

POSTGRADO

ESPECIALIZACIÓN EN
BIOTECNOLOGÍA

PROYECTO

*DESARROLLO DE PELÍCULAS O RECUBRIMIENTOS
COMESTIBLES CON POTENCIAL PARA EL
RECUBRIMIENTO DE FRUTAS FRESCAS*

PRESENTA:

I.A. ALBERTO MEZA GODOY

ASESOR: DRA. ELSA BOSQUEZ MOLINA

(diciembre-2006)



ÍNDICE

Introducción.	4
Antecedentes.	6
Materiales empleados.	
Almidón.	8
Goma Guar.	9
Pectinas de bajo metoxilo.	10
Goma de mezquite.	11
Cera de Candelilla.	12
Aceite mineral.	13
Glicerol.	13
Hipótesis.	14
Objetivo general.	14
Objetivos específicos.	14
Metodología.	15
Formulaciones.	15
Preparación de las emulsiones.	16
Caracterización de las emulsiones	
Tamaño de partícula	17
Tasa de coalescencia.	18
Determinación de viscosidad.	19
Formación de recubrimientos.	
Caracterización de películas o recubrimientos comestibles	
Grosor de la película	20
Permeabilidad al vapor de agua (wvp).	20
Resultado y discusión	23
Conclusión	35
Bibliografía	36
Anexos.	40
A	



Nombre y firma del asesor interno

Dra. ELSA BOSQUEZ MOLINA. Prof. Asociado de tiempo completo de **la UAM-I**.

Nombre y firma del asesor externo.

Dra. SILVIA BAUTISTA BAÑOS. Del departamento de Fitopatología del Instituto Politécnico Nacional del Centro de Desarrollo de Productos Bióticos, Yautepec Mor.



DESARROLLO DE PELÍCULAS O RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES CON POTENCIAL PARA EL RECUBRIMIENTO DE FRUTAS FRESCAS

Introducción

El desarrollo y aplicación de películas y recubrimientos comestibles se ha convertido en un tópico de gran interés para la industria alimentaria ya que ofrecen una gran variedad de ventajas tales como su biodegradabilidad, apariencia estética y propiedades de barrera diferencial, así como al estrés físico, lo que permite reducir o resolver muchos problemas relacionados con la transferencia de masa (vapor de agua y gases) causante de los cambios deteriorativos de los alimentos y que reducen su calidad acortando su vida útil durante el almacenamiento y la transportación.

Por otro lado es una tecnología alterna a los materiales plásticos de empaque que se emplean en los productos alimentarios, por lo que su uso con este propósito reduciría significativamente los desechos del envasado asociada con los alimentos frescos y procesados (Krochta y De Mulder-Jhonson, 1997; Petersen, et al., 1999).

El uso de recubrimientos para frutas y hortalizas es una práctica antigua que se desarrolló para imitar las cubiertas naturales de los productos vegetales comestibles (Kaplan, 1986; Austin-Grant y Burns, 1994; Nussinovich y Lurie, 1995). A partir de los años 50's se intensificó la investigación en esta línea reportándose avances tanto en la literatura científica como de patente, para extender la vida de anaquel y mejorar la calidad de alimentos frescos, congelados y procesados. La investigación está orientada hacia la obtención de cubiertas naturales tratando de conseguir propiedades funcionales específicas según el tipo de alimento.



Antecedentes.

Un recubrimiento comestible es una capa fina de material comestible, dispuesta sobre el alimento a modo de recubrimiento. Forma parte integral del alimento y es consumido como tal, se aplica por atomización, espuma, brocha o inmersión.

La aplicación de películas comestibles sobre frutas, retarda la velocidad de respiración y la pérdida de vapor de agua ya que genera un sistema similar al de una atmósfera modificada (existe una reducción en el intercambio gaseoso). Además pueden contribuir al control (directo o indirecto) de pudriciones causadas por m.o.s fitopatógenos.

Actualmente, las películas comestibles se elaboran combinando diferentes proporciones de hidrocoloides y lípidos para obtener películas “Compuestas o Multicomponentes” cuya formulación tiene como propósito el de aprovechar las ventajas de cada uno de sus componentes. Los lípidos aportan la resistencia al vapor de agua y los hidrocoloides la permeabilidad selectiva al dióxido de carbono y al oxígeno. La finalidad es producir cubiertas naturales a base de biopolímeros con propiedades específicas (Hagenmaier y Shaw, 1990, 1991; Wong et al., 1994), sus principales propiedades funcionales son: Mejoran la apariencia (brillo), su biodegradabilidad, presentan buenas propiedades de Barrera a gases y al vapor de agua y son utilizados como Alternativa a los polímeros sintéticos plásticos

Las propiedades funcionales de un recubrimiento comestible no solo están directamente relacionadas con la selección de los componentes, la proporción en la formulación y las interacciones químicas entre éstos, sino además por la técnica de preparación empleada (Kester y Fennema, 1986; Hagenmaier y Shaw, 1991).



En la mayoría de los casos se emplea la técnica de emulsificación, una emulsión es un sistema heterogéneo, que esta formado por la dispersión gotas de un líquido inmisible denominado fase dispersa o interno disperso en otra denominada fase continua o externa.

Este sistema posee una estabilidad mínima que puede ser mejorada por la adición de productos tenso activos o emulsificantes que se adsorben en la superficie de las gotas, haciendo mas estable la emulsión (Becher, 1972, Fennema, 1982), las emulsiones se pueden clasificar dependiendo del carácter del liquido disperso, en dos tipos; aceite en agua (o/w) por sus siglas en ingles y agua en aceite (w/o); en ambos casos, el primer termino se refiere a la fase dispersa y el segundo termino a la fase continua o medio de dispersión. Lo cual implica también la determinación de parámetros relacionados con la estabilidad, como lo son la distribución homogénea de la fase dispersa y la viscosidad de la emulsión, pues son propiedades que tienen un efecto importante en las características de adherencia, propiedades de barrera y mecánicas de la película o recubrimiento formado (Kester y Fennema, 1986; Hagenmaier y Shaw, 1991; Martín-Polo, et al., 1992; Pérez-Cago y Krochta, 2000).

En las películas obtenidas por emulsificación (O/W) de los componentes, la transferencia de masa ocurre a través de la matriz estructural, y en este caso los principales factores a considerar en la obtención de la emulsión son:

a) Tamaño de la partícula. Las propiedades de barrera al vapor de agua están determinadas por el grado de distribución y tamaño de partículas hidrofóbicas dispersas formando una trayectoria tortuosa para el paso de los gases o vapor de agua. Si existe una distribución homogénea del material hidrofóbico y el tamaño de partícula es uniforme, la tortuosidad del recubrimiento se incrementa y en consecuencia se incrementa la resistencia a la permeación, ya que el camino que recorren las moléculas del gas permeante es más complejo (Fig. A). Cuando la distribución del material hidrofóbico no es homogénea y existe coalescencia, existen zonas altamente hidrofóbicas por donde la difusión del gas



permeante encuentra poca resistencia, por lo que la permeabilidad aumenta, así como la pérdida de estabilidad estructural del recubrimiento como consecuencia de la hidratación.

Otro de los factores que afectan la permeabilidad es cuando se presentan fenómenos de cremado y floculación o coalescencia en la emulsión de la formulación dando lugar a la formación de una “barrera bicapa” con una cara hidrofóbica y una hidrofílica, fácilmente hidratable con la consecuencia de la pérdida de estabilidad estructural.

