada por el material orgánico y su contenido de humedad en el equilibrio se grafica en dichas isothermas. Las curvas de adsorción no son estrictas para cada alimento ya que dependen directamente de la temperatura a la que éste se encuentra. Con base en esto se ha vuelto una práctica común controlar el valor de la a_w de los alimentos para aumentar su vida de anaquel y conservar su valor nutritivo y propiedades organolépticas.

1.2.3 ISOTERMAS

La relación entre la cantidad de sustancia adsorbida por un adsorbente y la presión o concentración de equilibrio a una temperatura constante se denomina isoterma de adsorción. Por lo tanto las isothermas de adsorción son las representaciones que interrelacionan el contenido de agua, expresado en masa de agua por unidad de masa de materia seca, de un alimento con su actividad de agua a temperatura constante. La

información que puede derivarse de dicha representación es útil en los procesos de concentración y deshidratación, porque la facilidad o dificultad para eliminar el agua está relacionada con la actividad de agua y para evaluar la estabilidad de los alimentos (Fennema, 1993). La afinidad entre los productos alimenticios y el agua está explicada por las isotermas de adsorción, donde cada punto sobre estas curvas corresponde a un estado de equilibrio. Los principales factores ambientales que controlan el comienzo y cinética de las reacciones de alteración son el tiempo, la temperatura, la humedad y la composición atmosférica. El nivel de estos factores determinará la causa de la alteración que prevalecerá en un proceso de almacenamiento y la rapidez de reacción de la alteración. El factor actividad acuosa es quizá el más importante para los procesos bioquímicos y biológicos, ya que, independientemente de la composición de los materiales alimenticios, en altas concentraciones de agua la descomposición de los alimentos es causada por el crecimiento de bacterias y hongos y por reacciones enzimáticas y no enzimáticas y, a bajas concentraciones de agua, las pérdidas de calidad son causadas principalmente por reacciones auto-oxidativas y por deterioro físico.

1.3 METODOS UTILIZADOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DE AGUA EN HIDROCOLOIDES.

1.3.1 METODO DE BAUMANN

El dispositivo que se usa en el método capilar de Baumann es un recipiente con agua conectado a un capilar calibrado con el que se mide la cantidad de agua adsorbida por medio de una diferencia de nivel que ocurre por efecto de la adsorción por la

muestra una vez alcanzado el equilibrio. El polvo (1-30 mg) es colocado en un papel filtro y éste a su vez se pone sobre un vidrio poroso el cual permite el paso del agua hacia la muestra adsorbiéndose hasta el equilibrio. Previamente se mide la cantidad de agua adsorbida tanto por el vidrio poroso como por el papel filtro utilizado para sólo tener la cantidad neta adsorbida por la muestra (ver Figura 4). Existe una modificación al método de Baumann (Torgersen y Toledo, 1977) (ver Figura 5) que consiste en sustituir el recipiente con agua por una cámara cerrada de plástico la cual se conecta con una manguera de látex y el capilar calibrado es sustituido por una pipeta de 1 mL graduada en 1/100 mL la cual se coloca con una ligera inclinación horizontal. La manguera se conecta por un extremo con la cámara de plástico y por el otro extremo con la pipeta la cual se coloca al mismo nivel que el papel filtro que está dentro la cámara. Posteriormente se llena la cámara de plástico con agua destilada hasta nivelar el agua con el cero de la pipeta y sin que se cubra el papel filtro. En este trabajo se sustituyó la cámara de plástico por un embudo de vidrio y se utilizó como base dentro del embudo un vidrio poroso y sobre este el papel filtro en el cual se colocó el hidrocóide (ver Figura 6).

Se ha trabajado en la determinación de la CRA con diferentes hidrocóides como xantana, carragenina, guar, karaya, gelatina, agar, pectina y algarrobo utilizando los métodos de Baumann, la adsorción isotérmica y el método de punto de congelación (Wallingford y Labuza, 1983). Otros autores han determinado la CRA con los métodos anteriormente citados junto con el método de centrifugación en fibras de plantas y salvado de semillas (Chen y col., 1984). El método de Baumann se ha usado con gelatina, fécula de papa y carragenina y con el método modificado de Baumann se ha

determinado la CRA de proteína de suero de leche, proteína de cacahuete y proteína de pollo (Torgensen y Toledo, 1977).

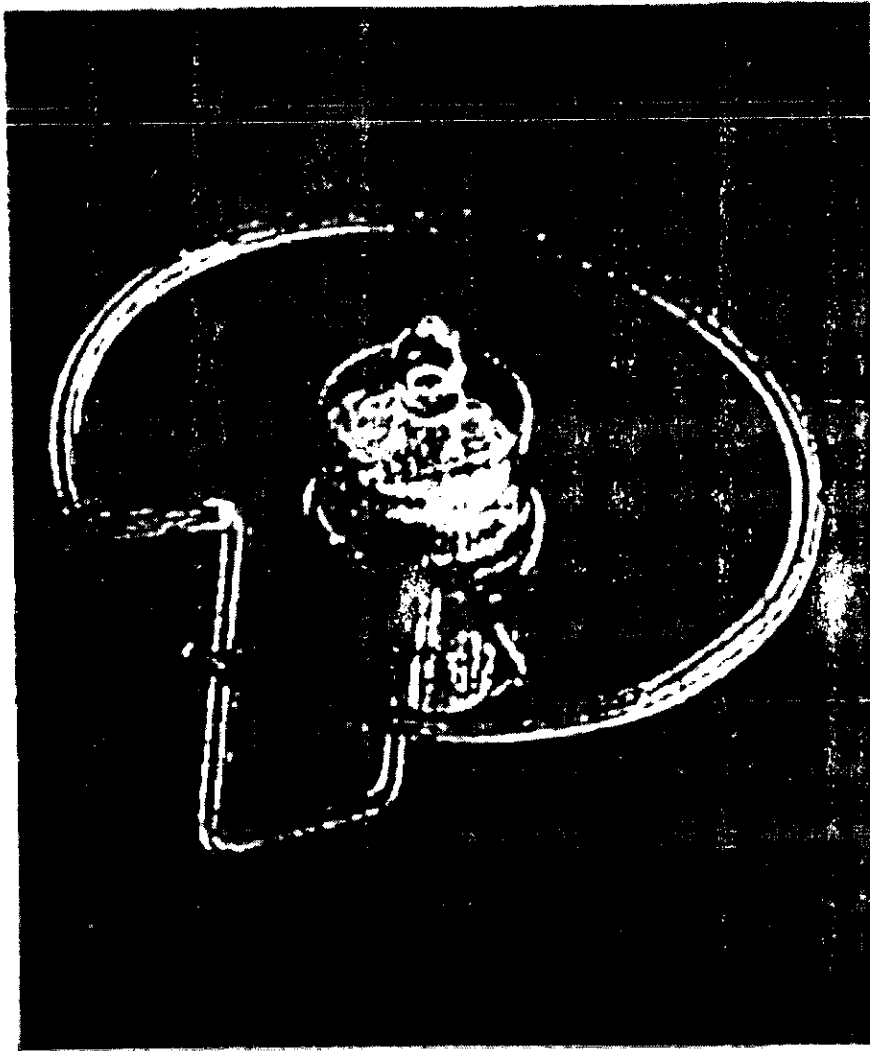


FIGURA 4. Componentes del método original de Baumann.

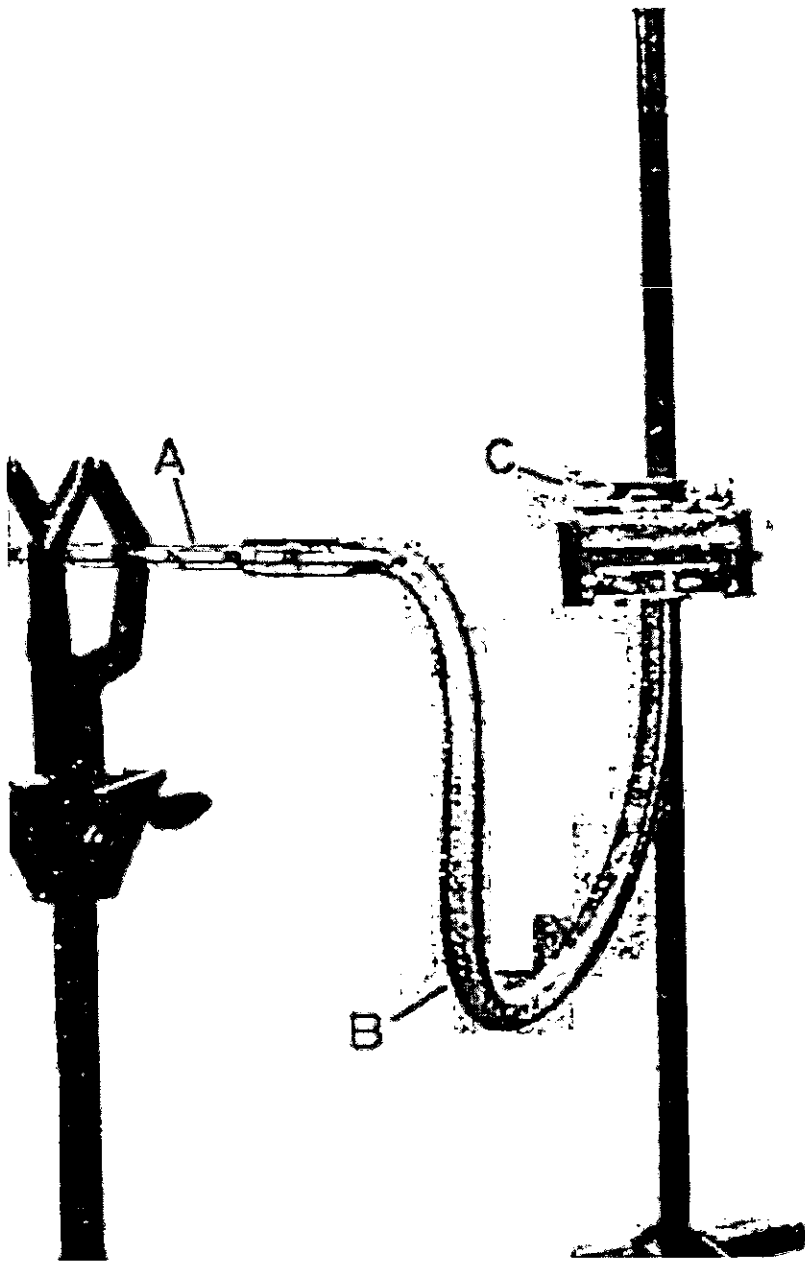


FIGURA 5. Detalles del método modificado del método de Baumann (Torgersen y Toledo, 1977). Pipeta graduada de 1 mL (A) conectada a una manguera de latex de 30 cm de largo (B) la cual a su vez está conectada a una cámara cerrada de plástico (C) que contiene en la base un papel filtro.

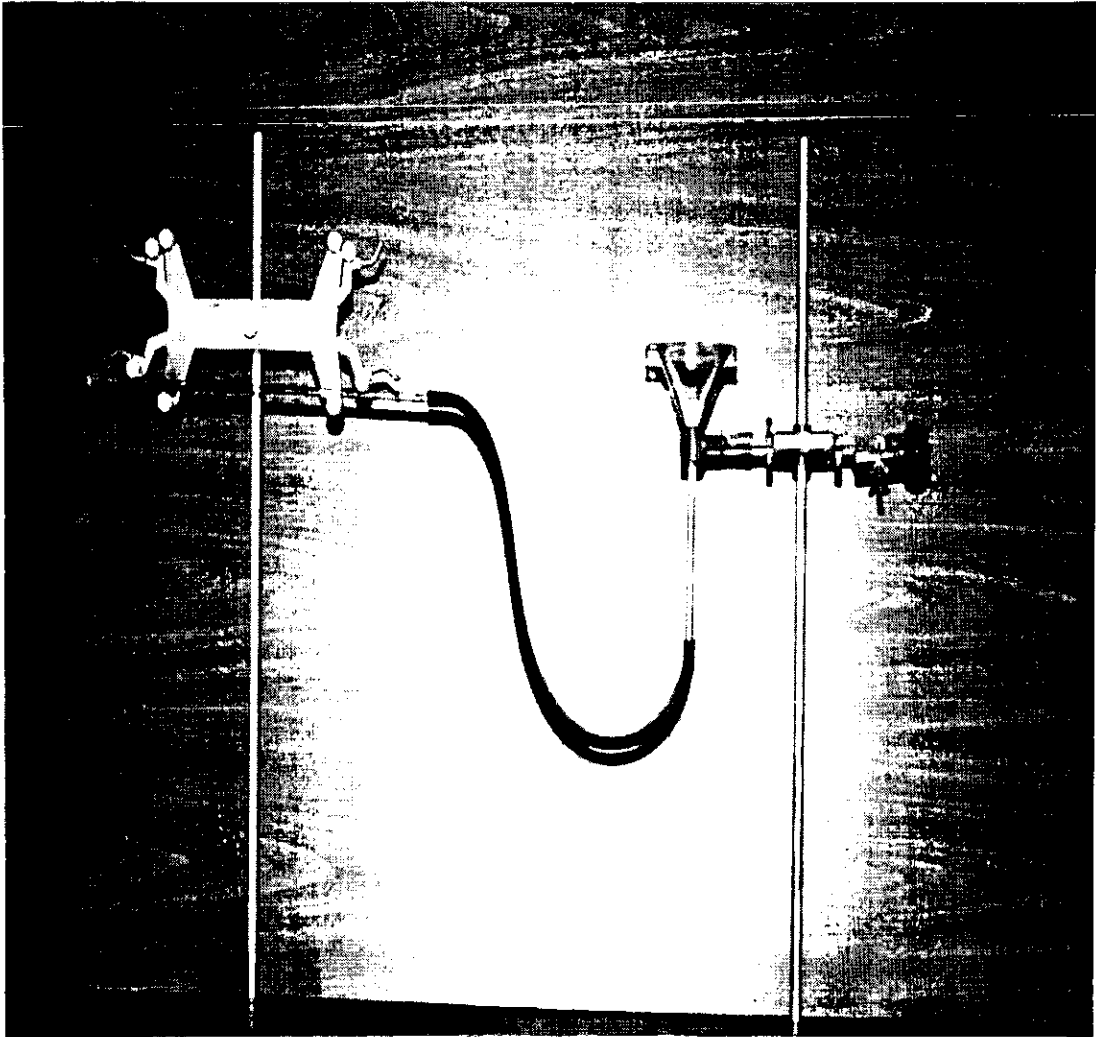


FIGURA 6. Componentes y su arreglo usados en el presente estudio.

1.3.2 ADSORCIÓN ISOTERMICA.

Este método consiste en colocar el material en cámaras cerradas en el interior de las cuales se genera una humedad relativa conocida y estable. Una vez que se ha alcanzado el equilibrio con la humedad del aire generada en la cámara, se determina el contenido de agua del material. El procedimiento se efectúa para diferentes humedades relativas y se grafican las correspondientes humedades de equilibrio para construir la isoterma de adsorción. Para generar dichas atmósferas de humedad constante se emplean soluciones saturadas de algunas sales que generan humedades relativas conocidas. Dentro de estas cámaras existe una transferencia de humedad por difusión del gas en el sólido. El equilibrio final de humedad depende de la distribución de los grupos polares, la accesibilidad de estos grupos con el agua, las interacciones agua-agua y agua-macromolécula y de la humedad relativa así como de la porosidad del material y el área superficial (Badui, 1983; Elizalde y col., 1996).

CAPITULO 2

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 MATERIALES

Los polisacáridos fueron productos comerciales, todos grado alimenticio. Se usó xantana (Keltrol T, Kelco, San Diego), gelana (Kelcogel, Kelco, San Diego) y carboximetilcelulosa (Amtex, Guadalajara). Se determinó la humedad inicial de cada polisacárido por termobalanza (Anexo 2). La humedad inicial fue 11.7% para la xantana, 5.0% para la carboximetilcelulosa y 8.6% para la gelana. Esta humedad fue considerada tanto para calcular la cantidad de agua adsorbida por el método modificado de Baumann como por el de adsorción isotérmica. Para este último se prepararon soluciones saturadas de sales para crear atmósferas con una humedad relativa determinada. Las sales fueron grado reactivo y se indican en la sección 2.3.

2.2 MÉTODO MODIFICADO DEL CAPILAR DE BAUMANN

Un embudo de vidrio de tallo largo se sostuvo verticalmente con una pinza de tres dedos a una altura de 30 cm sobre la base del soporte. Se colocó en el embudo un vidrio poroso (poro mediano) de 4 cm de diámetro y 0.4 cm de espesor, el tallo del embudo se conectó a una manguera de látex de 50 cm de largo y 1 cm de diámetro. El otro extremo de la manguera se conectó a una pipeta de 1 mL con graduaciones de 1/100 mL la cual fue sostenida de manera horizontal en otro soporte universal a una distancia de 30 cm del embudo y a la misma altura del vidrio poroso. El aparato se llenó con agua destilada

por el embudo hasta sobrepasar el cero de la pipeta. Una vez humedecido el vidrio poroso, se esperó hasta que se estabilizó el movimiento de agua en la pipeta y entonces se colocó el papel filtro (Whatman No. 541, diámetro de 3.3 cm) sobre el vidrio poroso con ayuda de pinzas de disección y se dejó humedecer hasta que el nivel de agua en la pipeta no cambiara durante 10 minutos. Una vez humedecido completamente el papel filtro, se añadió agua hasta sobrepasar ligeramente el cero de la pipeta. Se quitó el exceso de agua con papel adsorbente y se equilibró a cero moviendo la pipeta para ajustarla con un movimiento de inclinación de arriba hacia abajo. Se dejó estabilizar aproximadamente 10 minutos. Se pesó 0.01 ± 0.002 g de cada uno de los hidrocoloídes por separado en un papel filtro previamente pesado y se dejó caer en forma de lluvia fina sobre el papel filtro colocado en el vidrio poroso. Se tapó el embudo para que el hidrocoloíde no captara agua de la atmósfera. Se calculó la masa de hidrocoloíde que cayó sobre el papel filtro húmedo, pesando nuevamente el papel filtro en el cual se pesó el hidrocoloíde y se obtuvo la masa del hidrocoloíde que cayó por diferencia de pesos. Se mantuvo la pipeta estable y se registró el cambio con el tiempo del volumen de agua adsorbida. El volumen se leyó directamente en la pipeta y el tiempo se midió con un cronómetro hasta que la variación de volumen fue muy pequeña, usualmente una diferencia de 0.01 mL en 20 minutos. La cantidad de agua adsorbida se calculó con la siguiente ecuación:

$$C_A = \frac{V_x}{m_s} \quad (1)$$

donde:

C_A = Cantidad de agua adsorbida, mL / g de hidrocoloíde seco.

V_x = Volumen de agua adsorbida al tiempo t, mL.

m_s = Masa inicial de hidrocoloíde seco, g.

2.3 ADSORCION ISOTERMICA

Se prepararon soluciones saturadas de las siguientes sales para obtener las humedades relativas indicadas:

<i>Compuesto</i>	<i>% HR</i>
CaCl ₂ - 6 H ₂ O	32.3
K ₂ CO ₃ - 2 H ₂ O	43.9
KCNS	47.6
Ca(NO ₃) ₂ - 4 H ₂ O	53.6
KBr	84
KNO ₃	93.2
CaSO ₄ - 2H ₂ O	98

Para la preparación de las soluciones saturadas se tomó en cuenta la solubilidad de cada sal (Anexo 1). Cada solución saturada se colocó en un desecador de vidrio (diámetro de 12.7 cm, altura de 10 cm) y se dejó durante 24 horas a 20 °C para que la cámara llegara a la humedad relativa deseada. En algunos casos se evacuó el aire del recipiente para llegar más rápido al equilibrio. Entonces, se colocaron lo más rápidamente posible charolas de aluminio (4 cm de diámetro), llevadas previamente a peso constante, y las cámaras cerradas fueron nuevamente mantenidas a 20 °C en una incubadora (Precision Scientific Inc Modelo 2 EG). En cada cámara se colocaron dos charolas con una masa de 0.200 ± 0.03 g de cada polisacárido así como una charola vacía para considerar la adsorción en la charola misma. A intervalos de 72 horas, se pesaron las charolas durante aproximadamente 30 días hasta que las muestras alcanzaron el equilibrio de humedad. Para construir las isothermas de adsorción se tomaron las últimas cinco masas ya en la zona de equilibrio de humedad para cada hidrocóide a las diferentes humedades relativas y se hizo un promedio. Se calcularon

las humedades de equilibrio y se graficaron contra las humedades relativas utilizadas.

Para ello se usaron las siguientes ecuaciones:

$$m_{A0} = h_0 * m_0 \quad (2)$$

$$m_s = m_0 - m_{A0} \quad (3)$$

$$h_e = \frac{m - m_0}{m_s} * 100 \quad (4)$$

donde:

h_e = humedad de equilibrio o masa de agua adsorbida por el hidrocoloide, g de agua adsorbida / 100 g de materia seca.

h_0 = Fracción de humedad inicial del hidrocoloide, g / g.

m_{A0} = Masa inicial de agua en el hidrocoloide, g.

m = Masa final de hidrocoloide, g.

m_0 = Masa inicial de hidrocoloide, g de hidrocoloide.

m_s = Masa de hidrocoloide seco, g.

A continuación se presenta un ejemplo de cálculo para obtener la humedad de equilibrio en una muestra de xantana:

Si $h_0 = 0.117$ g/g (11.7% de humedad inicial) y $m_0 = 0.2001$ g

entonces de la ecuación (2)

$m_{A0} = (0.117)(0.2001) = 0.0234$ g de agua (inicial).

y de la ecuación (3)

$m_s = 0.2001 - 0.0234 = 0.1767$ g de hidrocoloide seco.

Si al final de la adsorción $m = 0.2438$ g

entonces de la ecuación (4)

$$h_e = \frac{(0.2438 - 0.2001)}{0.1767} * 100$$

$h_e = 24.7\%$, es decir, 24.7 g de agua / 100 g de materia seca.

CAPITULO 3

RESULTADOS Y DISCUSION

3.1 ADSORCION ISOTERMICA

El Cuadro 3 muestra el aumento de masa con el tiempo debido a la adsorción isotérmica de agua para una humedad relativa de 32.3% de las muestras de xantana (XTN), gelana (GEL) y carboximetilcelulosa (CMC). Se observa que la cápsula de aluminio sin muestra (blanco) sólo tuvo una adsorción de humedad de 0.0004 g la cual se consideró despreciable frente al aumento de masa observado en los hidrocoloides.

CUADRO 3. Aumento de masa de los hidrocoloides con el tiempo para una humedad relativa de 32.3%.

Tiempo (h)	Blanco	XTN		GEL		CMC	
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 1	Muestra 2
0	0.1367	0.2001	0.2000	0.2001	0.2001	0.2001	0.2001
48	0.1370	0.2438	0.2428	0.2258	0.2260	0.2601	0.2601
120	0.1364	0.2453	0.2448	0.2263	0.2266	0.2622	0.2616
173	0.1367	0.2394	0.2405	0.2249	0.2253	0.2567	0.2555
288	0.1371	0.2420	0.2422	0.2258	0.2265	0.2604	0.2592
387	0.1371	0.2409	0.2409	0.2253	0.2253	0.2582	0.2566
484	0.1371	0.2393	0.2385	0.2237	0.2238	0.2546	0.2537
552	0.1371	0.2428	0.2438	0.2271	0.2271	0.2624	0.2607

Con las ecuaciones (2) a (4) mostradas en el capítulo anterior se calcularon las humedades de cada uno de los hidrocoloides con su respectivo duplicado para los diferentes tiempos de adsorción desde el inicio del experimento hasta el tiempo en el que ya no se observó un aumento significativo de la masa considerándose así que se llegó al equilibrio de adsorción. Para la humedad relativa de 32.3% el experimento se suspendió a las 552 horas como se observa en el Cuadro 3. El Cuadro 4 muestra el

cambio con el tiempo de la humedad de los tres polisacáridos para una humedad relativa de 32.3%.

CUADRO 4. Humedad en base seca (g agua adsorbida/100 g materia seca) de los tres hidrocoloides para una humedad relativa de 32.3%.

Tiempo (h)	XTN			GEL			CMC		
	Muestra 1	Muestra 2	Promedio	Muestra 1	Muestra 2	Promedio	Muestra 1	Muestra 2	Promedio
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48	24.7	24.2	24.5	14.1	14.2	14.1	31.6	31.6	31.6
120	25.6	25.4	25.5	14.3	14.5	14.4	32.7	32.4	32.5
173	22.2	22.9	22.6	13.6	13.8	13.7	29.8	29.1	29.5
288	23.7	23.9	23.8	14.1	14.4	14.2	31.7	31.1	31.4
387	23.1	23.2	23.1	13.8	13.8	13.8	30.6	29.7	30.1
484	22.2	21.8	21.9	12.9	12.9	12.9	28.7	28.2	28.4
552	24.2	24.8	24.5	14.8	14.8	14.8	32.8	31.9	32.3

La Figura 7 muestra la curva de humedad con el tiempo de los datos mostrados en el Cuadro 4. A diferencia del cuadro, la curva permite apreciar la forma en la que se alcanzó la humedad de equilibrio en cada caso. En todos los casos hubo un incremento marcado en las primeras 48 horas y una tendencia a mantener una misma humedad aunque con un cierto grado de dispersión. Para CMC esta dispersión fue mayor que para XTN y GEL. Esta dispersión pudo deberse a la perturbación sobre la humedad relativa provocada al abrir las cámaras para pesar los recipientes de aluminio. Sin embargo, puesto que no se conocía de antemano el tiempo necesario para alcanzar el equilibrio, fue inevitable perturbar el sistema. Es posible que después de cada perturbación el sistema tardara un cierto tiempo en volver a tratar de alcanzar un estado estacionario. Es interesante notar que el grado de dispersión está al parecer asociado con la capacidad de adsorción de agua ya que CMC que es la que mostró la mayor humedad de equilibrio (30.4%), también tuvo la mayor dispersión. La XTN, con una humedad de equilibrio menor (23.2%), mostró una menor dispersión y por último GEL, con una humedad de equilibrio de 13.9%, la más baja de las tres, mostró también la menor dispersión.

Siguiendo el mismo procedimiento se construyeron las curvas de humedad de equilibrio para las otras humedades relativas. Las Figuras 8 a 13 muestran el patrón de adsorción para las humedades relativas de 43.9, 47.6, 53.6, 84, 93.2 y 98%, respectivamente. Aunque la tendencia fue la misma, es decir, CMC siempre adsorbió más agua que XTN y GEL, vale la pena comentar algunos rasgos específicos de la adsorción a cada humedad relativa. Los datos asociados a estas figuras se muestran en los cuadros del Anexo 3.

Para una humedad relativa de 43.9% (Figura 8), el comportamiento de adsorción también mostró un aumento rápido en las primeras 48 horas pero la diferencia de adsorción entre CMC y XTN fue más notable. Sin embargo, el nivel de humedad de equilibrio fue significativamente menor que para una humedad relativa de 32.3%. Esto se tradujo en un efecto sobre la isoterma de adsorción que se comentará más adelante. La dispersión fue menor que para la humedad relativa precedente, pero también se observa que CMC mostró la mayor fluctuación de humedad que XTN y GEL las cuales mostraron una humedad de equilibrio muy similar. La Figura 9 muestra el patrón de adsorción para una humedad relativa de 47.6%. La adsorción fue similar a la de los casos precedentes y se mantuvo con esa misma tendencia aún para humedades relativas de 53.6% como se muestra en la Figura 10. Para humedades relativas más grandes hubo cambios significativos en el patrón de adsorción. Para 84% de humedad relativa (Figura 11) la adsorción ya no fue tan rápida en las primeras horas sino que aumentó gradualmente y alcanzó un valor que puede considerarse estacionario más allá de las primeras 100 horas e incluso hasta después de 150 horas. Igualmente, los niveles de humedad adsorbida aumentaron como era de esperarse debido a la mayor presión parcial de vapor de agua en la cámara y a la mayor diferencia de concentración entre el

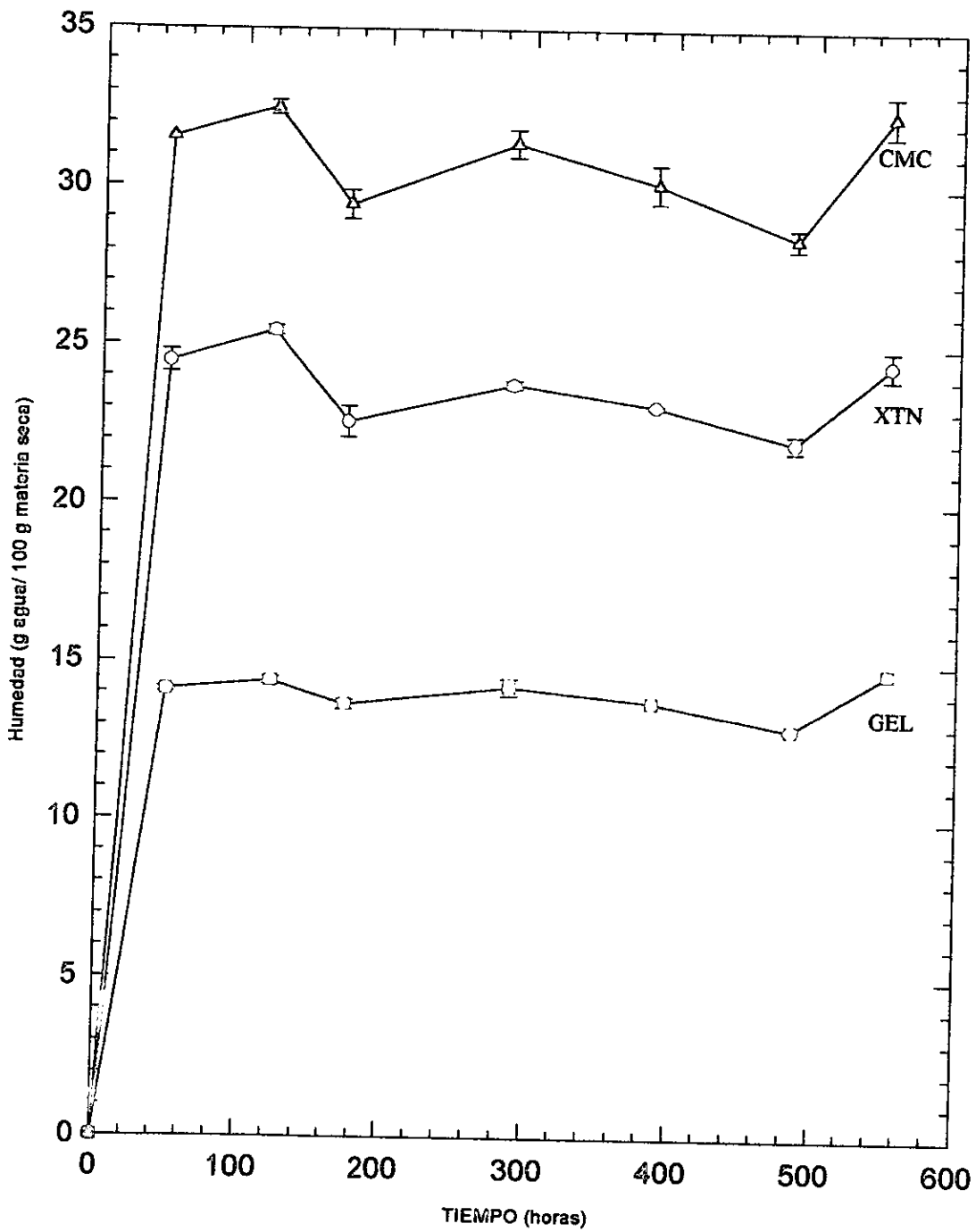


FIGURA 7. Comportamiento de la humedad adsorbida con el tiempo para CMC, XTN y GEL a 20 °C para una humedad relativa de 32.3%.

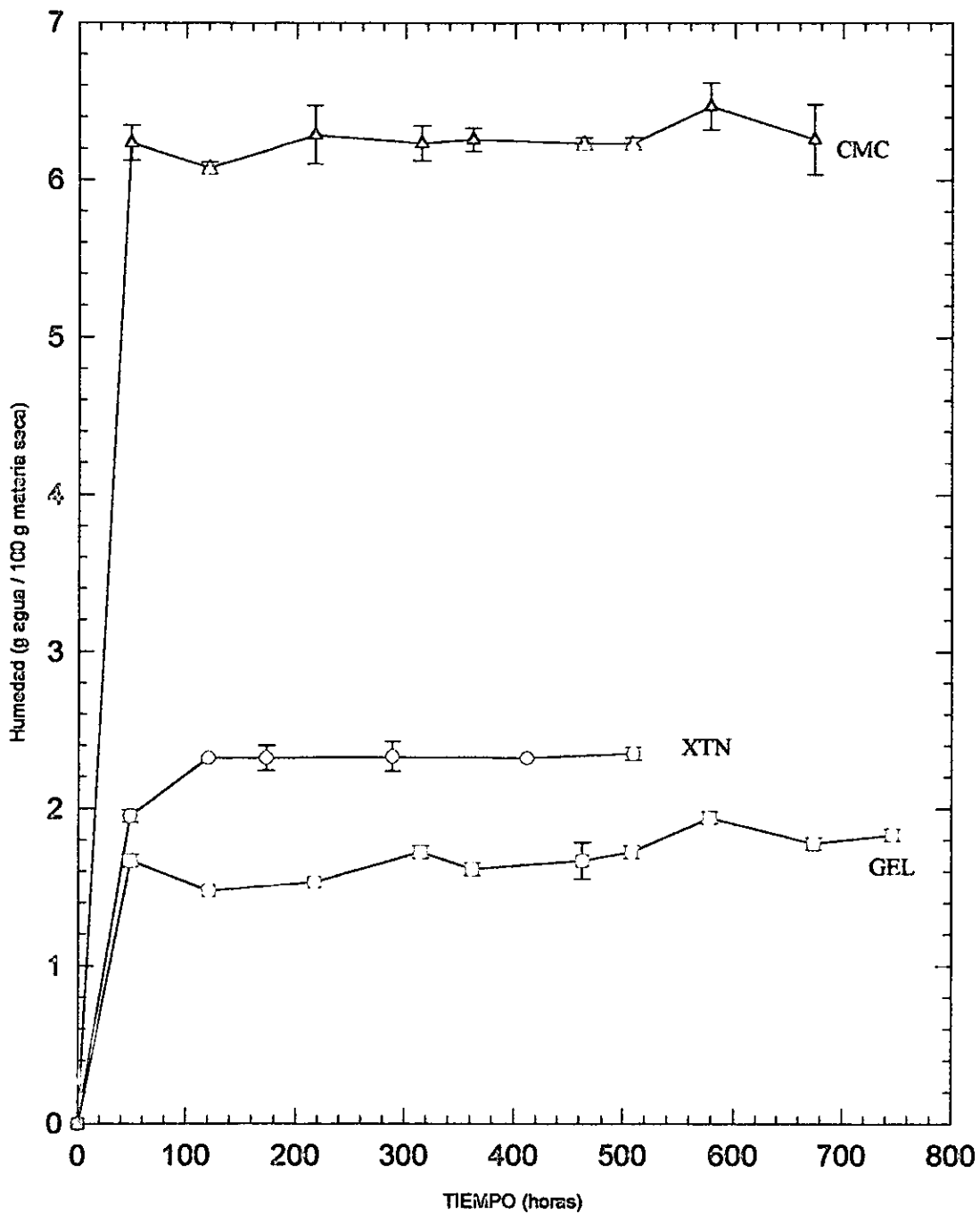


FIGURA 8. Comportamiento de la humedad adsorbida conforme transcurre el tiempo para CMC, XTN y GEL a 20 °C para una humedad relativa de 43.9%.