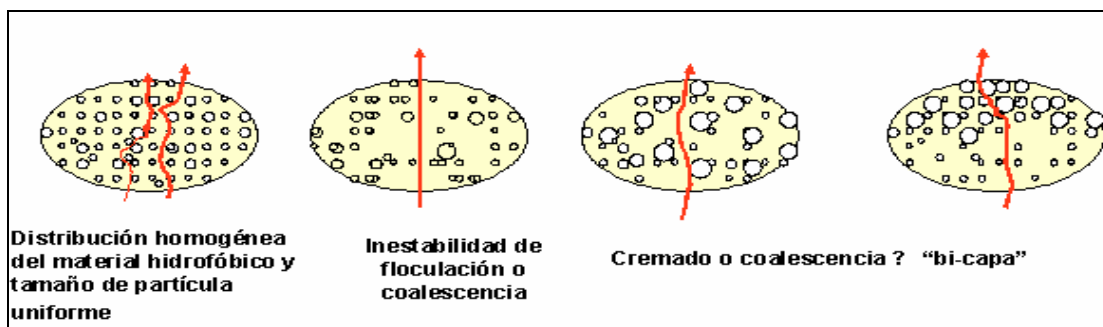


Figura A.-Mecanismos de transferencia de moléculas de vapor en recubrimientos emulsificados.

b) Adherencia uniforme. Otra de las propiedades importantes a considerar dentro de los sistemas dispersos es la viscosidad, es decir la resistencia al flujo, con lo que se disminuye el movimiento de las partículas dispersas generando mayor estabilidad de la emulsión, y contribuyendo a una mejor adherencia de la formulación en superficies planas o lisas.

En investigaciones recientes desarrolladas en la UAM-I, se ha demostrado que las formulaciones emulsificadas de recubrimientos a base de goma de mezquite y diferentes materiales hidrofóbicos exhiben propiedades de barrera al vapor de agua con alto potencial para prolongar la vida útil de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) (Bosquez-Molina y col., 2003), sin embargo dichas propiedades pueden verse afectadas adversamente al incorporar plastificantes y otros componentes en la formulación al intentar mejorar sus propiedades mecánicas (flexibilidad y adherencia).



No obstante existe una amplia variedad de biopolímeros que poseen buenas propiedades formadoras de películas y que al incorporarse en forma combinada podrían mejorar las propiedades mecánicas. Entre estos materiales se encuentran:

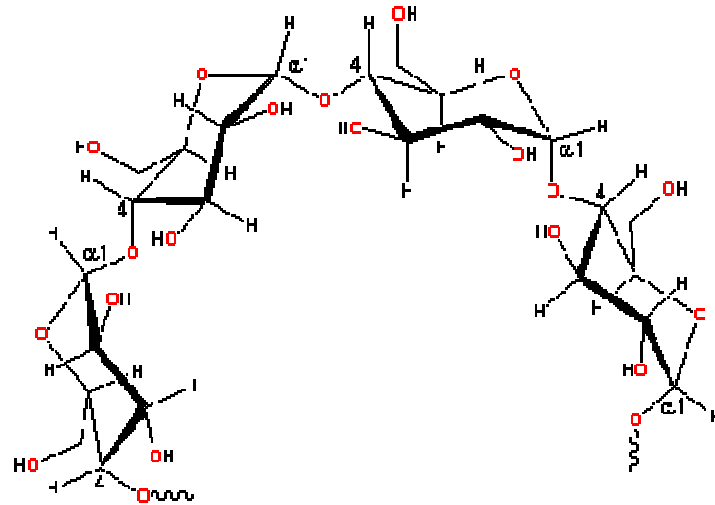
- **Polisacáridos:** Almidón, Alginato, Agar, Gomas. (Excelentes propiedades mecánicas)
- **Proteínas:** Colágeno, Zeína, Queratina.(Barrera al dióxido de carbono y oxígeno)

Por otro lado, la adición de plastificantes en las formulaciones puede mejorar aún más las propiedades mecánicas de la película final. Los plastificantes mas usados por su grado alimenticio son el sorbitol, glicerol, manitol, sacarosa, etc.

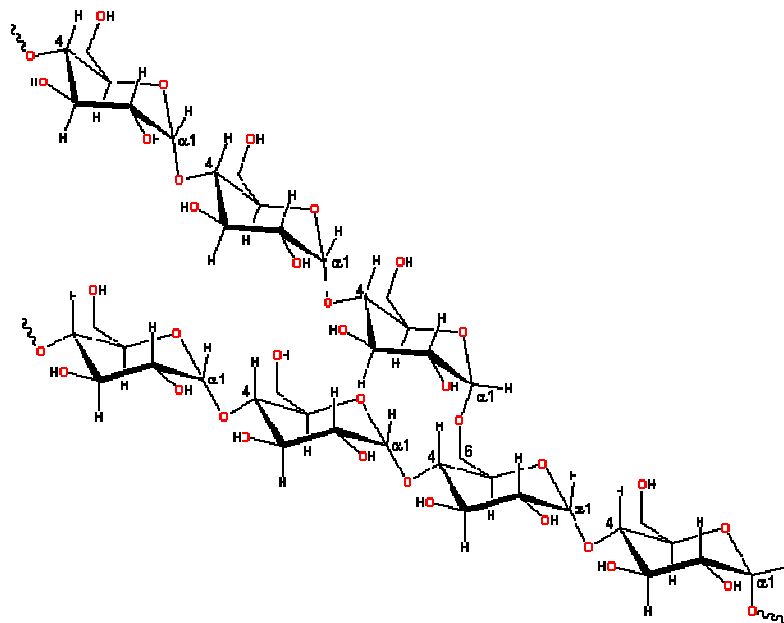
En el presente trabajo, se utilizaron los siguientes materiales como complemento de la goma de mezquite en la fase continua de las emulsiones como material estructural de las películas que se obtuvieron:

Almidón.

Químicamente, el almidón está conformado por dos fracciones básicas, la amilosa (normalmente en una proporción de 20 – 30%), y amilopectina (70-80 %), ambas consisten en polímeros con unidades de α D-glucosa, en la amilosa las uniones son 1-4 con el anillo de los átomos del oxígeno en el mismo lado; en la amilopectina aproximadamente por cada 20 unidades unidas hay un residuo con unión α (1-6) formando los puntos de ramificación, tiene una masa molecular entre 10^5 y 10^6 g·mol⁻¹. (Roger, 1996; Serna, 1996).



Representación estructural de la amilosa.



Representación estructural de la amilopectina.

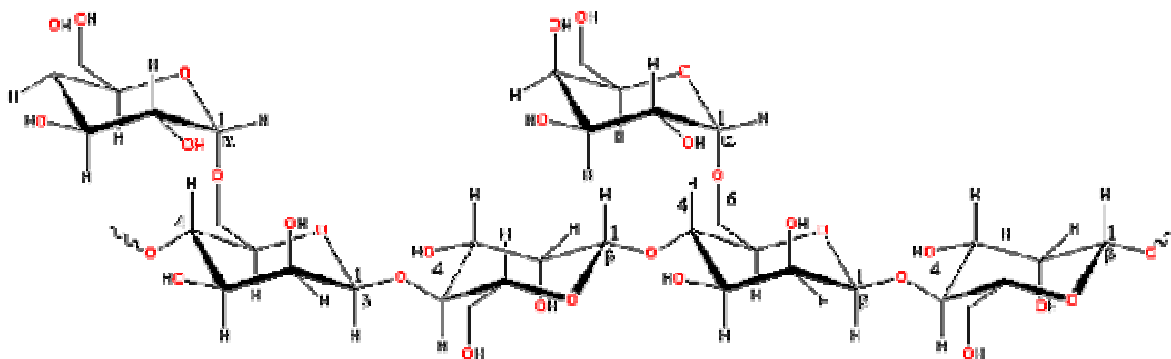


En películas a base de almidón, la matriz o red se forma durante el secado de una dispersión gelatinizada mediante los puentes de hidrógeno que se establecen entre los grupos hidroxilo. La amilosa es la responsable de la capacidad formadora de películas, un porcentaje mayor de este componente proporciona mayor fuerza y más flexibilidad a las películas, las estructuras ramificadas de amilopectina generalmente conlleva a películas con pobres propiedades mecánicas. (Tharanathan 2003)

Debido a su abundancia y bajo costo de producción, existe un gran interés en la utilización del almidón como componente en la elaboración de películas comestibles. El almidón constituye una excelente materia prima para modificar la textura y consistencia de los alimentos (French, 1984; Biliaderis, 1991). Su funcionalidad depende del peso molecular promedio de la amilosa y la amilopectina, así como de la proporción de estos dentro del gránulo; la proporción relativa de amilosa y amilopectina depende de la fuente de procedencia del almidón. Los almidones se utilizan porque regulan y estabilizan la textura y por sus propiedades espesantes y gelificantes. (Cousidine, 1982).
<http://www.lsbu.ac.uk/water/hysta.html>

Goma Guar

Químicamente la goma Guar está formada por una cadena lineal constituida por unidades de β -D manosa unidas en $\alpha(1-4)$ con ramificaciones constituidas por una sola unidad de β -D-galactosa unida en $\alpha(1-6)$ las cuales en conjunto se les denomina galactomananos; en promedio, la goma guar contiene 80% galactomananos, 12% agua, 5% proteína, 2% residuo insoluble en ácidos o fibra cruda, 0,7% ceniza, 0,7% grasa, un rastro de metales pesados, cero arsénico, y cero plomo, aproximadamente.



Representación estructural de la Goma Guar.

Se extrae del endospermo de la semilla de *Cyamopsis tetragonolobus*, una planta anual que pertenece a la familia de las leguminosas. Las semillas de la planta guar tienen un diámetro de 4 a 5 mm. Son dicotiledóneas, es decir, el albumen consiste de dos endospermos y es éste la fuente de goma. (Fig. a).

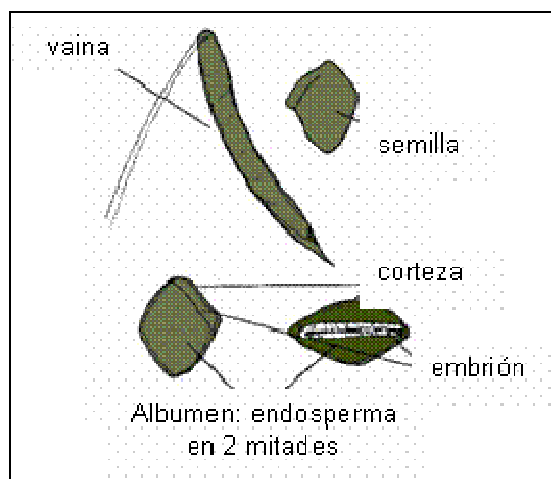


Fig. (a): semilla de *Cyamopsis tetragonolobus*

La viscosidad de dispersiones o soluciones de goma guar depende de factores fisicoquímicos como la temperatura, tiempo, concentración, pH, velocidad de agitación y



tamaño de la partícula del polvo, en agua fría la viscosidad máxima se logra en 1 a 4 hrs. El polvo de goma guar se hidrata más rápido que los polvos gruesos.

La goma Ggar se usa principalmente para espesar soluciones acuosas y para controlar la movilidad de materiales dispersados o disueltos; en soluciones acuosas se obtiene una viscosidad estable mediante la adición de 0.2 a 0.8 % de goma guar.

Pectinas de bajo metoxilo

Químicamente, es un polisacárido compuesto de una cadena lineal de moléculas de ácido D-galacturónico, las que unidas constituyen el ácido poligalacturónico. Cada anillo de la cadena posee un grupo carboxilo (-COOH). Este grupo puede estar esterificado con metanol produciendo grupos éster metílicos, (-COOCH₃) o neutralizado por una base. Las pectinas se distinguen por dos características relacionadas con su estructura bioquímica:

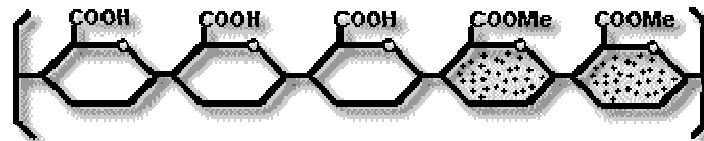
*1. **EL GRADO DE ESTERIFICACION** del ácido galacturónico, que está en relación directa con su peso equivalente.*

*2. **LA LONGITUD DE LAS CADENAS MOLECULARES**, que está en relación directa con el peso molecular.*

El comportamiento y aplicaciones prácticas de los diferentes tipos de pectinas se explican según los valores de estas dos características, según el grado de esterificación por ejemplo, las pectinas se clasifican como de alto o bajo metoxilo. Las pectinas de bajo metoxilo presentan esterificación menor del 50%, este porcentaje significa que si la cadena de ácido galacturónico tiene por ejemplo 100 grupos carboxílicos y solamente 40 están esterificados se dirá que es de bajo metoxilo.



PECTINAS DE BAJO GRADO METOXILO SU GRADO DE ESTERIFICACION (GE) ES INFERIOR AL 50% Por ejemplo esta pectina tiene 40% GE



Representación estructural de la pectina.

Cuando la pectina entra en solución acuosa, sus grupos carboxilo se disocian parcialmente para formar iones carboxilo con carga negativa ($R-COO^-$) provocando así el aumento de la carga negativa de las moléculas y la recíproca repulsión entre ellas. Todo esto favorece la disociación de la pectina, al existir en el medio iones hidrogeno positivos, neutraliza la acción de los iones carboxilos negativos, reduce al mínimo el aumento de la carga eléctrica y la disociación de la pectina, y favorece las uniones físicas de sus moléculas.

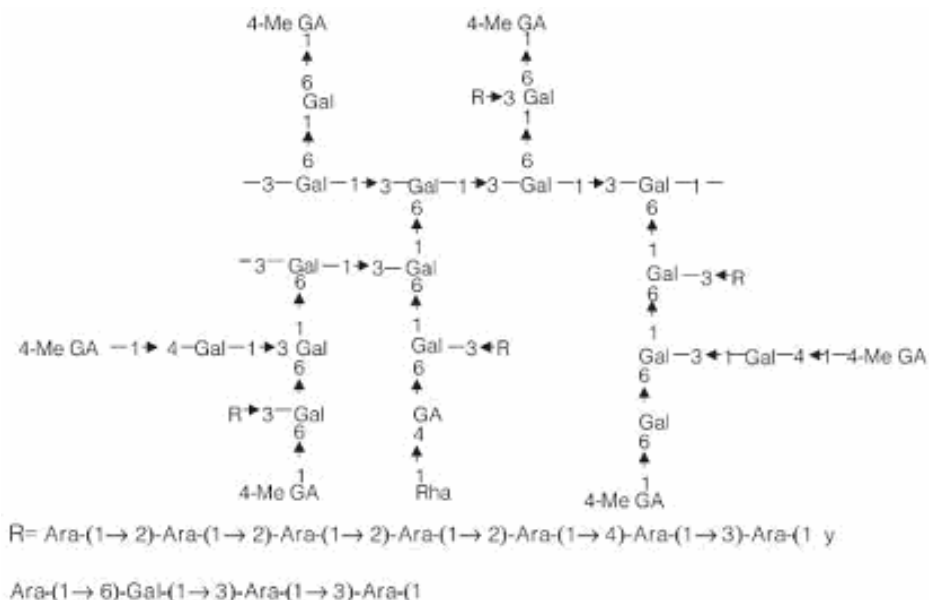
La pectina en solución acuosa presenta propiedades espesantes, estabilizantes y sobre todo gelificantes, está presente en mayor o menor grado en todas las frutas, en algunas raíces como la remolacha y zanahoria, y en tubérculos como las patatas, la viscosidad de la solución depende de: La concentración, la temperatura, el peso molecular y el grado de esterificación de la pectina.

La cantidad de pectina, que generalmente se determina por pruebas con pequeñas cantidades de materias primas disponibles, está normalmente comprendida entre 0,3 y 2% del peso final del producto. (<http://www.lsbu.ac.uk/water/hypec.html>) **(UNIPECTINE 1.992, CAMACHO G. 1983, AHMED, G.E. 1.981)**



Goma de mezquite

La goma de mezquite es una sal neutra de un polisacárido ramificado de naturaleza acídica formado por un núcleo de residuos de β -D-galactosa, constituyendo un esqueleto de uniones (1-3) y ramificaciones (1-6) conteniendo L-arabinosa (formas cíclicas de piranosa y furanosa), L-ramnosa, β -D-glucuronato y 4-o-metil- β -D-glucuronato como azúcares simples o cadenas laterales de oligosacáridos. La goma de mezquite también contiene una pequeña cantidad de proteína (0.7-5.8%), la cual desempeña un papel importante como emulsificante ya que estabiliza la emulsión previniendo la coalescencia de las gotas de aceite, ubicada en la parte central de la estructura principal, siendo químicamente muy similar a la goma arábica (Vernon-Carter y col., 2000; Orozco-Villafuerte y col. 2003). Es un polielectrolito, es decir, una macromolécula que posee un gran número de grupos ionizables.