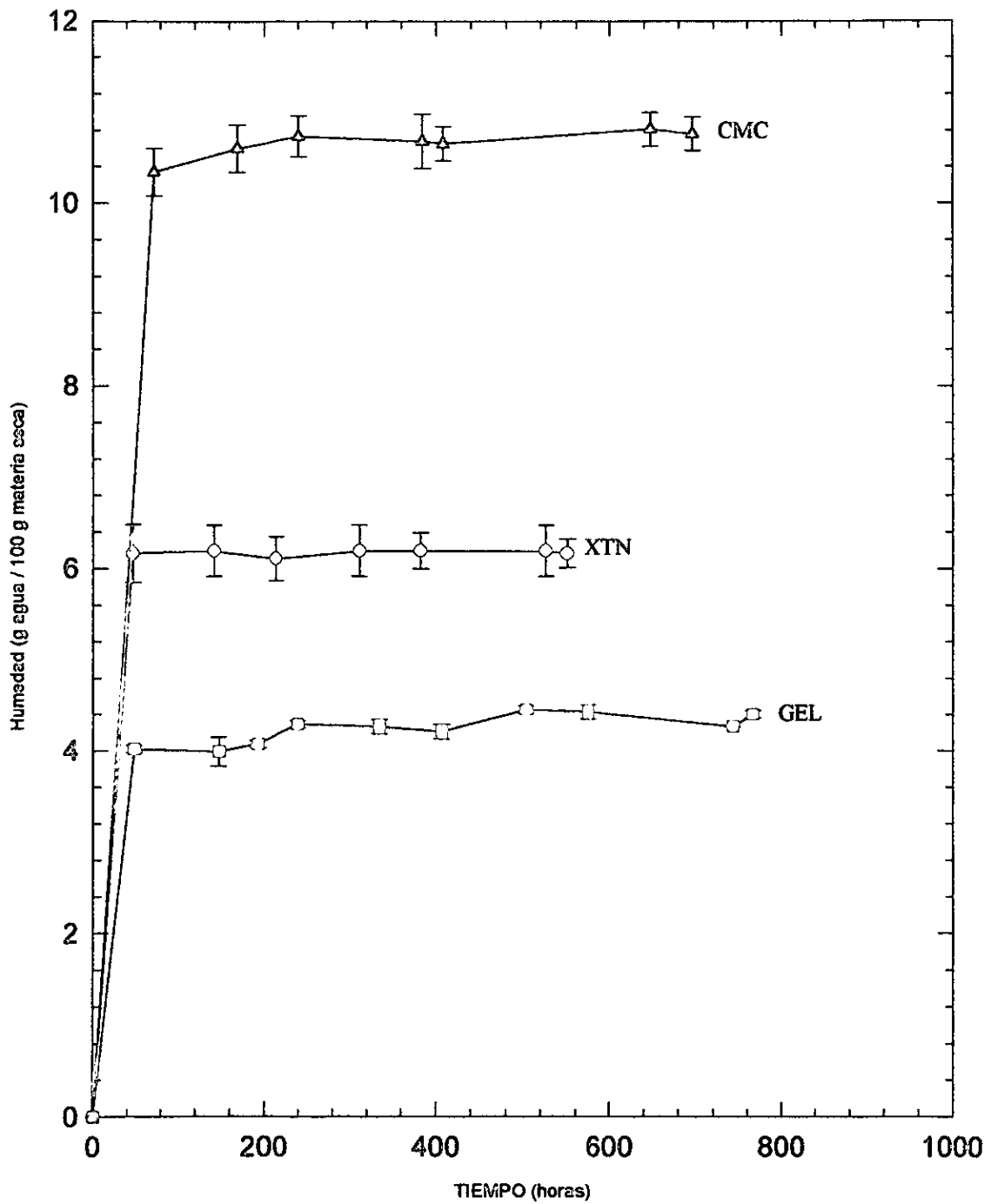


FIGURA 9. Comportamiento de la humedad adsorbida conforme transcurre el tiempo para CMC, XTN y GEL a 20 °C para una humedad relativa de 47.6%.

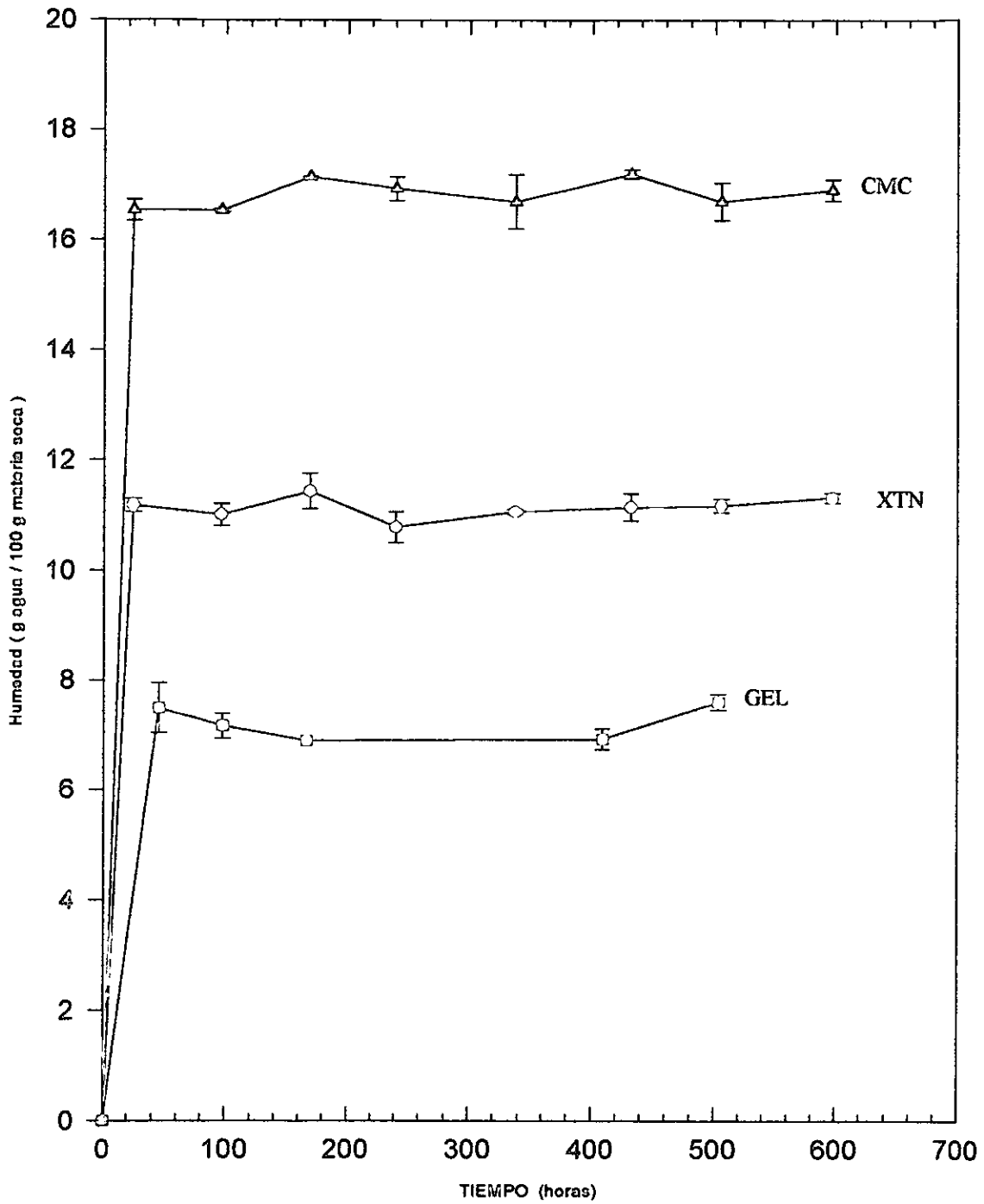


FIGURA 10. Comportamiento de la humedad adsorbida conforme transcurre el tiempo para CMC, XTN y GEL a 20 °C para una humedad relativa de 53.2%.

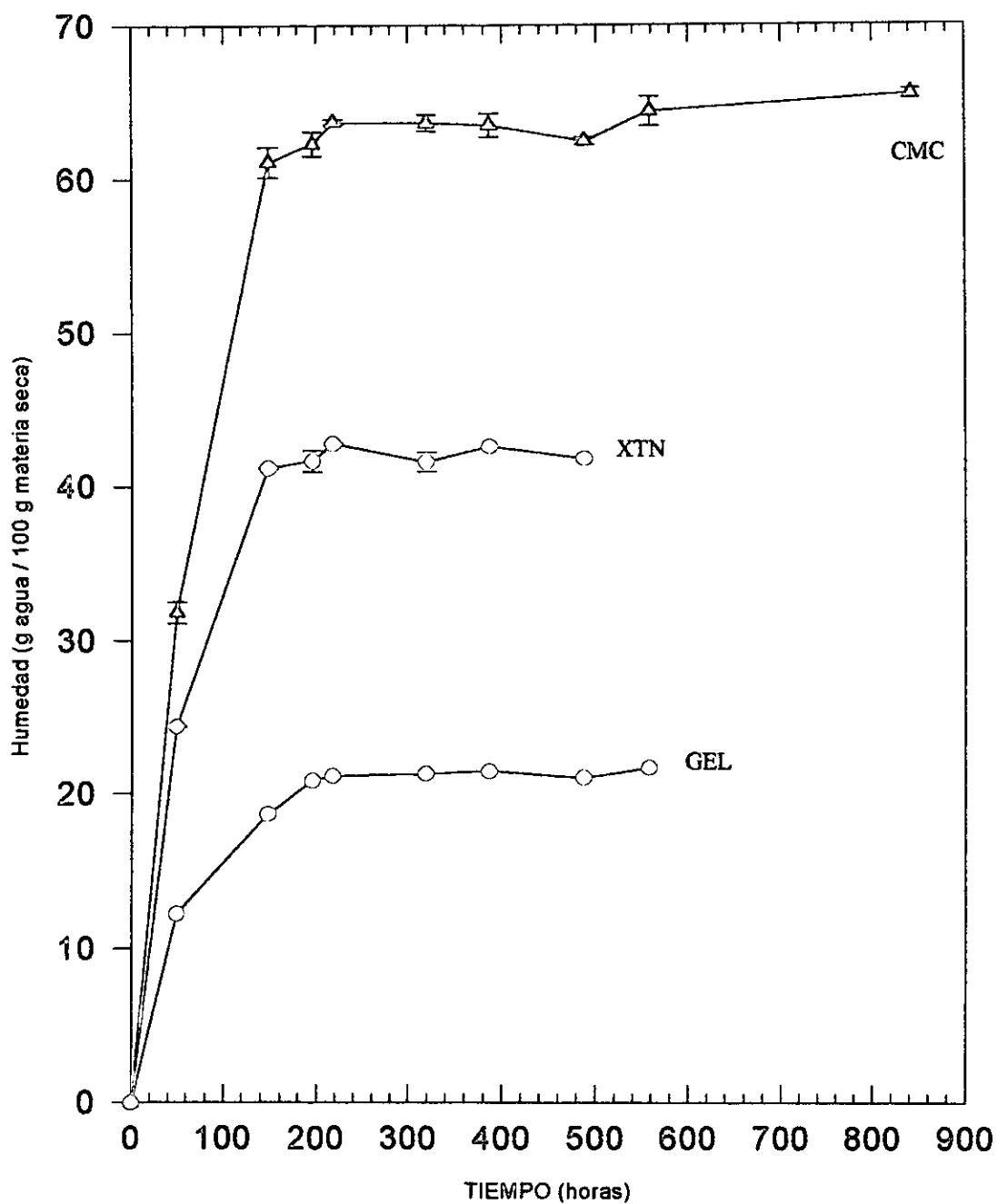


FIGURA 11. Comportamiento de la humedad adsorbida conforme transcurre el tiempo para CMC, XTN y GEL a 20 °C para una humedad relativa de 84%.

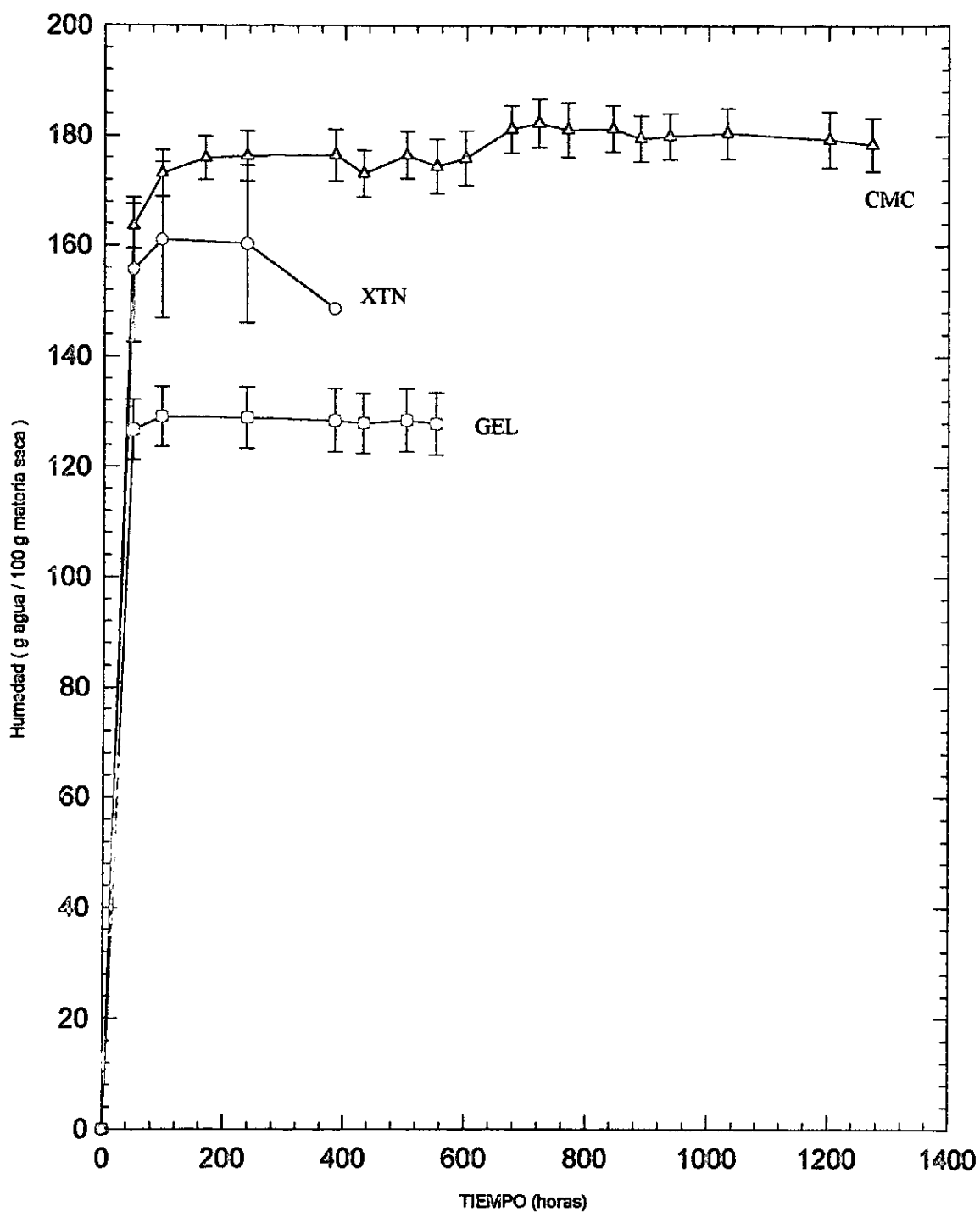


FIGURA 12. Comportamiento de la humedad adsorbida conforme transcurre el tiempo para CMC, XTN y GEL a 20 °C para una humedad relativa de 93.2%.