Estructura primaria propuesta para el polisacárido de la Goma de Mezquite.



La goma de mezquite es un agente emulsificante muy efectivo, esta propiedad está relacionada con su contenido proteico, el cual le confiere un modelo de estructura de “Wattle–blossom” similar a la sugerida para la goma arábica, en la que los residuos de aminoácidos se anclan en la interfase y los bloques de carbohidratos se extienden en la solución acuosa, evitando la floculación y coalescencia de las gotas debido a efectos estéricos. Estas características y propiedades le confieren un gran potencial para su uso como material estructural en la elaboración de recubrimientos y películas comestibles emulsificadas.

(<http://www.chapingo.mx/agroind/congreso/ponencia/ponencias/Mesa%20V/Desarrollo%20de%20peliculas%20comestibles....pdf#search='goma%20de%20mezquite'>)

La decisión de explorar la obtención de mezclas de goma de mezquite con los polisacáridos descritos para la fase continua de la emulsión (matriz estructural de la película final), se centra principalmente en las propiedades que estos componentes poseen para obtener dispersiones con mayor viscosidad.

Materiales hidrofóbicos de las emulsiones:

Cera de Candelilla.

La mayoría de los constituyentes de la cera de Candelilla son componentes naturales que se encuentran en los vegetales y en las frutas. Su composición química se caracteriza por un alto contenido de hidrocarburos (alrededor del 50%) y una cantidad relativamente baja de ésteres volátiles. Su contenido de resina puede llegar hasta 40% en peso, lo cual contribuye a sus propiedades adhesivas. Puede endurecer otras ceras sin aumentar significativamente el punto de fusión de la mezcla. Es color café a amarillo-café, dura, quebradiza, Prácticamente insoluble en agua, poco soluble en alcohol, soluble en acetona, benceno, aceites, etc.; Punto de Ebullición >240 °C, Punto de Fusión °C 68 a 72 °C.

Se obtiene de la planta silvestre *Euphorbia Cerífera*, la cual pertenece a la familia de las Euforbiáceas. La planta crece normalmente en zonas de clima semi-desértico y presenta un



aspecto similar al de los cactus, de quienes se diferencian con claridad por el látex lechoso que contiene la planta de Candelilla, esta se desarrolla casi exclusivamente en una región semi-desértica de Norteamérica, conocida como “El Desierto de Chihuahua”.

Se utiliza como diluyente en fórmulas que contienen carnauba, parafinas y otras ceras para obtener mezclas con menor punto de fusión, mejoran apariencia en productos impartiendo brillo lo que hace extenso su uso en confitería, cosméticos, aceites, lubricantes, velas, cerillos lustradores para muebles, entre otras cosas. (<http://www.multiceras.com.mx/pro-candelilla.htm>)

Aceite mineral.

Son hidrocarburos pesados obtenidos por destilación fraccionada del petróleo bruto, es un material incoloro, inodoro e insípido, consiste en una mezcla de hidrocarburos parafínicos líquidos y nafténicos, pertenecen a la serie de grasas saturadas, su punto de fusión es de 50.0-51.1 °C, tiene una dureza de 0.880-0.915 (g/ml), cuya fórmula general es $C_n H_{2n+2}$.

Esta permitido su uso como aditivo alimentario y como agente protector para recubrir frutas y hortalizas siempre y cuando las cantidades no excedan lo establecido en las buenas practicas de manejo. (www.pegasal.es/pro3.htm)

Glicerol

El glicerol junto con los ácidos grasos es uno de los componentes de los lípidos simples, es uno de los principales productos de la degradación digestiva de los lípidos. Un lípido simple está formado por una molécula de glicerol al que se unen por enlaces lipídicos tres moléculas de ácidos grasos. Es utilizado dentro de la formulación por su propiedad de ser un plastificante. Glicerol ($C_3H_8O_3$)

HIPÓTESIS



El uso de mezclas de biopolímeros (polisacáridos) en la fase continua permitirá obtener películas comestibles con mejores propiedades mecánicas sin modificar sus propiedades de barrera.

OBJETIVO.

Desarrollar mezclas de biopolímeros para obtener películas comestibles emulsificadas mejoradas en sus propiedades de adherencia.

Objetivos específicos:

- Selección de polisacáridos con potencial para favorecer la adherencia de los recubrimientos (películas comestibles).
- Determinar la concentración adecuada del polisacárido para obtener una emulsión estable.
- Caracterización de las emulsiones mediante la determinación de: viscosidad, tamaño de partícula, tasa de coalescencia.
- Caracterización de las películas comestibles mediante la determinación de: Grosor y Permeabilidad al vapor de agua (WVP).
- Evaluar la adherencia asociada a la viscosidad.

METODOLOGIA.



Para la realización de las formulaciones se partió de una formula base de goma de mezquite realizada en la UAM-I con buena funcionalidad para el recubrimiento de frutos frescos, pero con características pobres de adherencia.

1. Selección de biopolímeros aditivos a la formulación:

- Almidón. Almidón de maíz, con un contenido aproximado de amilosa 27% y Amilopectina 73%, las concentraciones utilizadas están en un rango de (0.5-2 %p/p) (Sigma Aldrich Chemical Co. St Louis Mo, USA.)
- Goma Guar. Las concentraciones utilizadas están en un rango de (0.5-2 %p/p) (Sigma Aldrich Chemical Co. St Louis MO.)
- Pectina de bajo grado metoxilo. Las concentraciones utilizadas están en un rango de (2-4 %p/p) (CP kelco a Hober company)

FORMULACIONES:

Fase continua: se emplearon mezclas de goma de mezquite y biopolímeros (almidón, goma guar y pectina de bajo metoxilo), manteniendo una concentración constante de goma de mezquite (10% peso) y se varió el contenido del biopolímero que forma la mezcla. (Tabla 1).

Fase dispersa: Cera de candelilla y Aceite mineral, considerando una relación de 2:1 con una $\phi = 0.175$

Plastificante: Glicerol, manteniendo la proporción constante (1.75%) dentro de la formulación.

Conservador: Benzoato de sodio 0.1%

2. Preparación de las emulsiones:



Diagrama de flujo.

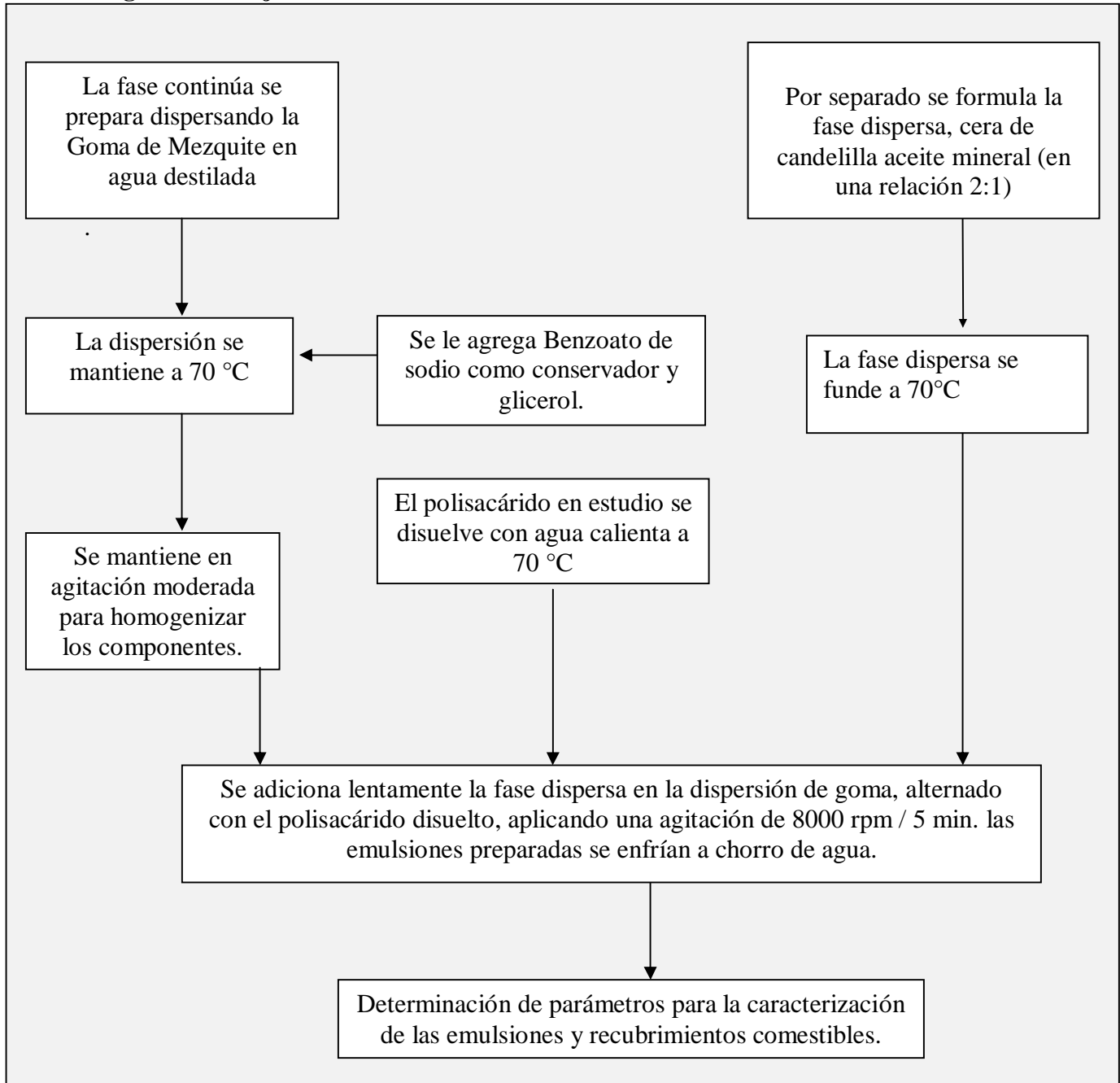


Tabla 1.- Formulaciones de emulsiones aceite en agua, con mezclas de goma de Mezquite-polisacárido, como material estructural.



Componente	Formulación % (p/p)				
	F1	F2	F3	F4	F5
Almidón	-	0.5	1.0	1.5	2.0
Goma guar	-	0.1	0.3	0.5	0.9
Pectina B-M	-	0.5	0.75	1.0	1.25
Goma de mezquite	10	10	10	10	10
Cera de candelilla: Aceite mineral (2:1)	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5
Benzoato	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Glicerol	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75
Agua	70.65	70.15	69.65	69.15	68.65

3. Caracterización de las emulsiones.

- **Tamaño de partícula.**

Se determinó el tamaño volumétrico medio (D4,3) y distribución de partículas en las emulsiones con el equipo Malvern Master Size 2600 (Malvern Instruments, Works, Inglaterra), las determinaciones se realizaron primero a las 24 hrs. después de su elaboración y posteriormente a diferentes periodos.

- **Tasa de coalescencia.**



Mediante la determinación de este parámetro se puede estimar la estabilidad de la emulsión. Se determina para cada emulsión a partir de la variación del tamaño de partícula por unidad de volumen de la emulsión con respecto al tiempo; en donde el número de gotas de la fase dispersa a cierto tiempo (N_t), está relacionada con el número inicial de gotas de la fase dispersa (N_0) mediante la siguiente expresión.

$$N_t = N_0 e^{-Ct} \quad (\text{EC. 1})$$

Donde C es la tasa de coalescencia y N_t esta dada por.

$$N_t = \frac{6q \times 10^{12}}{p D t} \quad (\text{EC.2})$$

Donde θ es la fracción volumétrica de la fase oleosa, $D(t)$ es el tamaño promedio de partícula a un tiempo t . Dado que existe una relación lineal entre el logaritmo natural de N_t y t (en segundos), la tasa de coalescencia, estará dada por la pendiente de la recta resultante.

Para cada emulsión se grafica el $\ln N_t$ con respecto al tiempo (en segundos), y mediante una regresión lineal se obtiene el valor de la pendiente que representa la tasa de coalescencia.

Lo datos obtenidos se comparan tomando como criterio la escala reportada por Sherman (1968)

Rangos de C

$> 10^{-11}$	Muy estable.
$10^{-6} - 10^{-11}$	Estable.
$< 10^{-6}$	Muy inestable.

- **Determinación de viscosidad.**



La viscosidad es la propiedad de los fluidos cuando estos presentan resistencia a la dirección de su movimiento (debida al frotamiento de sus moléculas), la unidad de medida de la viscosidad es el poise ($\text{Pi} = \text{Kg. m}^{-1}\text{s}^{-1}$), para las medidas en las que el poise resulte excesivamente grande se emplea un submúltiplo cien veces menor, que se denomina centipoise y se representa por cps.

El objetivo de la determinación de este parámetro es realizar una comparación subjetiva, que permita evaluar el comportamiento de la adherencia en función de la viscosidad; la adhesividad se asocia con la viscosidad ya que esta propiedad permite a un compuesto formar una unión con la superficie de otro material después de un breve contacto.

Para la determinación de la viscosidad se empleó un viscosímetro Brookfield Modelo LVF synchro-lectric viscometer, el principio de medida se basa en aplicar una velocidad de giro constante y medir la resistencia que ofrece la muestra al giro del rotor, los datos obtenidos se reportan en centipoise (cps).

4.-Formación de recubrimientos.

Las emulsiones se aplicaron en placas de teflón o plexiglás empleando un aplicador para películas húmedas el cual permite obtener películas homogéneas; las placas se dejan secar en condiciones ambientales ($22 \pm 2^\circ\text{C}$ y 75-85% HR). Una vez formado el recubrimiento se retira de la placa, se corta en secciones circulares de aproximadamente 1.5 cm. de diámetro y se almacenan en cajas Petri para su posterior evaluación a la permeabilidad de agua, manteniéndolas en un desecador en condiciones de 25% de humedad relativa aproximadamente.

Caracterización de películas o recubrimientos comestibles:



- **Grosor de la película.**

Se determinó con un micrómetro Mitutoyo mod. ID-C112E con una precisión de 0.001mm. Se realizan 8 mediciones aleatorias en cada muestra de las películas elaboradas y se obtiene un promedio.

- **Permeabilidad al vapor de agua (wvp).**

La permeabilidad es una propiedad de cada recubrimiento desarrollado, mediante el cual se puede conocer la masa de vapor de agua que se transporta de un lado de la película al exterior, ya que se somete a un gradiente de humedades en ambos lados del recubrimiento.

Se utilizó el método gravimétrico estándar de la ASTM, E 96-80 (ASTM, 1989), conocido como el “método de copa” o “celda de prueba”; cada muestra circular de las películas se colocan en la parte superior de las celdas de prueba, fijándola mediante un engargolado con tapas de aluminio perforado. La celda contiene una humedad relativa constante de 92.5 %, cada celda se coloca en un desecador con tapa plana, el cual tiene una solución saturada de NaCl que genera una humedad relativa de 75 %, estas condiciones permiten generar un gradiente de humedad para que el vapor de agua difunda a través de la película, ocasionando una pérdida de peso en la solución de mayor humedad relativa (interior de la celda). (fig. 1).

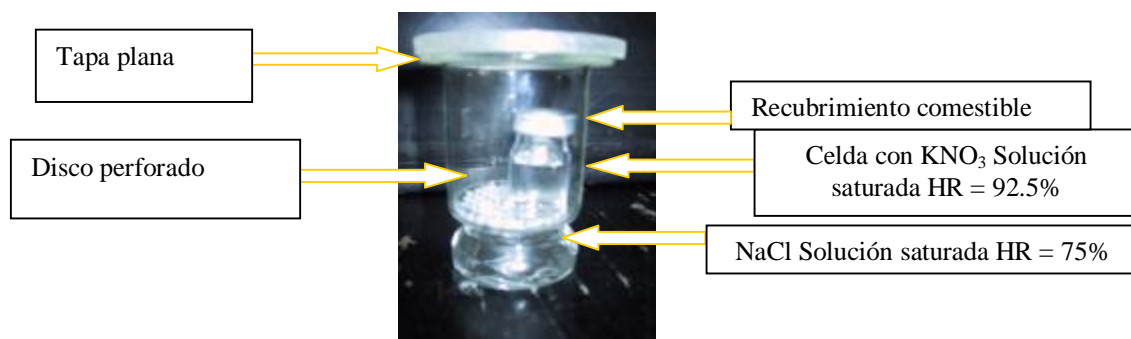


Fig. 1 sistema empleado para la WVP: celda de prueba.