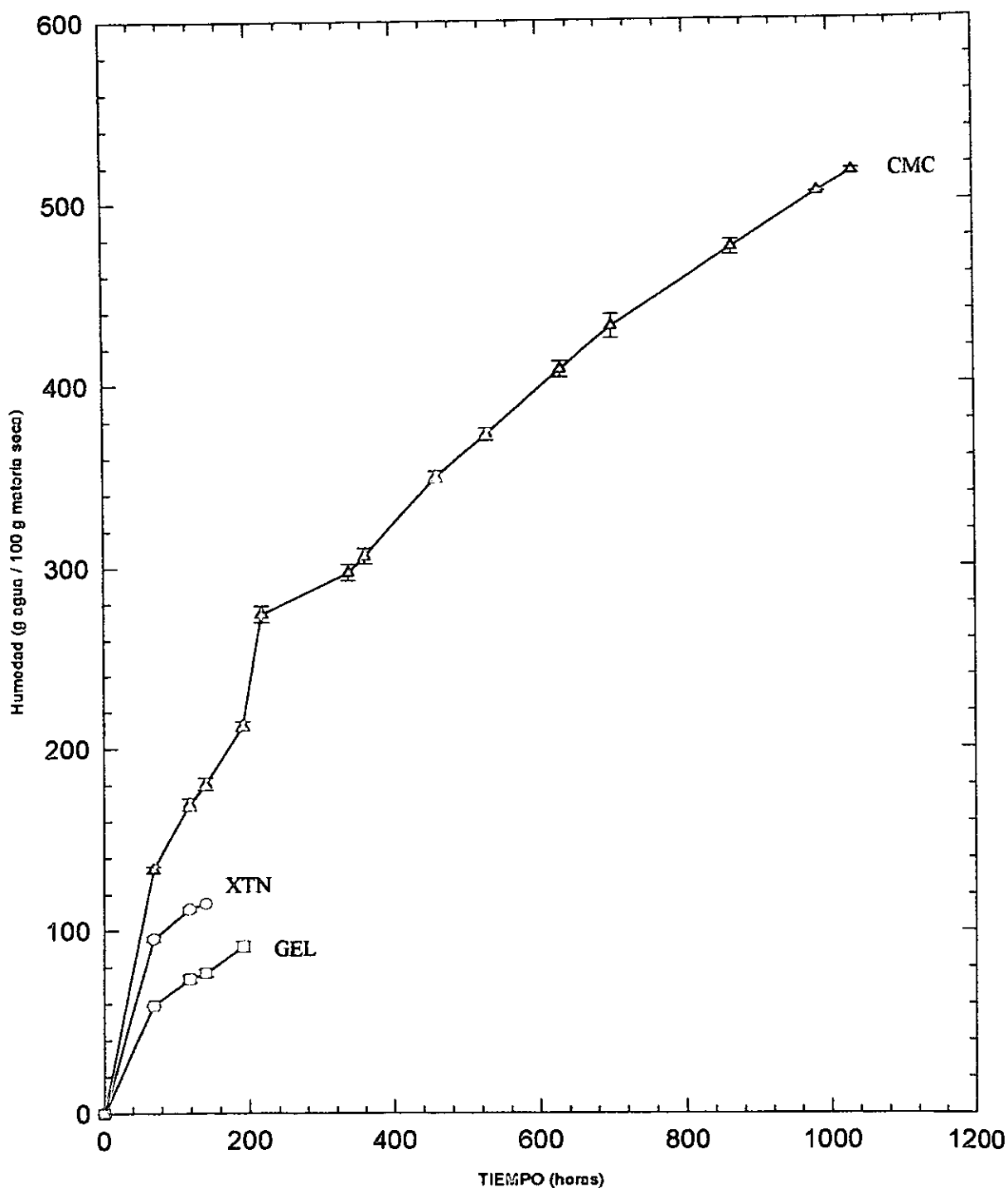


FIGURA 13. Comportamiento de la humedad adsorbida conforme transcurre el tiempo para CMC, XTN y GEL a 20 °C para una humedad relativa de 98%.

ambiente y los polisacáridos. El mismo comportamiento se observó para 93.2% de humedad relativa y también aumentó el error sobre el promedio de los valores para los duplicados. Es notable el caso de CMC la cual mostró las barras de error más amplias de todas las muestras. Un caso especial lo constituyó la humedad relativa de 98%. Según se observa en la Figura 13 nunca fue posible alcanzar el equilibrio aun sobre un intervalo de tiempo de más de 1000 horas (41 días) para CMC. En el caso de XTN y GEL no fue posible registrar el aumento de masa más allá de 120 y 200 horas, respectivamente, debido a la aparición de hongos en el polvo. Intentos adicionales por obtener el equilibrio produjeron los mismos resultados. Se decidió no agregar ningún fungicida para no cambiar las propiedades de la interfase.

3.2 ISOTERMA DE ADSORCIÓN

El Cuadro 5 muestra la humedad de equilibrio de los polisacáridos para una humedad relativa de 32.3%, calculada a partir del promedio de los últimos cinco valores de la curva de adsorción con el tiempo considerando la repetición.. En el Anexo 3, Cuadros 11 a 16, se incluyen los datos correspondientes al resto de las humedades relativas.

CUADRO 5. Humedad de equilibrio media para XTN, CMC y GEL a una humedad relativa de 32.3 %.

	h _e (%) base seca					Promedio	σ	Error relativo (%)
XTN	22.6	23.8	23.1	21.9	24.5	23.2	0.981	4.22
GEL	13.7	14.2	13.8	12.9	14.8	13.9	0.683	4.91
CMC	29.5	31.4	30.1	28.4	32.3	30.4	1.540	5.06

La Figura 14 muestra la isoterma de adsorción de los tres hidrocoloides en estudio, es decir, el cambio de la humedad de equilibrio con la humedad relativa ambiente. Vale

le pena recordar que bajo condiciones de equilibrio, esta última es igual a la actividad de agua de los materiales. La isoterma obtenida no muestra la tendencia sigmoideal característica de muchos alimentos. Para humedades relativas de 43.9 y 47.6 y 53.6% la humedad de equilibrio disminuyó notablemente con respecto a la de 32.3 %. Este efecto puede anticiparse observando la evolución de la humedad con el tiempo mostrada en las Figuras 7 y 8. Después de este descenso se observó un incremento continuo hasta 84% seguido de un incremento más pronunciado. Este comportamiento se observó en cada una de las repeticiones efectuadas y también en los tres hidrocoloides. Se desconoce la causa de este comportamiento considerado anómalo puesto que se esperaba un incremento continuo de la humedad de equilibrio con la humedad relativa. Este comportamiento aparentemente anómalo no a sido reportado en la literatura ni para alimentos ni para hidrocoloides. En los reportes se muestra la curva sigmoideal característica sobre un amplio intervalo de humedades relativas. Aunque originalmente se pensó que el descenso se debía a algún error en la preparación de las soluciones saturadas o incluso en la forma en que se condujeron los experimentos, esta posibilidad se descartó ya que después de varias repeticiones en las cuales se tuvo mucho cuidado en la preparación de las soluciones y la creación de la atmósfera controlada se observaron los mismos resultados para humedades relativas de 32.3, 43.9, 47.6 y 53.6%. Los experimentos realizados en este trabajo no explican el comportamiento anterior en los hidrocoloides y sólo se puede afirmar que para humedades relativas de 43.9, 47.6 y 53.6% la humedad de equilibrio fue menor para los tres hidrocoloides comparada con el resto de las humedades relativas, 84.0 y 93.2%, incluyendo 32.3%.

A partir de humedades relativas de 47.6% la humedad de equilibrio aumentó lentamente con la humedad relativa. A partir de una humedad relativa de 84% la

humedad de equilibrio aumentó más rápido dando la impresión de un comportamiento asintótico. Este comportamiento se observó sólo para CMC y GEL ya que con XTN la contaminación por hongos no permitió determinar la humedad de equilibrio. Esta contaminación también se observó en los tres hidrocolides para una humedad de 98.2%. El hidrocoloide CMC fue el que adsorbió mayor cantidad de agua; para una humedad relativa de 93.2% adsorbió 179.6 g de agua / 100g materia seca, es decir casi dos veces su masa seca. Por otro lado GEL adsorbió 128.3 g de agua/ 100g materia seca, mientras que para XTN no se logró apreciar la adsorción a esta humedad relativa. El Cuadro 6 muestra las humedades de equilibrio de los tres hidrocoloides para las distintas humedades relativas.

CUADRO 6. Humedad de equilibrio media de XTN, GEL y CMC para las diferentes humedades relativas.

% HR	HUMEDAD DE EQUILIBRIO (g de agua por cada 100g de materia seca)					
	XANTANA	σ	GELANA	σ	CARBOXIMETIL CELULOSA	σ
32.3	23.2	0.981	13.9	0.683	30.4	1.54
43.9	2.33	0.012	1.78	0.105	6.32	0.11
47.6	6.20	0.020	4.35	0.108	10.7	0.063
53.6	11.1	0.199	7.22	0.325	16.9	0.207
84	42.1	0.557	21.3	0.261	63.9	1.120
93.2	*		128.3	0.439	179.6	0.758

La CMC mantuvo la cantidad de humedad adsorbida más grande que la XTN y la GEL en todas las humedades relativas usadas. Para el hidrocoloide XTN se observó que en todas las humedades relativas generadas tuvo una cantidad de humedad adsorbida mayor que GEL pero menor que CMC. La GEL fue el hidrocoloide que adsorbió menor cantidad de agua por cada 100 g de hidrocoloide seco mostrándose esto en todas las humedades relativas usadas en este trabajo.

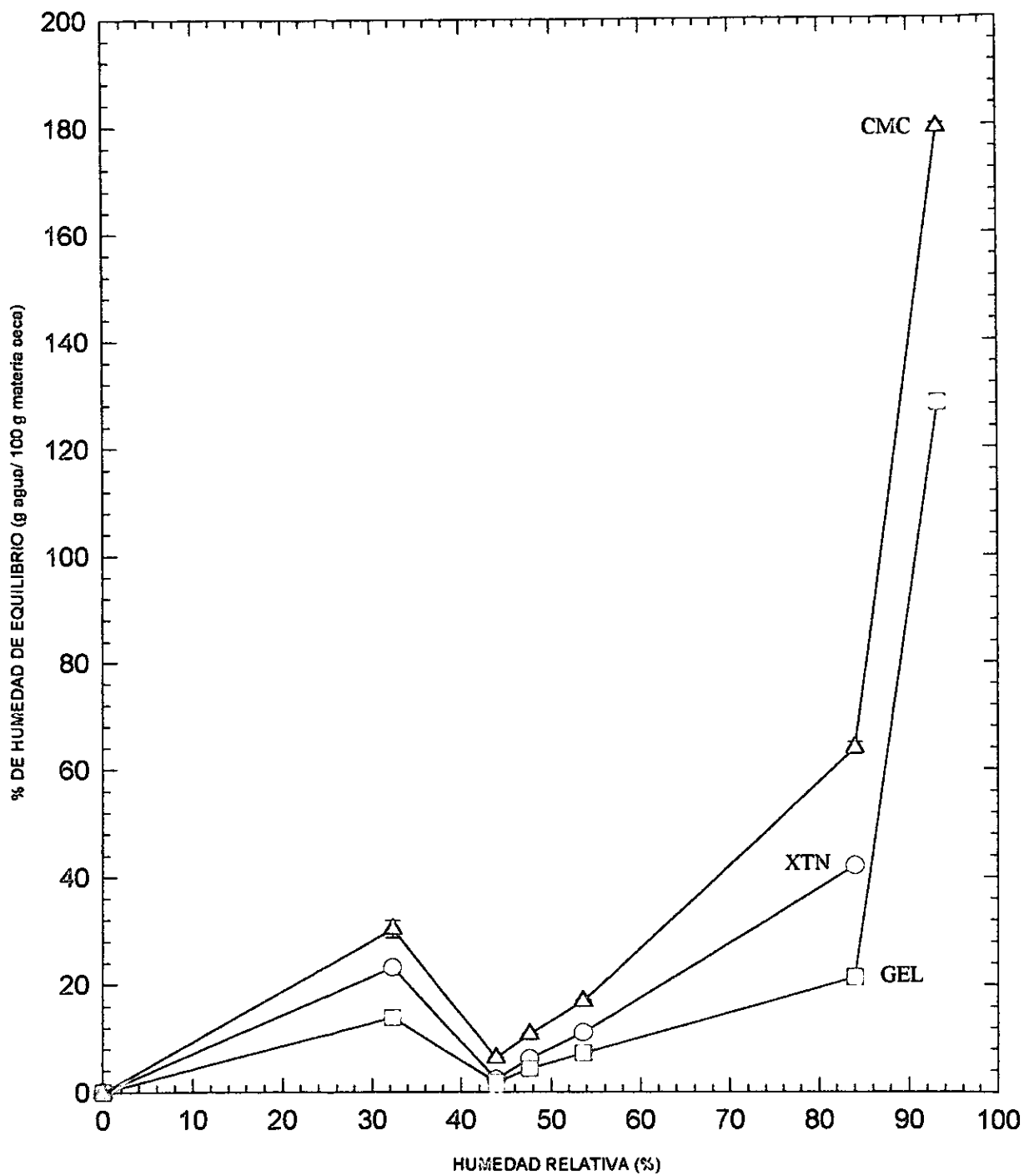


FIGURA 14. Isotherma de adsorción a 20 °C.

Las diferencias de capacidad de adsorción entre los tres hidrocoloideos pueden tratar de explicarse considerando algunas características estructurales y de conformación de los mismos. La CMC adsorbió mayor cantidad de agua, probablemente debido a que tiene una mayor disponibilidad de grupos polares (12) por unidad estructural y a que adopta una conformación no rígida en solución y en el estado sólido. Aunque la XTN tiene mayor número de grupos polares (28), tanto en el estado sólido como en solución adopta una conformación de doble hélice lo que la hace una molécula más rígida y con una estructura helicoidal en la cual las hélices asociadas forman zonas de superunión permitiendo una menor accesibilidad al agua. La GEL tiene un mayor número de grupos polares (19) por unidad estructural, comparada con CMC, pero también forma una interacción de doble hélice y una red tridimensional lo cual podría impedir la adsorción de agua.

3.3 CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DE AGUA POR EL MÉTODO MODIFICADO DE BAUMANN

En el Anexo 4 se muestran los volúmenes de adsorción de agua por masa de hidrocoloide, expresados en mL/g de materia seca, a diferentes tiempos. Con estos datos se construyeron las curvas de adsorción de los diferentes hidrocoloideos. En la Figura 15 se muestra la adsorción de agua con el tiempo para masas iniciales de gelana de 7.8, 8.1, 8.4 y 8.6 mg. En los primeros diez minutos la adsorción de agua fue muy similar para todas las masas iniciales usadas ya que en todos los casos ocurrió una adsorción muy rápida de agua de aproximadamente 20 mL/g de materia seca. Posteriormente la

velocidad de adsorción disminuyó notablemente observándose una tendencia al equilibrio, es decir, una adsorción máxima constante con el tiempo ocurrida entre los doce y catorce minutos y la adsorción fue de entre 23 y 24 mL/g de materia seca; sin embargo, el hidrocoloide continuó adsorbiendo agua más lentamente sin llegar a observarse claramente un equilibrio como se ha reportado en la literatura para el mismo método (Elizalde y Pilosof, 1996). En lugar de ello, el hidrocoloide continuó adsorbiendo agua obligando a detener el experimento, en algunos casos a los 153 minutos y en otros hasta los 266, debido a que el hidrocoloide comenzó a disolverse y a hincharse al grado de desbordar el papel filtro. Por otra parte, aunque para la mayor masa inicial de 8.6 mg se observó la mayor adsorción como era de esperarse una masa inicial de 8.1 adsorbió menos que una masa inicial de 7.8 mg y 8.4 mg las cuales mostraron una adsorción muy cercana. Esta discrepancia puede explicarse por el hecho de que al colocar 8.1 mg en el papel filtro el hidrocoloide ocupó una menor superficie de contacto que cuando se colocó una cantidad menor (7.8 mg) lo que provocó que el agua se adsorbiera más lentamente. Otra posibilidad es que cada vez que se usó una nueva muestra para determinar su adsorción se tuvo nuevamente que llenar con agua el sistema y ajustar la pipeta a la marca de cero por medio de un movimiento de inclinación de arriba hacia abajo. Por lo tanto, esta inclinación no siempre fue exactamente la misma para todas las muestras y las pequeñas diferencias de inclinación de la pipeta pudieron resultar en una adsorción más lenta o más rápida, la cual aunque no de una manera considerable sí se refleja en los resultados obtenidos. Debido a este comportamiento fue necesario examinar la adsorción sobre un intervalo de tiempo más corto (Figura 16) para poder observar mejor si todas las muestras utilizadas de gelana, diferentes sólo en la masa inicial, adsorbieron de forma semejante y en un tiempo

similar. En la figura se observa que en los primeros dos minutos sí hubo un comportamiento similar de adsorción rápida para todas las masas iniciales y aunque después la adsorción fue más lenta no hubo grandes diferencias entre todas las muestras.

Con los datos de la Figura 15 se obtuvieron los puntos en donde se inicia una tendencia al equilibrio para las diferentes masas iniciales y se muestran en el Cuadro 7. En cada caso se consideró la tendencia al equilibrio cuando la velocidad de adsorción se hizo más lenta con el tiempo y hubo un cambio notable de pendiente. Cabe indicar que en los experimentos efectuados, nunca se observó un completo equilibrio como se reporta en la literatura.

CUADRO 7. Adsorción de agua en la zona de tendencia al equilibrio, Q_e , para diferentes masas iniciales de gelana.

Masa inicial de gelana (mg)	Tiempo (minutos)	Q_e (g agua/ g de hidrocóloide)
7.8	12	23.08
8.1	14	23.46
8.4	12	23.81
8.6	12	24.42

En la Figura 16 se observa que a los dos minutos la gelana adsorbió agua rápidamente en comparación con el resto del tiempo y esta adsorción fue casi el doble de la masa inicial; 7.8 mg adsorbieron 16 mL de agua. Conforme aumentó la masa inicial de gelana, el agua adsorbida fue mayor; por ejemplo, para 8.6 mg se adsorbieron 22 mL a los mismos 2.8 minutos. Por lo tanto, este hidrocóloide es útil debido a que tiene una adsorción rápida de agua, ya que como se comenta más adelante, la adsorción fue más lenta con xantana y carboximetilcelulosa. Asimismo la cantidad de gelana a usar variará dependiendo de las necesidades del producto en cuanto a la cantidad de agua que se requiera adsorber.