Los cambios se registran cada hora hasta obtener un peso constante en dos determinaciones consecutivas (aproximadamente 7 hrs.), utilizando una balanza analítica Ohaus con precisión de 0.0001g. La determinación de la permeabilidad implica tres cálculos.

1° con los datos obtenidos se calcula la tasa de transmisión al vapor de agua (WVTR_m) por sus siglas en ingles, la cual se define como el flujo que establece el vapor de agua en una unidad de tiempo a través de una unidad de área ecuación “1”

$$WVTR_m = \frac{\Delta w}{\Delta t \cdot A} \quad \text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \quad \text{Ec} \dots (1)$$

En donde Δw es el cambio de peso (g) de la celda de permeación durante el tiempo Δt con una área constante de 5.0267×10^{-5} y $\frac{\Delta w}{\Delta t}$ es la pendiente obtenida de la gráfica de pérdida de peso vs. tiempo y dividido entre el área (A) se obtiene la WVTR_m., la cual se determina bajo condiciones conocidas de, temperatura y gradiente de presión parcial al vapor de agua o humedad relativa.

2° se determinó la permeación que representa el tiempo que impone la transmisión de vapor de agua, a través de una unidad de área del recubrimiento; la permeación se obtiene al dividir la WVTR_m entre el gradiente de presión parcial de vapor de agua

$$\text{Permeación} = \frac{WVTR_m}{PA1 - PA2} \quad \text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \quad \text{Pa} \quad \text{Ec.2}$$

3° Finalmente desarrollando la tercera ecuación se obtiene la permeabilidad de las películas, la cual se define como el tiempo de transmisión de vapor de agua a través de una unidad de área de espesor conocido bajo condiciones de controladas de humedad y temperatura, la permeabilidad se obtiene de multiplicar la permeación por el espesor de la película.



$$\text{Permeabilidad} = \text{Permeación} \times \text{Espesor (g.m. s Pa)} \dots \dots \dots (3)$$

En el desarrollo del presente proyecto para la determinación de este parámetro se utilizó una cámara con humedad y temperatura controlada. Fig. 2, Teniendo mejor control de los parámetros experimentales, registrando los pesos continuamente mediante un software acoplado a la balanza



Fig. 2.- cámara con humedad y temperatura controladas

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El objetivo del presente trabajo fue desarrollar mezclas de biopolímeros para obtener películas comestibles emulsificadas mejoradas en la matriz estructural y en sus propiedades de adherencia.

Efecto de las mezclas de almidón, goma guar y pectina con goma de mezquite en la caracterización de las emulsiones.

TAMAÑO Y DISTRIBUCIÓN DE PARTÍCULA

El tamaño de partícula se modifica conforme se aumenta la concentración de polisacárido dentro de la formulación, este efecto se ve reflejado en cada una de las formulaciones



realizadas y en cada polisacárido empleado (tabla 4); el tamaño de partícula se incrementa en las formulaciones realizadas con almidón, seguidas de las formulaciones realizadas con Pectina de bajo metoxilo y las que presentaron menor tamaño de partícula fueron las formulaciones de Goma guar. De acuerdo con Becher (1972) si en una emulsión se presentan tamaños de partículas diferentes y los diámetros no son uniformes, pero la distribución contiene alta proporción de gotas de pequeño diámetro se puede considerar como una situación de estabilidad.

Las graficas obtenidas de distribución y tamaño de partícula (anexo 1), muestran una distribución unimodal donde se aprecia que el porcentaje de tamaño de partícula se incrementa en valores intermedios, sin embargo se mantiene una porción mayor de esferas de pequeño diámetro, por lo que se consideran estas emulsiones estables.

TASA DE COALESCENCIA

Es importante conocer la tasa de coalescencia en formulaciones emulsificadas, para predecir el tiempo de estabilidad de una emulsión en condiciones estables (tiempo que tarda la fase dispersa en coalescer y por lo tanto se rompe), se calculo la tasa de coalescencia de las formulaciones desarrolladas utilizando los datos de los cambios observados en el tamaño de partícula, ver anexo

La estabilidad que exhibieron las emulsiones desarrolladas oscilan en el orden de 1×10^{-08} - 1×10^{-09} , como se puede apreciar todas las formulaciones desarrolladas son estables, tomando como criterio la escala reportada (Sherman, 1968). Tabla 4. Este comportamiento puede explicarse en términos de las características dadas por la composición de las formulaciones.

VISCOSIDAD



Con la adición de polisacáridos en la formulación se observó un incremento en la viscosidad al incrementar la concentración de polisacárido (Almidón, Goma guar y Pectina) gráficos 1, 2, 3, Tabla 4.

La adherencia de una emulsión sobre una superficie lisa puede relacionarse con las propiedades reológicas de la emulsión (viscosidad) (fig.3). En general, en sistemas dispersos “emulsiones” se ha observado que estas presentan mayor resistencia a fluir al incrementar la viscosidad observándose una mejor adherencia.

Las emulsiones desarrolladas con almidón presentan buenas características de adherencia, sin embargo al emplear concentraciones mayores de 2% de almidón en la formulación es difícil obtener una emulsión pues se tiene una formulación altamente viscosa.

Las emulsiones desarrolladas con goma guar necesitan de una menor concentración de este polisacárido para mejorar sus propiedades de viscosidad, a concentraciones de 0.5% se tiene una viscosidad parecida a la obtenida con 1.5% de almidón, con concentraciones superiores a 0.9% es difícil obtener una emulsión pues se tiene una viscosidad muy alta.

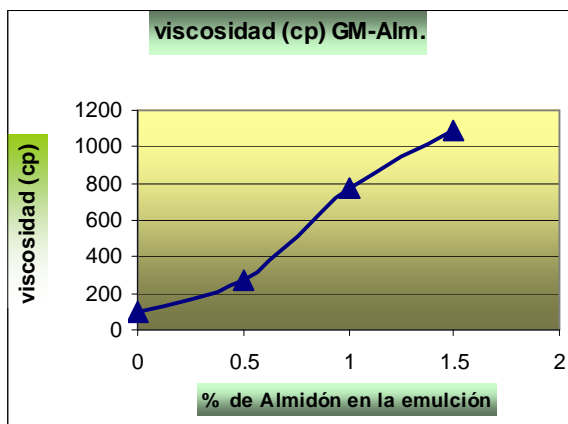
Las emulsiones desarrolladas con pectina de bajo metoxilo presentan un incremento en la viscosidad a partir de una concentración de 0.5% y hasta 1.3%, con concentraciones superiores a 1.5% en la formulación se tienen viscosidades muy altas las cuales dificultan la realización de una emulsión.

Como era de esperarse al utilizar Almidón, Goma guar y Pectina las formulaciones fueron mejoradas en adherencia sin alterar la estabilidad de las emulsiones, los componentes (polisacáridos empleados) tienen la capacidad de aumentar la viscosidad de soluciones acuosas y pueden ser considerados como estabilizantes, estos materiales se dispersan o hinchan en el agua impidiendo el movimiento del material hidrofóbico provocando una disminución en las fuerzas de atracción entre estas moléculas, aumentando con esto la estabilidad de las formulaciones desarrolladas, retardando la separación de fases que se da

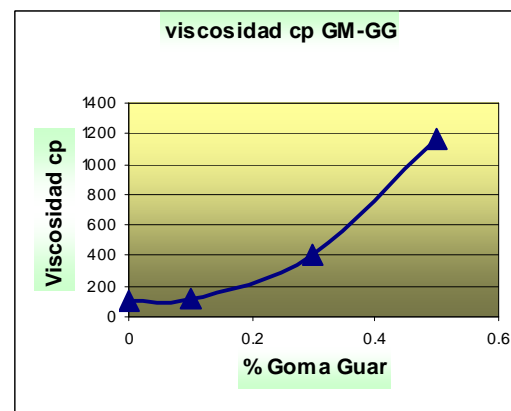


por la aparición de fenómenos tales como floculación o coalescencia los cuales originan la separación de los componentes originando la aparición de cremado (movimiento ascendente de las partículas de la fase interna oleosa) ó precipitación del material hidrofóbico.

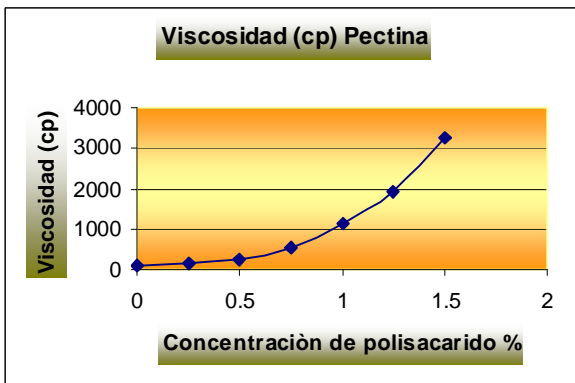
Grafica 1,2 Y 3.-Efecto de la concentración de polisacárido en la Viscosidad de la emulsión.



Grafica. 1 (Almidón)



Grafica. 2 (Goma guar)



Grafica 3 (PBM)



Fig. 3.- Comparación de adherencia obtenida con la adición de polisacárido vs. Formulación inicial.

Tabla 4.- características de las emulsiones goma de Mezquite-Almidón



Formulación ALMIDÓN	Tamaño de partícula inicial mm	Tasa de coalescencia (S⁻¹)	Viscosidad (Cp)
F1-A, 0.0% almidón	1.67 ± .6	2E-09	100
F2-A, 0.5% de almidón	2.06 ± .6	2E-09	270
F3-A, 1.0% de almidón	2.09 ± .6	1E-08	770
F4-A, 1.5 % de almidón	2.12 ± .6	2E-08	1090
F5-A, 2.0 % de almidón	2.27 ± .6	4E-08	6660
Formulación GOMA GUAR	Tamaño de partícula inicial mm	Tasa de coalescencia (S⁻¹)	Viscosidad (Cp)
F1-B, 0%Gg	1.67 ± .3	2E-09	100
F2-B, 0.1 % G.g	1.95 ± .3	2E-09	120
F3-B, 0.3 %G.g	1.97 ± .3	1E-08	410
F4-B, 0.5 % G.g	2.01 ± .3	6E-09	1160
Formulación PECTINA	Tamaño de partícula inicial mm	Tasa de coalescencia (S⁻¹)	Viscosidad (Cp)
F1-C, 0.0% Pectina	1.67 ± .5	2E-09	100
F2-C, 0.5% Pectina	2.14 ± .5	5E-09	260
F3-C, 0.75% Pectina	2.14 ± .5	1E-09	560
F4-C, 1.0% Pectina	2.21 ± .5	4E-09	1160
F5-C, 1.25% Pectina	2.22 ± .5	3E-08	1950

Efecto de las mezclas de los biopolímeros (Almidón, Goma guar y Pectina) con Goma de Maezquite en la funcionalidad de las películas obtenidas; al realizar el análisis de los



siguientes parámetros: grosor de la película, adherencia, flexibilidad y permeabilidad al vapor de agua

GROSOR DE LA PELÍCULA.

Como era de esperarse, la composición de la formulación, tipo y concentración de polisacárido afecta la obtención de películas uniformes, el espesor promedio se determinó a partir de los datos obtenidos de 8 mediciones aleatorias en muestras de películas elaboradas tabla 5.

A pesar de utilizar un aplicador de películas húmedas y placas lisas de Placa Plexiglás (polimetilmetacrilato), los recubrimientos analizados presentan grosores distintos sobretodo cuando la concentración del polisacárido es muy alta.

ADHERENCIA Y FLEXIBILIDAD

En las películas formadas con almidón al incrementar la concentraciones de 0.5 – 1.5 %, se va mejorando la adherencia en superficies lisas, son flexibles y no son quebradizas ni se cuartejan, cuando la concentración es igual o mayor a 2% se tienen formulaciones altamente viscosas son frágiles, quebradizas y tienden a cuartearse.

Con goma guar a partir de 0.2% hasta 0.5% se tienen emulsiones con buena viscosidad y se mejora la adhesividad de la emulsión en superficies lisas, con estas formulaciones se tienen buenas propiedades de adherencia, no son quebradizas son flexibles y fáciles de manipular.

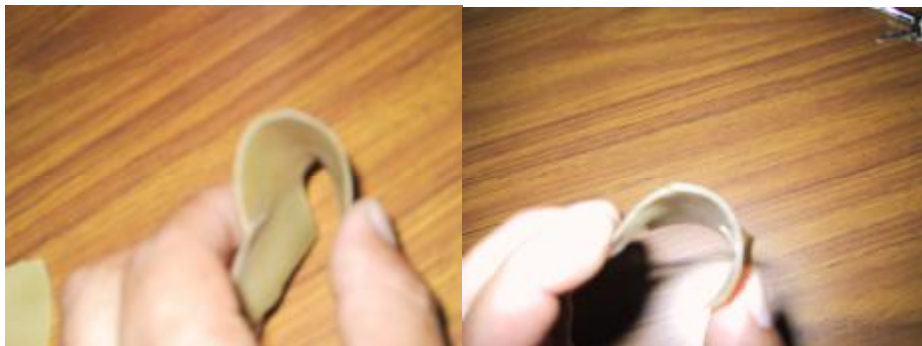
Las formulaciones desarrolladas con pectina de bajo metoxilo presentan un incremento en la adherencia al emplear concentraciones en un intervalo de (0.5-1.3) % dentro de la formulación, con concentraciones superiores a 1.5% se dificulta la obtención de



recubrimientos pues las emulsiones se vuelven altamente viscosas, presenta buenas características de adherencia, son películas flexibles y fáciles de manipular.

En general las películas formadas en superficies lisas (utilizando formulaciones con buenas características de viscosidad) presentaron una apariencia homogénea, flexibles a la manipulación manual, fáciles de desprender de la superficie teniendo una ligera coloración café. Fig.8

Fig. 8.- apariencia de las cubiertas obtenidas.



PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA (WVP).

Para establecer una base de comparación de la permeabilidad al vapor de agua en las distintas emulsiones se trato de obtener películas con los mismos grosores.



En todas las formulaciones se observa un efecto del espesor sobre la permeabilidad al vapor de agua, cuando se incrementa independientemente de la composición, la permeabilidad aumenta, este efecto se puede atribuir a la naturaleza de la formulación ya que se crean recubrimientos altamente hidrofílicos, al realizar el recubrimiento, en las películas se crean canales altamente hidrofílicos por donde aumenta de manera considerable la permeabilidad, entre más delgada es la película hay menos moléculas hidrofílicas disponibles para absorber la misma masa unitaria de moléculas de agua, por lo que podemos decir que la efectividad de este tipo de recubrimientos formulados con biopolímeros de estructura hidrofílica depende principalmente de la concentración y distribución del material hidrofóbico presente dentro de la matriz estructural de la formulación ya que este modifica la polaridad de la matriz estructural hidrofílica, reduciendo la permeabilidad al vapor de agua, sin embargo tienden a ser más gruesas y quebradizas (Kester y Fennema, 1986; Martín Polo, Mauguin y Voilley, 1992)

Los valores de la permeabilidad al vapor de agua de las diferentes formulaciones desarrolladas fueron evaluadas en un gradiente de humedad de 92-75 % Hr (tabla 7), las características que presentaron los recubrimientos muestran que a mayor contenido de polisacárido la película presenta menos resistencia al flujo por lo que hace a la película más permeable, en estudios posteriores evaluar el efecto del gradiente de humedad relativa será un buen parámetro a evaluar dependiendo del tipo de producto que se desee cubrir pues el tener condiciones de almacenamiento con humedades distintas podrían variar la permeación a través del recubrimiento.

Al aplicar la película en un fruto la cubierta es delgada, el rango de variación evaluado en el grosor es de 0.2 a 0.26 ya que las formulaciones desarrolladas tienden a formar películas gruesas y no se pudieron obtener cubiertas más delgadas. Las formulaciones que presentan mayor permeabilidad son las de pectina, este efecto se puede atribuir a la estructura del polisacárido ya que este hidrocoloide por una parte tiene la propiedad de disminuir las interacciones específicas entre las partículas de material hidrofóbico dispersas por aumento



en la viscosidad estabilizando el sistema pero también los emulsificantes se adsorben en la interfase por lo que el tamaño de las partículas dispersas aumenta pues los espacios interfaciales se reducen lo que impide una mejor distribución y el tamaño de partícula tiende a aumentar.