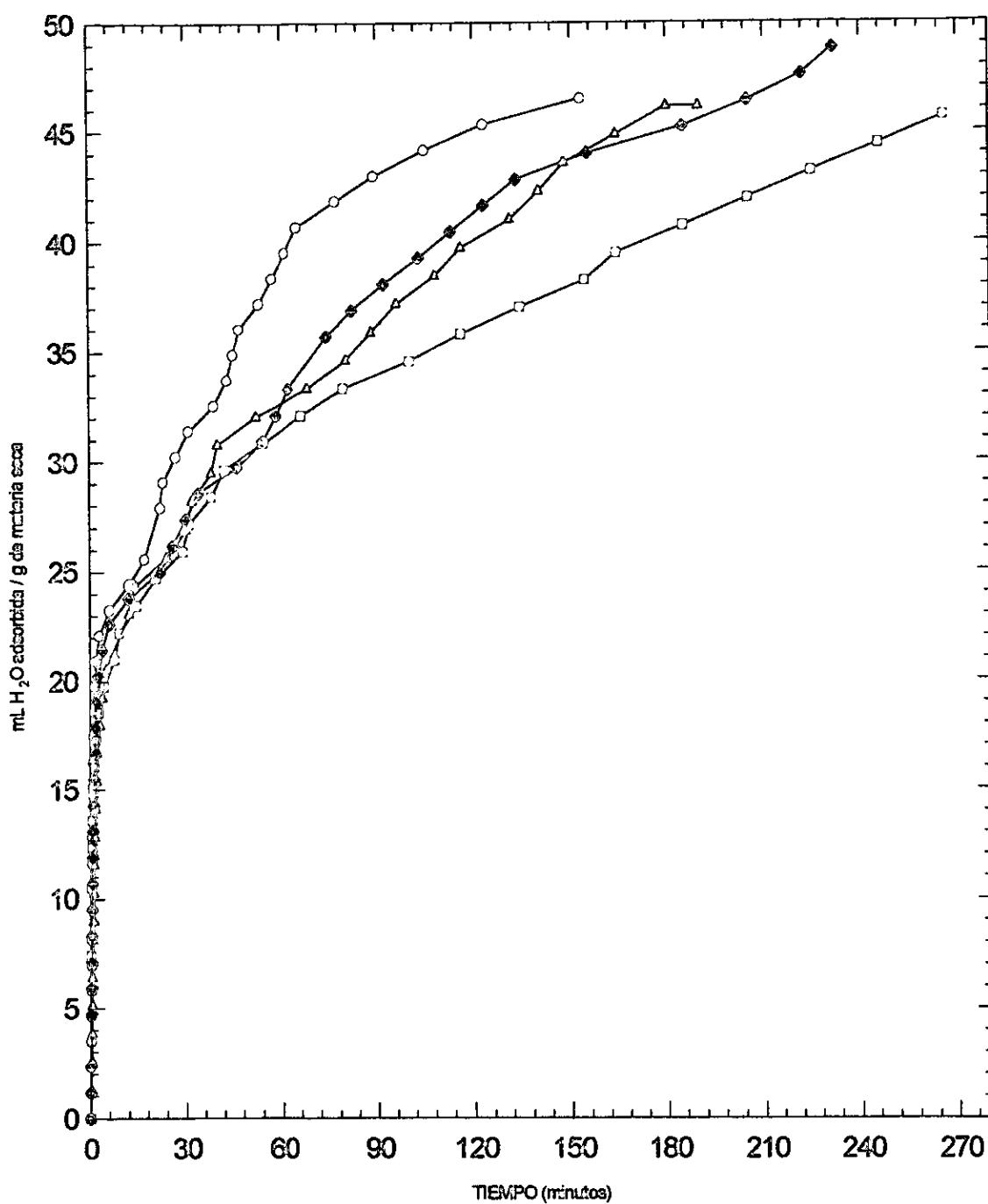


FIGURA 15. Adsorción de agua con el tiempo para diferentes masas iniciales (mg) de gelatina; 7.8 (triángulos amarillos), 8.1 (cuadros verdes), 8.4 (diamantes azules), 8.6 (círculos rojos).

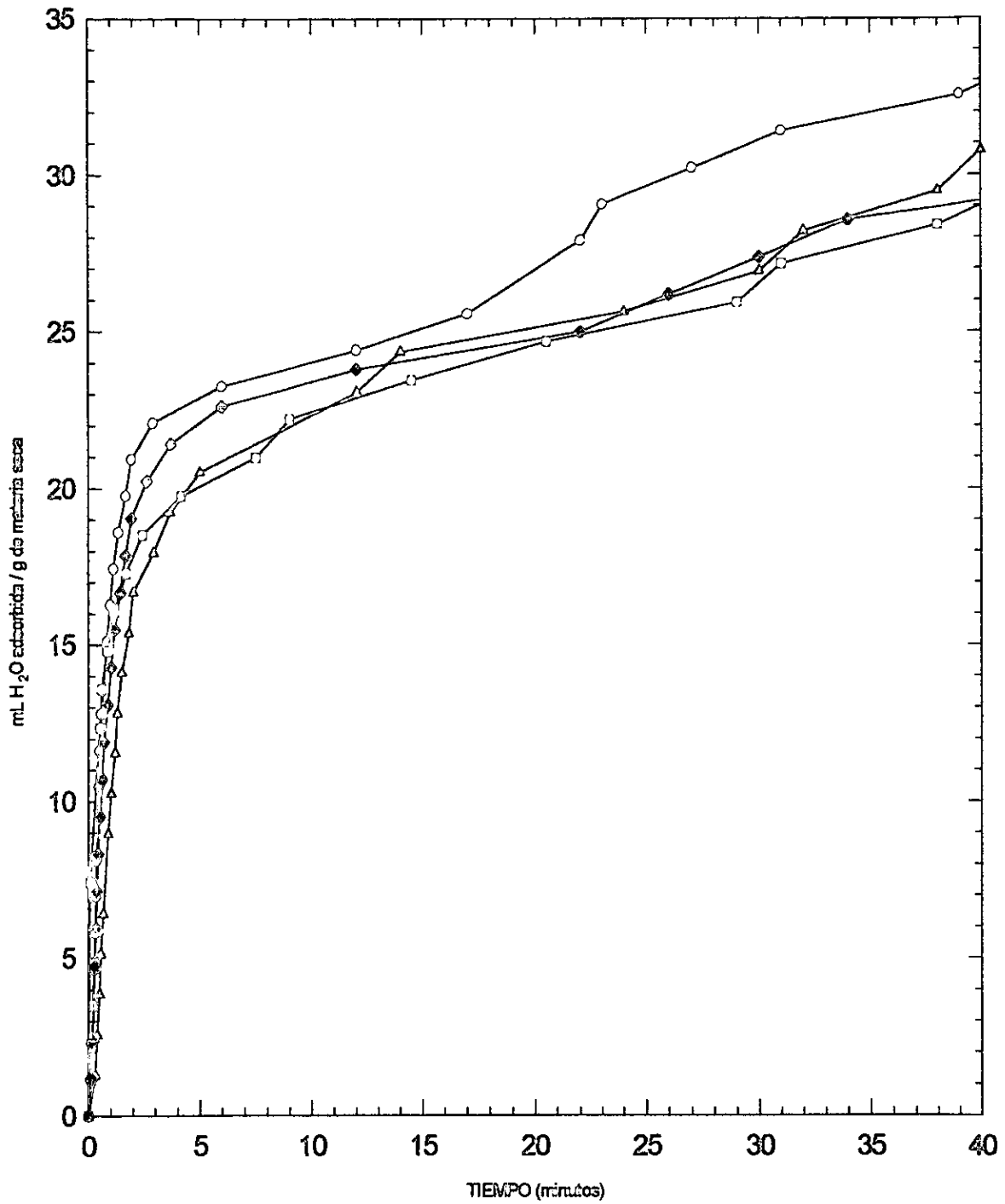


FIGURA 16. Amplificación de los datos mostrados en la Figura 15.

En la Figura 17 se muestra el comportamiento del hidrocoloide xantana con masas iniciales de 7.5, 7.6, 7.7 y 7.9 mg. En los primeros minutos adsorbió agua rápidamente hasta aproximadamente 21 mL/g de materia seca. A partir de este punto la adsorción fue más lenta pero constante sin observarse claramente el equilibrio; a partir de aproximadamente 15 hasta 65 minutos hubo una ligera inclinación que puede interpretarse como el equilibrio de adsorción en el cual la adsorción fue entre 22 a 60 mL/g de materia seca (Figura 18). En el siguiente cuadro se muestra la cantidad de agua adsorbida por las diferentes masas iniciales cuando se observó una tendencia al equilibrio y el tiempo en el cual se inició dicha tendencia obtenidos de Figura 17.

CUADRO 8. Adsorción de agua con el tiempo en la zona de tendencia al equilibrio para diferentes masas iniciales de xantana.

Masa inicial (mg)	Tiempo (minutos)	Qe (g agua/ g de hidrocoloide)
7.5	35.7	49.33
7.6	14.9	22.37
7.7	64.8	59.74
7.7	56.7	53.25
7.9	23.8	45.57

En la Figura 17 no se observó una relación de la masa inicial con el agua adsorbida como la que se observó en la Figura 15 en los primeros minutos. En la literatura se menciona que la xantana adsorbe 158 mL de agua/ g de materia seca (Wallinford y Labuza, 1983) pero en nuestro experimento observamos que la cantidad de agua adsorbida fue mucho menor; aproximadamente 104 g de agua/ g de materia seca. Otra diferencia importante es que nunca se observó un equilibrio claro como el reportado por Wallinford y Labuza (1993) quienes usaron el método de Baumann. Esta diferencia puede deberse a que en el método de Baumann se emplea un sistema cerrado con el cual se tiene un mayor control en el nivel de agua adsorbida con el uso del capilar

a diferencia del método modificado de Baumann en el cual en vez del capilar se usa una manguera y una pipeta de 1 mL que disminuyen la precisión en las mediciones.

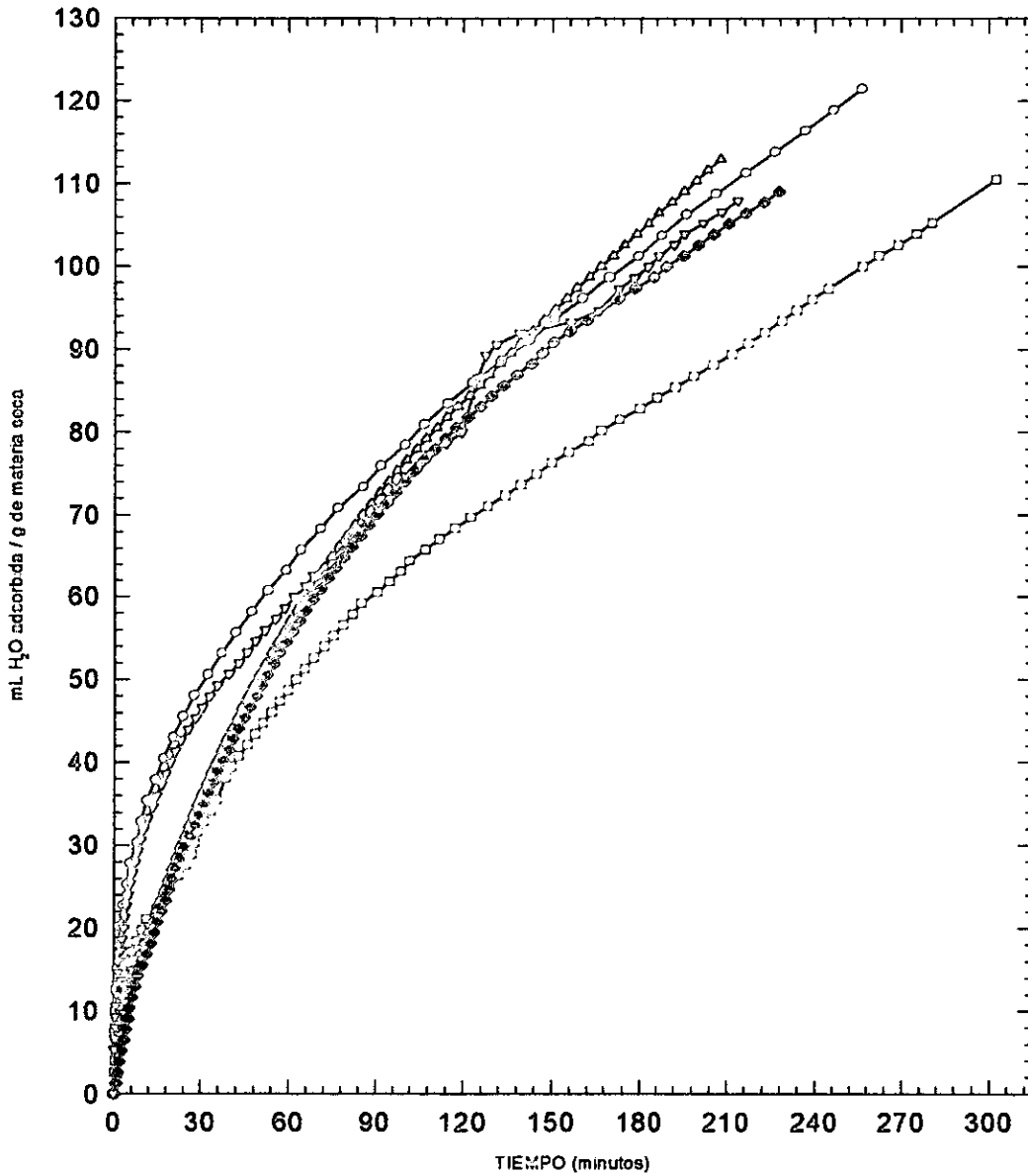


FIGURA 17. Adsorción de agua con el tiempo para diferentes masas iniciales (mg) de xantana: 7.5 (triángulos invertidos grises), 7.6 (cuadros verdes), 7.7 (triángulos amarillos y diamantes azules), 7.9 (círculos rojos).

En la Figura 18 se reporta el comportamiento de la xantana en un intervalo de tiempo más corto para poder observar mejor los primeros instantes de la adsorción y así notar que este hidrocoloide adsorbió agua desde un inicio de manera continua a diferencia de la gelana (Figura 15) la cual mostró primero una rápida adsorción y luego una adsorción lenta. En este caso, la tendencia esperada de cantidad de agua adsorbida en función de la masa inicial tampoco se observó de manera clara ya que se tuvieron los mismos problemas que con las muestras anteriores.

En la Figura 19 se ilustra el comportamiento de la carboximetilcelulosa para la cual se observó el mismo efecto que el mostrado en la Figura 15. En los primeros minutos ocurrió una adsorción muy rápida hasta aproximadamente 16 mL/g de materia seca y posteriormente desde dieciséis hasta sesenta y cinco minutos hubo una tendencia al equilibrio adsorbiendo entre 23.7 y 38.5 mL de agua/g de materia seca. A diferencia de la gelana y la xantana, existió en los últimos minutos de la adsorción una relación entre la masa inicial de hidrocoloide y la cantidad de agua adsorbida; a menor masa inicial menor adsorción. También se observó más claramente una tendencia al equilibrio que la observada en la xantana pero menos pronunciada que en la gelana. El Cuadro 9 muestra la adsorción en la zona de tendencia al equilibrio.

CUADRO 9. Adsorción de agua en la zona de tendencia al equilibrio para diferentes masas iniciales de carboximetilcelulosa.

Masa inicial (mg)	Tiempo (minutos)	Qe (g agua/ g de hidrocoloide)
8.0	16.0	23.75
8.1	14.0	23.46
8.3	42.9	38.55
8.4	26.3	28.57
8.4	27.2	28.57

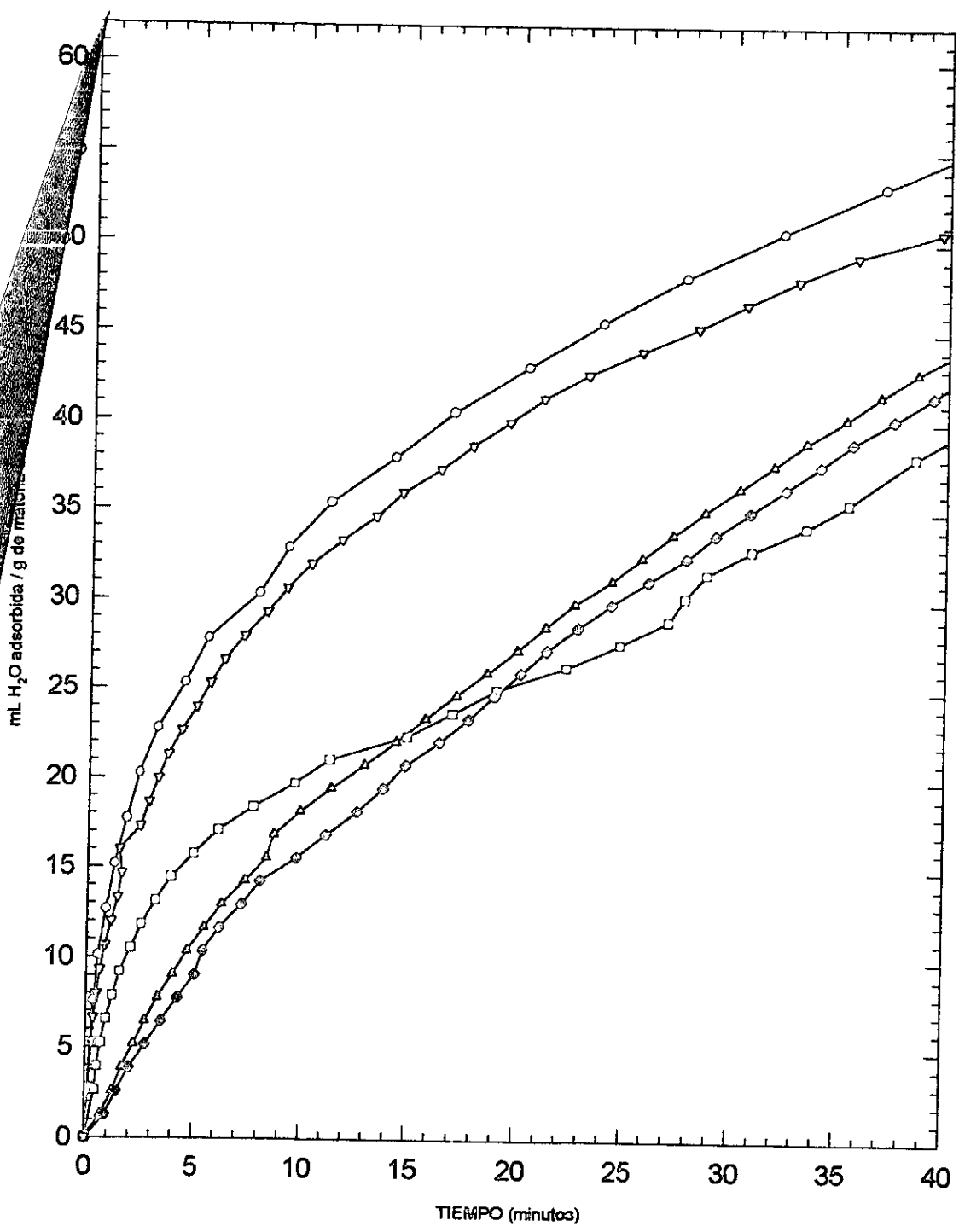


FIGURA 18. Amplificación de los datos mostrados en la Figura 17.

Los primeros instantes de la adsorción de la carboximetilcelulosa se muestran en la Figura 20. En los primeros diez minutos la adsorción fue muy semejante en todas las muestras sin importar la masa inicial de hidrocoloide fue aumentando con el tiempo de tal manera que no se observó una relación entre el agua adsorbida y la masa inicial. Sin embargo, como se observa en la Figura 19 esta relación sí se alcanzó una vez transcurridos aproximadamente setenta y cinco minutos de adsorción hasta el final del experimento. La tendencia al equilibrio ocurrió aproximadamente a los dieciséis minutos.

En la Figura 21 se muestra la adsorción de los tres hidrocoloides para masas iniciales similares. Las diferencias de comportamiento son claramente observables a pesar de que en los primeros cinco minutos la adsorción fue muy semejante en los tres hidrocoloides. Sin embargo, conforme transcurrió el tiempo la adsorción de carboximetilcelulosa fue menor que la de gelana pero a partir de aproximadamente veinte minutos la adsorción en CMC continuó de tal manera que al final del experimento adsorbió más cantidad de agua que GEL. Aunque la xantana fue la que más cantidad de agua adsorbió desde un inicio, su adsorción final fue aproximadamente 121 mL de agua/g de materia seca seguida de la CMC con aproximadamente 68 mL de agua/g de materia seca y por último la GEL con aproximadamente 46 mL de agua/ g de materia seca. Tanto la adsorción isotérmica como el método modificado de Baumann muestran que el hidrocoloide que menos adsorbió fue la gelana. Sin embargo, no se mantiene el mismo orden para los otros dos, ya que en la adsorción isotérmica la CMC adsorbió mayor cantidad de agua que XTN y en el método modificado de Baumann el resultado fue inverso.

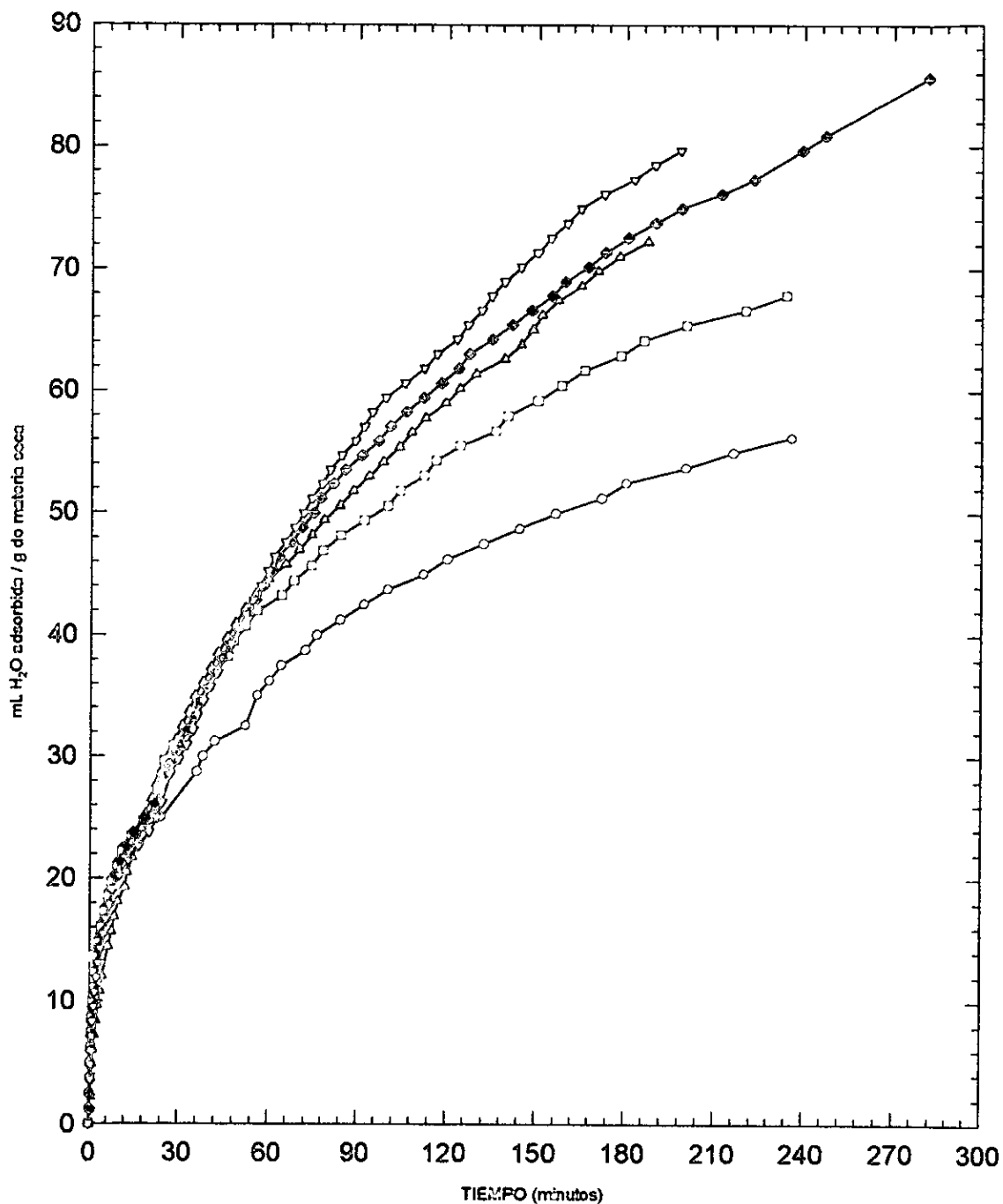


FIGURA 19. Adsorción de agua con el tiempo para diferentes masas iniciales (mg) de carboximetilcelulosa: 8.0 (círculos rojos), 8.1 (cuadros verdes), 8.3 (triángulos amarillos), 8.4 (diamantes azules y triángulos invertidos grises).

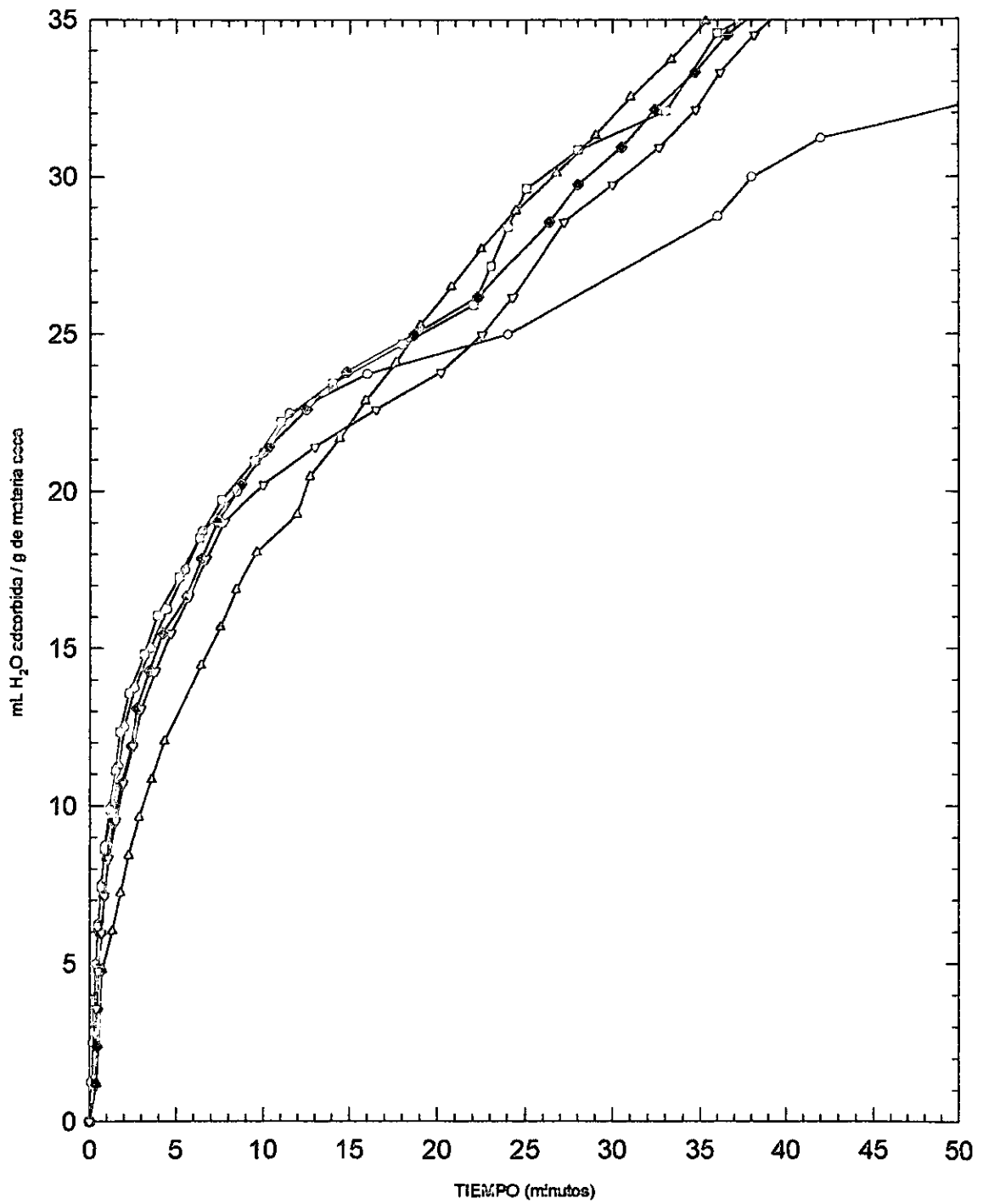


FIGURA 20. Amplificación de los datos mostrados en la Figura 19.

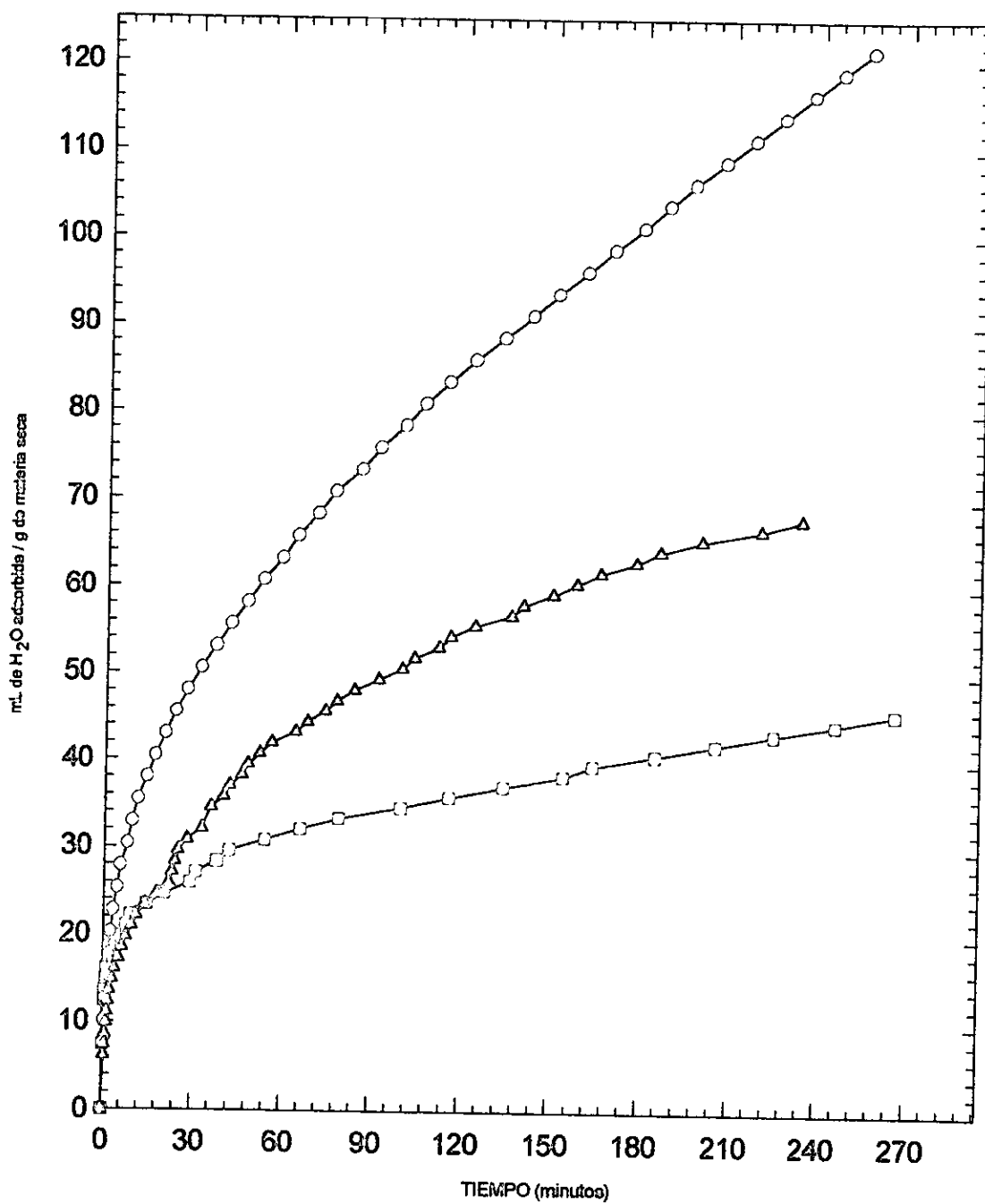


FIGURA 21. Adsorción de agua de los tres hidrocoloides para masas iniciales similares. xantana 7.9 mg (círculos), gelatina 8.1 mg (cuadros) y carboximetilcelulosa 8.1 mg (triangulos).

En la Figura 22 se muestra el comportamiento de adsorción de los tres hidrocoloides para masas iniciales similares pero diferentes de las mostradas en la Figura 21. La cantidad total de agua adsorbida fue menor, pero la tendencia se mantuvo.

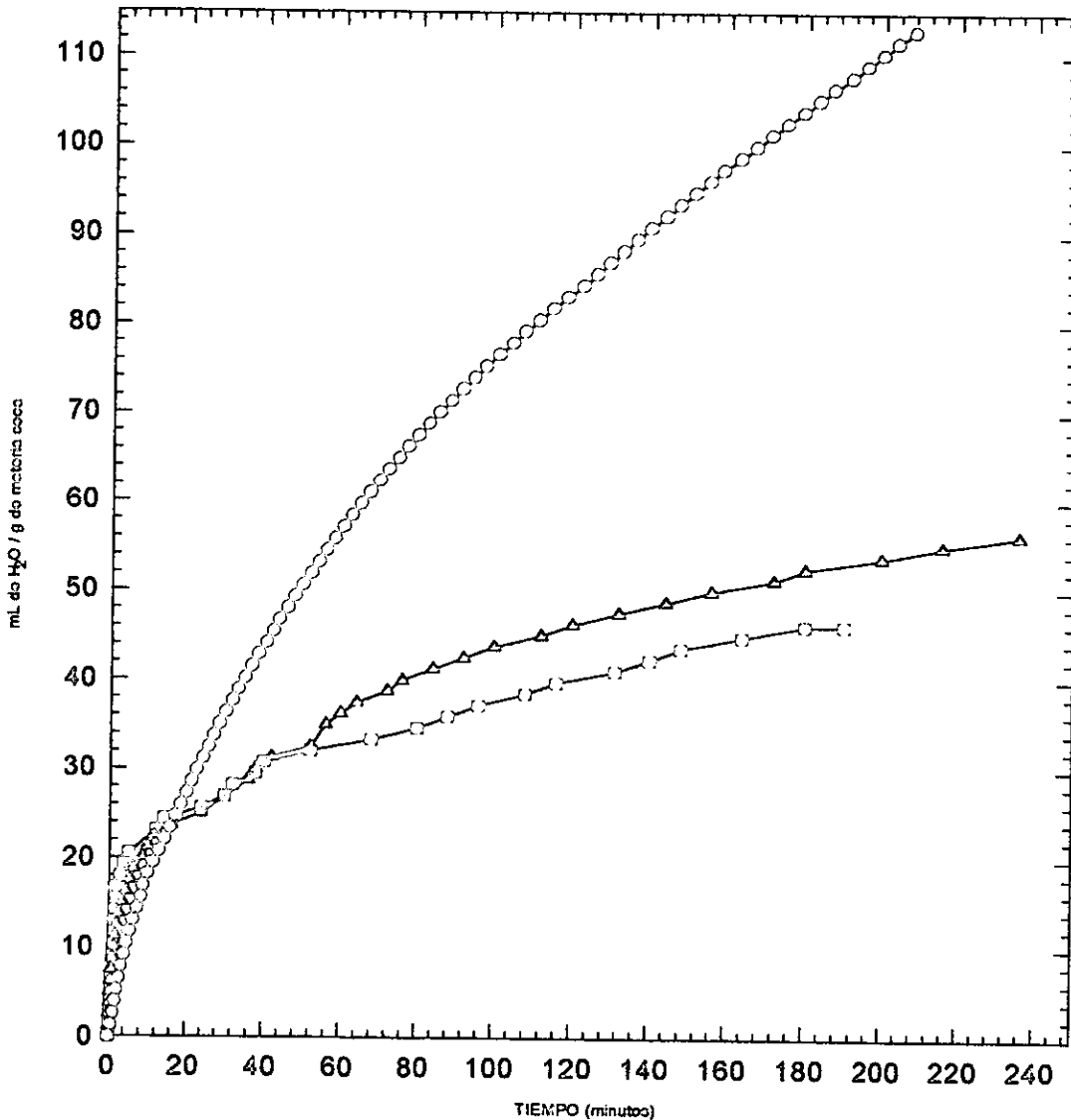


FIGURA 22. Adsorción de agua de los tres hidrocoloides para masas iniciales similares. xantana 7.7 mg (círculos), gelana 7.8 mg (cuadros) y carboximetilcelulosa 8.0 mg (triángulos).

Ya se ha consignado el hecho de que la XTN fue la que adsorbió mayor cantidad de agua por gramo de hidrocoloide seco, seguida de la CMC y la GEL. Sin embargo, esta última alcanzó un equilibrio aparente en un tiempo menor que los otros dos hidrocoloides. Esto puede deberse a que aunque la XTN tiene una estructura helicoidal que le pudiera impedir la adsorción de agua tiene mayor cantidad de grupos polares que la GEL y la CMC. Lo anterior se puede relacionar si se observa el comportamiento de la CMC ya que aunque ésta posee el menor número de grupos polares su estructura lineal le permite que estos grupos estén más disponibles para el agua lo que le permitió adsorber mayor cantidad de agua que la GEL. Por otro lado la GEL posee menor número de grupos polares que XTN y presenta una estructura de doble hélice por lo que disminuye la accesibilidad de los grupos polares ya que éstos forman entre sí enlaces para la estabilización de la estructura.

El que se haya observado una adsorción continua una vez que se presenta una aparente tendencia al equilibrio se debe tal vez a que, aunque ya se saturaron los grupos polares disponibles en la cadena del hidrocoloide, ahora la posterior adsorción es efectuada por el agua misma que adquirió la cadena del hidrocoloide y que queda disponible para interaccionar con más moléculas de agua. Este mecanismo es posible y normalmente se le denomina hidratación y ocurre principalmente por interacciones de tipo Van der Waals. Es bien sabido que la hidratación es un paso previo a la disolución de las macromoléculas la cual en ausencia de agitación ocurre lentamente porque es esencialmente un fenómeno de difusión másica. La disolución completa no ocurrió porque no hubo un gran volumen de agua como ocurre cuando se preparan soluciones agregando el polvo a un exceso de agua líquida.

Haciendo un promedio de la adsorción en las etapas finales de cada experimento con el método de Baumann para cada hidrocólido se obtienen las adsorciones totales mostradas en el Cuadro 10. Vale la pena hacer notar que para GEL el promedio se hizo desde 148 hasta 155 minutos, para CMC desde 177 a 182 minutos y para XTN desde 205 a 208 minutos.

CUADRO 10 Adsorción total de cada hidrocólido.

HIDROCOLOIDE	g de agua máxima adsorbida/ g de materia seca
Xantana	104.12 ± 9.52
Carboximetil celulosa	67.31 ± 9.77
Gelana	43.10 ± 3.47

Asimismo, la adsorción para los tres hidrocólidos con ambos métodos es:

CUADRO 11. g de agua adsorbida de los tres hidrocólidos por los métodos utilizados.

HIDROCOLOIDE	g de agua/ 100 g de hidrocólido	
	Adsorción isotérmica (84% HR)	Método modificado de Baumann
Xantana	42.1	10 412
Carboximetil celulosa	63.9	6 731
Gelana	21.3	4 310

CONCLUSIONES

La capacidad de adsorción de agua de los hidrocoloides está en función de la distribución de los grupos presentes en la cadena del hidrocoloide, la accesibilidad de estos grupos hidrofílicos al agua, las fuerzas de interacción agua - hidrocoloide, el tipo de enlace que se forma, la humedad relativa del medio ambiente, el área de contacto y las propiedades superficiales del hidrocoloide. Todos estos factores interaccionan de manera muy compleja pero a pesar de esta complejidad los métodos usados en este estudio permitieron cuantificar y conocer el comportamiento de adsorción de materiales altamente usados en la industria de alimentos justamente por su gran habilidad de interaccionar con el agua.

Sin embargo, los resultados provenientes de cada método no mostraron la misma tendencia. El método modificado de Baumann mostró que la XTN tuvo la mayor capacidad de adsorción seguida de la CMC y la GEL. Por otro lado, la adsorción isotérmica mostró que la CMC tuvo la mayor adsorción seguida de la XTN y la GEL. Ambos métodos revelaron que la GEL tuvo la menor capacidad de adsorción pero las discrepancias en cuanto a los otros dos hidrocoloides no pueden explicarse únicamente por la diferencia en el número de grupos polares presentes en las unidades estructurales capaces de interaccionar con el agua. Entre los factores que pudieran igualmente jugar un papel están la masa molar (su distribución), la conformación en el estado sólido y de hidratación incipiente, entre otros. Un factor que sin duda juega un papel es la forma en que el hidrocoloide y el agua hacen contacto.

El método modificado de Baumann no mostró ser un método muy preciso para la medición de adsorción de agua ya que hay factores que se deben controlar estrictamente para eliminar los errores al momento de la medición. Por ejemplo, la pipeta misma y su

alineación, la cual se hace de manera un tanto aleatoria lo cual causa que al momento de hacer la repetición esta inclinación no sea exactamente la misma al volver a calibrar y por lo tanto la medición de agua adsorbida varía aunque se utilicen masas iniciales similares e incluso iguales. Esta inclinación también afectó el tiempo utilizado para alcanzar el cero de la pipeta ya que éste fue mayor en algunas ocasiones y menor en otras. El método modificado de Baumann usado en este estudio comparado con el reportado en la literatura no permite una fácil identificación del punto de equilibrio como se reporta por Elizalde y col., (1996) en donde se muestran gráficas de adsorción, como las aquí reportadas, en donde se observa un claro equilibrio de adsorción, es decir, el alcance de un valor de adsorción que no cambia con el tiempo.

La información que podemos obtener de cada uno de estos métodos es diferente ya que la forma de contacto entre el hidrocoloide y el agua no es la misma; en un caso el contacto es del tipo sólido-vapor y en otro sólido-líquido. Por lo tanto, los datos obtenidos son utilizables para los casos en el que ocurran los mismos tipos de contacto que los probados aquí. Por ejemplo, en el caso del contacto sólido-vapor, cuando se almacenen alimentos, mientras que en el caso sólido-líquido cuando se quiera saber qué cantidad de agua puede adsorber el hidrocoloide, como en formulaciones en las cuales se necesita retener agua y se requiera saber la cantidad de hidrocoloide necesario para dicha función.

BIBLIOGRAFÍA

- Anónimo. (1991). A focus on gums. *Food Technol.*, March, 116-130.
- Badui, S. (1981) "Química de los Alimentos". Alhambra Mexicana. pp. 28-32, 76, 98-100.
- Chen, J.Y., Piva, M., y Labuza, T. P. (1984). Evaluation of Water Binding Capacity (WBC) of Food Fiber Sources. *J. Food Sci.*, **49**, 59-63.
- Donald E. Pszczola, Assistant Editor (1993). Gellan Gum wins IFT's Food Technology Industrial Achievement Award. *Food Technol.*, September, 94-96.
- Elizalde B. E., A.M.R. Pilosof, y G.B. Bartholomai. (1996). Empirical Model for Water Uptake and Hidration Rate of Food Powders by Sorption and Baumann Methods. *J. Food Sci.* , **61** (2) 407-409.
- FDA. (1990). Gellan Gum Receives FDA Approval. *Food Technol.*, November, 88-90.
- Fennema, O. R. (1993). "Química de los Alimentos". Acribia, S.A. Zaragoza. 2ª ed. Pp. 55-71,139.
- H. Torgersen and R.T. Toledo (1977). Physical properties of protein preparations related to their functional characteristics in comminuted meat systems. *J. Food Sci.*, **42** (6) 1615-1620.
- Harris, P. (1990). "Food Gels". Elsevier applied Science. New York, pp. 201-230.
- Labuza, T. P., y Lewicki, P. P. (1978). Measurement of gel Water-Binding Capacity by capillary suction Potential. *J. Food Sci.*, **43**, 1264-1269,1273.
- Maron y Pruton. Fundamentos de Fisicoquímica. Editorial Limusa. Wiley (1973).

pp. 822 – 826.

- Perry, R. H. (1992). Manual del Ingeniero Químico. 6ª edición. Tomo I. Mc. Graw-Hill. Pp. 3-120 a 3-123.
- Sanderdon, G. R., y Ross, C. C. (1983). Laboratory-produced microbial polysaccharide has many potential food applications as a gelling, stabilizing, and texturizing agent. *Food Technol.*, **37**, 63-70.
- Sanderson, G. R. (1981). Polysaccharides in Foods. *Food Technol.*, **35** (7) 50-56, 83,84.
- Wallingford, L., y Labuza, T. P. (1983). Evaluation of the Water Binding Properties of Food Hydrocolloids by Physical/Chemical Methods and in a Low Fat Meat Emulsion. *J. Food Sci.*, **48**, 1-5.

ANEXO 1

SOLUBILIDAD DE LAS DIFERENTES SALES A 20 °C (Perry, 1992)

COMPUESTO	SOLUBILIDAD (g en 100 mL de agua)
CaCl ₂ - 6 H ₂ O	74.5
K ₂ CO ₃ -2 H ₂ O	110.5
KCNS	217.5
Ca(NO ₃) ₂ - 4 H ₂ O	129.3
KBr	53.5 (0 °C)
KNO ₃	31.6
CaSO ₄ -2 H ₂ O	0.1928 (10 °C)

ANEXO 2

DETERMINACIÓN DE HUMEDAD POR TERMOBALANZA.

1. Prender la termobalanza y presionar el botón **SELEC**.
2. Usar las flechas Δ o ∇ para incrementar o disminuir la temperatura de la prueba.
Mantener presionado el botón para llegar más rápido a la temperatura deseada.
3. Presionar nuevamente **SELEC** para que la temperatura elegida (110 °C en nuestro caso) quede programada.
4. Seleccionar el tiempo de duración de la prueba (30 minutos en nuestro caso), igual que en el paso 2.
5. Pasar al otro lado de la plataforma y seleccionar **ON TARE** para indicar que se está trabajando con una nueva muestra.
6. Pesar en la misma balanza 10 g del hidrocoloide. Presionar **START**. La prueba empieza inmediatamente.
7. Al término del tiempo seleccionado en la pantalla aparece **TEST COMPLETE**.
Leer la humedad en la escala. De manera alterna, si se observa que la humedad no varía se oprime **STOP** y aparece el mismo mensaje indicando el fin de la determinación.
8. Para leer la humedad (%), el contenido de sólidos (%), la masa inicial de la muestra, su masa final, el tiempo final y la temperatura se presionan los botones Δ o ∇ .
9. Todos estos valores quedan almacenados hasta que nuevamente se oprime **ON TARE**.

ANEXO 3

RESULTADOS ADSORCIÓN ISOTÉRMICA

Los cuadros siguientes muestran el cambio de humedad con el tiempo para las diferentes humedades relativas.

CUADRO A.3.1. Humedad base seca para una humedad relativa de 43.9 %

Tiempo (h)	XTN			Tiempo (h)	GEL			CMC		
	Muestra 1	Muestra 2	Promedio		Muestra 1	Muestra 2	Promedio	Muestra 1	Muestra 2	Promedio
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48	1.92	1.98	1.95	48	1.69	1.64	1.67	6.15	6.31	6.24
120	2.32	2.32	2.32	121	1.48	1.48	1.48	6.10	6.05	6.08
173	2.26	2.38	2.32	217	1.53	1.53	1.53	6.15	6.42	6.29
289	2.26	2.39	2.33	315	1.75	1.69	1.72	6.15	6.31	6.23
411	2.32	2.32	2.32	362	1.64	1.59	1.61	6.21	6.31	6.26
509	2.38	2.32	2.35	462	1.75	1.59	1.67	6.21	6.26	6.23
				508	1.75	1.69	1.72	6.21	6.26	6.23
				578	1.97	1.91	1.94	6.37	6.58	6.47
				674	1.75	1.81	1.78	6.10	6.42	6.26
				746	1.81	1.86	1.83	6.37	6.47	6.42

CUADRO A.3.2 Humedad base seca para una humedad relativa de 47.6 %.

Tiempo (h)	XTN			Tiempo (h)	GEL			Tiempo (h)	CMC		
	Muestra 1	Muestra 2	Promedio		Muestra 1	Muestra 2	Promedio		Muestra 1	Muestra 2	Promedio
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
46	5.94	6.39	6.16	48	4.04	3.99	4.01	72	10.2	10.5	10.3
142	5.99	6.39	6.19	148	4.10	3.88	3.99	169	10.4	10.8	10.6
214	5.94	6.28	6.11	192	4.10	4.04	4.07	240	10.6	10.9	10.7
311	5.99	6.39	6.19	239	4.32	4.26	4.29	384	10.5	10.9	10.7
382	6.05	6.33	6.19	334	4.32	4.20	4.26	408	10.5	10.8	10.7
526	5.99	6.39	6.19	406	4.26	4.15	4.21	647	10.7	10.9	10.8
550	6.05	6.28	6.16	503	4.48	4.42	4.45	696	10.6	10.9	10.8
788	6.05	6.39	6.22	574	4.48	4.37	4.42				
				742	4.26	4.26	4.26				
				766	4.37	4.42	4.40				

CUADRO A.3.3. Humedad base seca para una humedad relativa de 53.6%.

Tiempo (h)	XTN			Tiempo (h)	GEL			Tiempo (h)	CMC		
	Muestra 1	Muestra 2	Promedio		Muestra 1	Muestra 2	Promedio		Muestra 1	Muestra 2	Promedio
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
24	11.1	11.3	11.2	45	7.17	7.82	7.50	24	16.4	16.7	16.6
96	10.9	11.2	11.0	98	7.00	7.33	7.17	96	16.6	16.5	16.5
169	11.2	11.7	11.4	167	6.90		6.89	169	17.1	17.2	17.2
240	11.0	10.6	10.8	409	6.79	7.06	6.92	240	17.1	16.8	16.9
337	11.0	11.1	11.1	503	7.50	7.71	7.61	337	16.4	17.1	16.7
432	11.0	11.3	11.2	551	7.33	7.66	7.49	432	17.1	17.3	17.2
505	11.1	11.3	11.2					505	16.5	16.9	16.7
597	11.3	11.4	11.3					597	16.8	17.1	16.9

CUADRO A.3.4 Humedad base seca para una humedad relativa de 84%.

Tiempo (h)	XTN			GEL		CMC		
	Muestra 1	Muestra 2	Promedio	Muestra 1	Promedio	Muestra 1	Muestra 2	Promedio
0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	24.4	24.5	24.4	12.2	12.2	32.3	31.4	31.8
148	41.2	41.3	41.2	18.7	18.7	61.8	60.4	61.1
196	41.2	42.2	41.7	20.9	20.9	62.9	61.8	62.3
218	42.8	42.8	42.8	21.1	21.1	63.8	63.6	63.7
319	41.2	42.1	41.6	21.3	21.3	64.0	63.3	63.7
386	42.6		42.6	21.5	21.5	64.0	63.0	63.5
487	41.8		41.8	21.0	21.0	62.7	62.3	62.5
558				21.7	21.7	65.1	63.8	64.4
843						65.7	65.3	65.5

CUADRO A.3.5 Humedad base seca para una humedad relativa de 93.2%.

Tiempo (h)	XTN			GEL			CMC		
	Muestra 1	Muestra 2	Promedio	Muestra 1	Muestra 2	Promedio	Muestra 1	Muestra 2	Promedio
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48	164.9	146.4	155.7	122.8	130.5	126.6	166.5	160.7	163.6
96	171.1	151.1	161.1	125.3	132.9	129.1	176.2	170.2	173.2
237	170.5	150.2	160.4	125.0	132.8	128.9	179.5	173.2	176.3
383	148.6		148.6	124.4	132.5	128.4	179.8	173.2	176.5
431				124.1	131.7	127.9	176.2	170.2	173.2
503				124.5	132.5	128.5	179.6	173.5	176.5
552				123.9	131.8	127.9	177.9	171.0	174.5
599							179.5	172.5	175.9
673							184.3	178.3	181.3
719							185.5	179.2	182.4
767							184.6	177.7	181.1
842							184.3	178.4	181.4
888							182.5	176.7	179.6
936							182.9	177.0	179.9
1031							183.8	177.3	180.5
1201							182.9	175.8	179.4
1272							181.9	175.1	178.5

CUADRO A.3.6 Humedad base seca para una humedad relativa de 98%.

Tiempo (h)	XTN			GEL			CMC		
	Muestra 1	Muestra 2	Promedio	Muestra 1	Muestra 2	Promedio	Muestra 1	Muestra 2	Promedio
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
68	94.6	96.4	95.5	58.8	59.4	59.1	134.8	132.1	133.5
118	110.9	112.8	111.9	72.1	74.9	73.5	171.9	167.4	169.6
140	114.9		114.9	75.5	78.2	76.8	183.1	178.3	180.7
191				89.3	93.3	91.3	183.1	178.3	180.7
217							277.5	271.2	274.4
337							300.5	294.1	297.3
360							309.2	303.5	306.4
458							351.9	347.5	349.7
527							375.4	370.6	373.0
629							411.3	405.3	408.3
700							436.6	427.2	431.9
865							477.7	472.1	474.9
985							504.9	504.9	504.9
1033							517.1	515.1	516.1

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CALABAZA DE GUAYMAS
 CALABAZA DE GUAYMAS, SONORA

ANEXO 4

VOLUMEN DE AGUA ADSORBIDA POR GRAMO DE HIDROCOLOIDE CON EL METODO MODIFICADO DE BAUMANN

CUADRO A.4.1. Masa inicial de xantana = 7.6 mg de materia seca

TIEMPO (minutos)	Q (mL/g)
0.42	2.63
0.50	3.95
0.67	5.26
0.88	6.58
1.17	7.89
1.50	9.21
2.00	10.53
2.50	11.84
3.20	13.16
3.87	14.47
4.92	15.79
6.08	17.11
6.67	18.42
9.63	19.74
11.25	21.05
14.92	22.37
17.00	23.68
19.00	25.00
22.25	26.32
24.75	27.63
27.00	28.95
27.75	30.26
28.75	31.58
30.83	32.89
33.42	34.21
35.42	35.53
38.50	38.16
40.38	39.47
42.85	40.79
45.75	42.11
48.30	43.42
51.07	44.74
53.93	46.05
56.85	47.37
59.65	48.68
62.50	50.00
65.35	51.32
68.58	52.63
72.25	53.95
75.15	55.26
78.47	56.58

TIEMPO (minutos)	Q (mL/g)
81.90	57.89
85.03	59.21
90.25	60.53
94.72	61.84
98.62	63.16
101.70	64.47
106.97	65.79
111.83	67.11
117.10	68.42
122.42	69.74
128.08	71.05
134.00	72.37
139.33	73.68
144.38	75.00
149.67	76.32
155.42	77.63
162.42	78.95
166.67	80.26
172.67	81.58
179.75	82.89
185.77	84.21
192.33	85.53
198.33	86.84
205.17	88.16
211.50	89.47
217.13	90.79
222.67	92.11
228.53	93.42
233.58	94.74
238.75	96.05
244.50	97.37
256.47	100.00
262.17	101.32
268.92	102.63
275.08	103.95
280.50	105.26
302.30	110.53

CUADRO A.4.2. Masa inicial de xantana = 7.9 mg

TIEMPO (minutos)	Q (mL/g)
0.33	7.59
0.50	10.13
0.83	12.66
1.20	15.19
1.75	17.72
2.33	20.25
3.17	22.78
4.42	25.32
5.50	27.85
7.83	30.38
9.20	32.91
11.17	35.44
14.20	37.97
16.92	40.51
20.33	43.04
23.75	45.57
27.67	48.10
32.22	50.63
37.00	53.16
41.92	55.70
47.25	58.23
52.67	60.76
58.92	63.29
64.05	65.82
70.80	68.35
76.65	70.89
85.50	73.42
91.67	75.95
100.08	78.48
106.50	81.01
114.50	83.54
123.00	86.08
132.62	88.61
142.08	91.14
150.42	93.67
160.25	96.20
169.33	98.73
179.17	101.27
187.50	103.80
196.00	106.33
206.17	108.86
216.25	111.39
226.25	113.92
236.33	116.46
246.28	118.99
256.33	121.52

CUADRO A.4.3. Masa inicial de xantana = 7.7 mg

TIEMPO (minutos)	Q (mL/g)
0.70	1.30
1.22	2.60
1.67	3.90
2.20	5.19
2.73	6.49
3.32	7.79
4.00	9.09
4.67	10.39
5.47	11.69
6.28	12.99
7.33	14.29
8.33	15.58
8.67	16.88
9.92	18.18
11.33	19.48
12.92	20.78
14.42	22.08
15.75	23.38
17.17	24.68
18.58	25.97
19.97	27.27
21.25	28.57
22.58	29.87
24.33	31.17
25.75	32.47
27.17	33.77
28.63	35.06
30.25	36.36
31.87	37.66
33.40	38.96
35.25	40.26
36.87	41.56
38.58	42.86
40.62	44.16
42.33	45.45
43.92	46.75
45.92	48.05
47.83	49.35
49.75	50.65
51.92	51.95
53.92	53.25
56.00	54.55
58.17	55.84
60.33	57.14

TIEMPO (minutos)	Q (mL/g)
62.62	58.44
64.83	59.74
67.25	61.04
69.67	62.34
72.00	63.64
74.58	64.94
77.17	66.23
79.75	67.53
82.50	68.83
85.25	70.13
88.30	71.43
91.25	72.73
94.25	74.03
97.25	75.32
100.58	76.62
104.08	77.92
107.33	79.22
110.92	80.52
114.33	81.82
118.00	83.12
121.93	84.42
125.50	85.71
128.75	87.01
132.20	88.31
135.88	89.61
139.38	90.91
143.22	92.21
146.87	93.51
150.83	94.81
154.63	96.10
158.17	97.40
162.53	98.70
166.53	100.00
170.53	101.30
174.42	102.60
178.62	103.90
182.67	105.19
186.33	106.49
191.00	107.79
195.17	109.09
199.25	110.39
203.13	111.69
207.70	112.99

CUADRO A.4.4. Masa inicial de xantana = 7.7 mg

TIEMPO (minutos)	Q (mL/g)
0.88	1.30
1.42	2.60
2.00	3.90
2.75	5.19
3.50	6.49
4.25	7.79
5.05	9.09
5.42	10.39
6.18	11.69
7.20	12.99
8.03	14.29
9.75	15.58
11.13	16.88
12.58	18.18
13.80	19.48
14.87	20.78
16.42	22.08
17.75	23.38
18.92	24.68
20.13	25.97
21.33	27.27
22.75	28.57
24.33	29.87
26.08	31.17
27.80	32.47
29.17	33.77
30.75	35.06
32.45	36.36
34.08	37.66
35.58	38.96
37.50	40.26
39.33	41.56
40.87	42.86
42.80	44.16
44.78	45.45
46.67	46.75
48.68	48.05
50.58	49.35
52.58	50.65
54.75	51.95
56.75	53.25
59.17	54.55

TIEMPO (minutos)	Q (mL/g)
61.38	55.84
63.67	57.14
65.88	58.44
68.33	59.74
71.13	61.04
73.50	62.34
76.03	63.64
78.83	64.94
81.67	66.23
84.67	67.53
87.42	68.83
90.55	70.13
93.70	71.43
96.83	72.73
100.17	74.03
103.25	75.32
106.55	76.62
110.33	77.92
113.83	79.22
117.53	80.52
121.47	81.82
125.68	83.12
129.42	84.42
133.47	85.71
137.98	87.01
142.92	88.31
146.50	89.61
150.30	90.91
155.92	92.21
161.83	93.51
172.50	96.10
178.17	97.40
184.75	98.70
189.15	100.00
195.07	101.30
200.02	102.60
205.42	103.90
210.43	105.19
216.33	106.49
222.53	107.79
227.67	109.09

CUADRO A.4.5. Masa inicial de xantana = 7.5 mg

TIEMPO (minutos)	Q (mL/g)
0.25	5.33
0.33	6.67
0.47	8.00
0.60	9.33
0.80	10.67
1.08	12.00
1.37	13.33
1.57	14.67
1.95	16.00
2.42	17.33
2.80	18.67
3.23	20.00
3.68	21.33
4.30	22.67
5.00	24.00
5.63	25.33
6.30	26.67
7.18	28.00
8.23	29.33
9.17	30.67
10.30	32.00
11.72	33.33
13.13	34.67
14.58	36.00
16.35	37.33
17.80	38.67
19.50	40.00
21.08	41.33
23.13	42.67
25.67	44.00
28.25	45.33
30.50	46.67
32.97	48.00
35.75	49.33
39.67	50.67

TIEMPO (minutos)	Q (mL/g)
43.08	52.00
45.88	53.33
48.67	54.67
51.92	56.00
55.50	57.33
58.58	58.67
61.92	60.00
65.75	61.33
68.42	62.67
79.17	66.67
82.25	68.00
87.00	69.33
90.75	70.67
94.92	72.00
96.83	73.33
100.17	74.67
105.20	76.00
108.50	77.33
114.08	78.67
119.42	80.00
124.75	86.67
127.42	89.33
131.33	90.67
139.08	92.00
156.33	93.33
166.00	94.67
172.67	97.33
177.92	98.67
182.67	100.00
186.58	101.33
192.00	102.67
195.50	104.00
201.83	105.33
208.25	106.67
213.50	108.00

CUADRO A.4.6. Masa inicial de gelana = 8.6 mg

TIEMPO (minutos)	Q (mL/g)
0.08	1.16
0.12	2.33
0.23	3.49
0.27	4.65
0.30	5.81
0.33	6.98
0.37	8.14
0.45	10.47
0.50	11.63
0.57	12.79
0.83	15.12
0.97	16.28
1.12	17.44
1.33	18.60
1.67	19.77
1.92	20.93
2.88	22.09
6.00	23.26
12.00	24.42
17.00	25.58
22.00	27.91
23.00	29.07
27.00	30.23
31.00	31.40
39.00	32.56
43.00	33.72
45.00	34.88
47.00	36.05
53.00	37.21
57.00	38.37
61.00	39.53
65.00	40.70
77.00	41.86
89.00	43.02
105.00	44.19
123.00	45.35
153.00	46.51

CUADRO A.4.7. Masa inicial de gelana = 8.1 mg

TIEMPO (minutos)	Q (mL/g)
0.08	7.41
0.50	12.35
0.58	13.58
0.83	14.81
1.17	16.05
1.66	17.28
2.42	18.52
4.17	19.75
7.50	20.99
9.00	22.22
14.50	23.46
20.50	24.69
29.00	25.93
31.00	27.16
38.00	28.40
42.00	29.63
54.00	30.86
66.00	32.10
79.00	33.33
100.00	34.57
116.00	35.80
134.00	37.04
154.00	38.27
164.00	39.51
185.00	40.74
205.00	41.98
225.00	43.21
246.00	44.44
266.00	45.68

CUADRO A.4.8. Masa inicial de gelana = 7.8 mg

TIEMPO (minutos)	Q (mL/g)
0.28	1.28
0.40	2.56
0.48	3.85
0.55	5.13
0.65	6.41
0.88	8.97
1.03	10.26
1.20	11.54
1.30	12.82
1.48	14.10
1.80	15.38
2.00	16.67
2.92	17.95
3.67	19.23
5.00	20.51
12.00	23.08
14.00	24.36
24.00	25.64
30.00	26.92
32.00	28.21
38.00	29.49
40.00	30.77
52.00	32.05
68.00	33.33
80.00	34.62
88.00	35.90
96.00	37.18
108.00	38.46
116.00	39.74
131.00	41.03
140.00	42.31
148.00	43.59
164.00	44.87
180.00	46.15
190.00	46.15

CUADRO A.4.9. Masa inicial de gelana = 8.4 mg

TIEMPO (minutos)	Q (mL/g)
0.17	1.19
0.20	2.38
0.25	4.76
0.33	5.95
0.37	7.14
0.42	8.33
0.50	9.52
0.60	10.71
0.68	11.90
0.87	13.10
1.02	14.29
1.17	15.48
1.42	16.67
1.67	17.86
1.92	19.05
2.62	20.24
3.70	21.43
6.00	22.62
12.00	23.81
22.00	25.00
26.00	26.19
30.00	27.38
34.00	28.57
46.00	29.76
54.00	30.95
58.00	32.14
62.00	33.33
74.00	35.71
82.00	36.90
92.00	38.10
103.00	39.29
113.00	40.48
123.00	41.67
133.00	42.86
155.00	44.05
185.00	45.24
205.00	46.43
222.00	47.62
232.00	48.81

CUADRO A.4.10. Masa inicial de carboximetilcelulosa = 8.0 mg

TIEMPO (minutos)	Q (mL/g)
0.10	1.25
0.18	2.50
0.28	3.75
0.38	5.00
0.50	6.25
0.67	7.50
0.88	8.75
1.30	10.00
1.65	11.25
2.00	12.50
2.58	13.75
3.52	15.00
4.50	16.25
5.50	17.50
6.50	18.75
8.50	20.00
10.00	21.25
11.50	22.50
16.00	23.75
24.00	25.00
36.00	28.75
38.00	30.00
42.00	31.25
52.00	32.50
56.00	35.00
60.00	36.25
64.00	37.50
72.00	38.75
76.00	40.00
84.00	41.25
92.00	42.50
100.00	43.75
112.00	45.00
120.00	46.25
132.00	47.50
144.00	48.75
156.00	50.00
172.00	51.25
180.00	52.50
200.00	53.75
216.00	55.00
236.00	56.25

CUADRO A.4.11. Masa inicial carboximetilcelulosa = 8.1 mg

TIEMPO (minutos)	Q (mL/g)
0.50	6.17
0.67	7.41
0.83	8.64
1.17	9.88
1.50	11.11
1.75	12.35
2.25	13.58
3.17	14.81
3.92	16.05
5.17	17.28
6.33	18.52
7.58	19.75
9.50	20.99
11.00	22.22
14.00	23.46
18.00	24.69
22.00	25.93
23.00	27.16
24.00	28.40
25.00	29.63
28.00	30.86
33.00	32.10
36.00	34.57
40.00	35.80
42.00	37.04
46.00	38.27
48.00	39.51
52.00	40.74
56.00	41.98
64.00	43.21
68.00	44.44
74.00	45.68
78.00	46.91
84.00	48.15
92.00	49.38
100.00	50.62
104.00	51.85
112.00	53.09
116.00	54.32
124.00	55.56
136.00	56.79
140.00	58.02
150.00	59.26
158.00	60.49
166.00	61.73
178.00	62.96
186.00	64.20
200.00	65.43
220.00	66.67
234.00	67.90

CUADRO A.4.12. Masa inicial carboximetilcelulosa = 8.3 mg

TIEMPO (minutos)	Q (mL/g)
0.41	1.20
0.70	4.82
1.30	6.02
1.78	7.23
2.25	8.43
2.83	9.64
3.58	10.84
4.33	12.05
6.42	14.46
7.50	15.66
8.42	16.87
9.58	18.07
11.92	19.28
12.67	20.48
14.42	21.69
15.88	22.89
17.62	24.10
19.00	25.30
20.75	26.51
22.42	27.71
24.42	28.92
26.75	30.12
29.00	31.33
31.00	32.53
33.33	33.73
35.33	34.94
37.92	36.14
40.50	37.35
42.92	38.55
45.75	39.76
48.58	40.96

TIEMPO (minutos)	Q (mL/g)
51.67	42.17
55.58	43.37
59.50	44.58
65.42	45.78
69.75	46.99
74.17	48.19
78.33	49.40
83.58	50.60
88.17	51.81
93.48	53.01
98.28	54.22
103.67	55.42
107.67	56.63
112.50	57.83
119.08	59.04
123.75	60.24
129.03	61.45
138.88	62.65
144.42	63.86
148.27	65.06
151.17	66.27
156.72	67.47
164.80	68.67
170.47	69.88
177.42	71.08
187.33	72.29

CUADRO A.4.13. Masa inicial de carboximetilcelulosa = 8.4 mg

TIEMPO (minutos)	Q (mL/g)
0.33	1.19
0.42	2.38
0.47	3.57
0.57	4.76
0.62	5.95
0.80	7.14
1.00	8.33
1.42	9.52
1.83	10.71
2.42	11.90
2.70	13.10
3.45	14.29
4.25	15.48
5.62	16.67
6.45	17.86
7.33	19.05
8.75	20.24
10.30	21.43
12.50	22.62
14.83	23.81
18.65	25.00
22.25	26.19
26.33	28.57
28.00	29.76
30.50	30.95
32.42	32.14
34.70	33.33
36.58	34.52
39.33	35.71
41.75	36.90
44.08	38.10
46.63	39.29
49.60	40.48
52.35	41.67
55.33	42.86

TIEMPO (minutos)	Q (mL/g)
58.00	44.05
61.05	45.24
63.20	46.43
67.33	47.62
70.70	48.81
74.83	50.00
77.25	51.19
81.50	52.38
85.50	53.57
91.20	54.76
96.78	55.95
100.75	57.14
106.02	58.33
111.87	59.52
117.83	60.71
123.50	61.90
126.80	63.10
134.67	64.29
141.33	65.48
147.92	66.67
154.58	67.86
159.17	69.05
167.22	70.24
173.00	71.43
180.58	72.62
189.75	73.81
198.40	75.00
211.75	76.19
222.75	77.38
239.33	79.76
247.00	80.95
281.50	85.71

CUADRO A.4.14. Masa inicial de carboximetilcelulosa = 8.4 mg

TIEMPO (minutos)	Q (mL/g)
0.42	3.57
0.50	4.76
0.67	5.95
0.83	7.14
1.08	8.33
1.50	9.52
1.92	10.71
2.50	11.90
3.00	13.10
3.80	14.29
4.70	15.48
5.75	16.67
6.73	17.86
7.75	19.05
10.00	20.24
13.00	21.43
16.50	22.62
20.17	23.81
22.50	25.00
24.25	26.19
27.20	28.57
30.00	29.76
32.67	30.95
34.73	32.14
36.17	33.33
38.17	34.52
40.42	35.71
42.75	36.90
47.17	39.29
49.50	40.48
52.00	41.67
54.50	42.86
57.17	44.05
59.58	45.24

TIEMPO (minutos)	Q (mL/g)
61.58	46.43
65.38	47.62
68.45	48.81
71.25	50.00
74.13	51.19
77.78	52.38
80.37	53.57
84.30	54.76
89.00	55.95
92.00	57.14
94.58	58.33
99.20	59.52
105.58	60.71
112.00	61.90
116.50	63.10
122.83	64.29
126.50	65.48
131.00	66.67
134.50	67.86
138.83	69.05
144.25	70.24
149.83	71.43
154.16	72.62
159.92	73.81
164.72	75.00
172.50	76.19
182.58	77.38
189.67	78.57
198.00	79.76