Tabla 5. Grosor (mm), WVP (g mm/kPa m² día)

MUESTRA	GROSOR PROMEDIO (mm)	WVP G (mm/kpa m ² día)
F1-A	0.22 ± 0.01	4.70395533
F2-A	0.25 ± 0.02	6.2943764
F3-A	0.25 ± 0.02	6.498242844
F4-A	0.20 ± 0.01	4.40332428
F1-B	0.22 ± 0.01	4.70395533
F2-B	0.21 ± 0.02	6.89905543
F3-B	0.23 ± 0.02	7.31421724
F4-B	0.23 ± 0.01	7.530659095
F1-C	0.22 ± 0.02	4.70395533
F2-C	0.25 ± 0.01	12.4148899
F3-C	0.23 ± 0.01	10.2210082
F4-C	0.25 ± 0.02	10.9047201
F5-C	0.24 ± 0.02	7.42914895

APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES EN FRUTOS

Se realizó el recubrimiento en frutos utilizando las formulaciones obtenidas, empleando para este análisis: limón (*Citrus aurantifolia* Swingle), Litchi (Litchi chinesis Sonn) cv Brewster, Pera (*Pyrus communis* L. cv. 'BARTLETT'), Aguacate hass. (imágenes no mostradas)



La finalidad fue emplear frutos con superficies de características distintas; los recubrimientos se analizaron visualmente para determinar si presentaban algunos defectos tales como opacidad en el fruto, fisuras, huecos y su flexibilidad.

En los frutos la aplicación se realizó por inmersión procurando la formación de una película continua y homogénea, que no modificara la apariencia física del fruto.

Los frutos exhibieron una apariencia de deshidratación y opacidad conforme se incremento la concentración de almidón (Tabla 16), reduciendo de esta manera su potencial como recubrimiento en frutos frescos, la formulación con 2% de almidón presento varias hendiduras y una mayor opacidad.

En las formulaciones desarrolladas con Goma guar y Pectina de Bajo Metoxilo no se tuvieron problemas en la apariencia de los frutos tratados.

La superficie de los frutos y la forma de aplicar el recubrimiento están relacionados con las propiedades mecánicas de la película, ya que si la superficie no es homogénea, se tienen problemas con la uniformidad del recubrimiento conforme la superficie del fruto es menos lisa; en el caso del particular de “Lichi” su cáscara es muy irregular y al aplicar el tratamiento existieron sitios donde se depositaba mayor contenido de emulsión creándose películas de grosor variado (tabla 14) al paso del tiempo al realizar observaciones se observo pudrición de la pulpa aunque la cáscara tenia una apariencia de un fruto sano, este efecto se puede atribuir a la poca o nula transmisión de vapor de agua y gases lo que se provocó la asfixia del fruto (fig. 7)

Fig 7.- observación de lichi después de 10 días.



Para tener una mejor idea del potencial de aplicación de las distintas formulaciones desarrolladas se analizó la PFP (Pérdida fisiológica de peso).

PFP en los frutos recubiertos.

Para conocer el efecto sobre la pérdida de peso debido a la transferencia de vapor de agua hacia el exterior durante el almacenamiento que se produce al aplicar un recubrimiento en frutos frescos se realizó una prueba con limón (*Citrus aurantifolia* Swingle), registrando los cambios en el peso de los frutos utilizando una balanza analítica, los resultados se muestran en las tablas 11, 12 y 13 como pérdida de peso en función del tiempo.

Comparando los resultados de los frutos sin tratamiento (imágenes no mostradas) con los tratados con las diferentes formulaciones desarrolladas estos presentan una menor pérdida de peso en todos los casos, las formulaciones desarrolladas con almidón son las que presentan los valores mas altos de PFP por lo que podemos decir que en general el uso de recubrimientos retardan la pérdida de peso por la pérdida de vapor de agua.

Tabla11. Limones tratados con Emulsión GM-Almidón.

Muestra	Pi	Pf = 15 Días	% PFP
CONTROL	81,35	63,6	21,8192993
0.5% Alm	141,38	128,7	8,96873674



1.0% Alm.	161,79	141,5	12,5409481
1.5% Alm.	113,12	92,9	17,8748232

Tabla 12. Limones tratados con Emulsión Gm-Goma Guar

Muestra	Pi	Pf = 15 Dias	% PFP
CONTROL	61,92	47,09	23,9502584
0.1% GG	59,62	54,94	7,84971486
0.3% GG	50,2	45,65	9,06374502
0.5% GG	56,21	50,96	9,33997509
0.9% GG	54,98	49,29	10,3492179

Tabla 13. Limones tratados con Emulsión Gm-Pectina de Bajo Metoxilo

Muestra	Pi	Pf = 15 Dias	% PFP
CONTROL	71,37	56,44	20,9191537
0.25% PC	73,52	66,72	9,2491839
0.5% PC	54,32	49,28	9,27835052
0.75% PC	71,64	64,22	10,3573423
1.0 % PC	63,13	57,73	8,55377792
1.25 % PC	73,52	66,07	10,1332971
1.5% PC	74,83	67,79	9,40799145
2.0% PC	39,97	36,56	8,53139855

Los resultados obtenidos en esta investigación muestran que la hipótesis planteada se cumple y el potencial de las películas comestibles para retardar la maduración de frutos frescos dependen del tipo y concentración de los materiales empleados, al variar cualquiera



de los componentes se puede cambiar el potencial para el recubrimiento dependiendo de las características del fruto a cubrir ya que en general las propiedades de cada componente ayudan a tener una mejor funcionalidad de los recubrimientos.

CONCLUSIONES:

- Las características estudiadas se relacionan con la composición de las formulaciones desarrolladas, su concentración y método de obtención (preparación de la emulsión)
- Se obtuvieron emulsiones estables.
- El tipo y concentración de polisacárido afecto el tamaño de partícula, viscosidad y adherencia por lo que se modifica la funcionalidad de los recubrimientos.
- Con el empleo de polisacáridos se mejora notablemente la adherencia.
- Las características de adherencia, maleabilidad, permeabilidad al vapor de agua se relacionan con la composición de la formulación.
- En concentraciones superiores a (2.0, 1.0 y 2.0) % es difícil obtener buena emulsión para el caso de almidón, Goma guar y pectina respectivamente.
- La apariencia en frutos recubiertos no es alterada en el caso de formulaciones con goma guar, en el caso de el almidón aumenta la opacidad al incrementar la concentración del polisacárido.



- La superficie del fruto y forma de aplicar el tratamiento modifican el potencia de los recubrimientos.
- El uso de las formulaciones desarrolladas ayudan a retardar la maduración en los frutos tratados logrando conservarlos por más tiempo con buenas características de calidad.

Bibliografía

1. AHMED, G.E. 1.981. "High methoxyl Pectins an their uses un jam manufacture" a literature survey. Scientific and Technical Survey. N° 127.
2. Badui, S. 1999. Química de los alimentos, Editorial Alhambra Mexicana, México DF.
3. Becher, Paul. Emulsiones Teoría y Practica 1972. Editorial Blume, España; Capítulos. 1, 4, 5,7
4. Bello-Pérez Luis Arturo, Contreras-Ramos Silvia Maribel, Romero-Manilla Rhebeca,Solorza-Feria Javier y Jiménez-Aparicio Antonio, Propiedades Químicas Y Funcionales del Almidón Modificado de Plátano *Musa paradisiaca* L. (Var. macho). Agrociencia marzo-abril 2002, Vol. 36, núm. 2.
5. Biliaderis, C. G. 1991. The structure and interactions of starch with food constituents. Canadian Journal of Physiology and Pharmacology 69: 60-78.
6. **CAMACHO G. 1983., "Cómo preparar mermeladas" ICTA, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.**



7. Charles Albert L. Yung H. Chang, Wen C. Ko, Klanaroth Siroth, and Tzou C. Huang Influence of Amylopectin Structure and Amylose Content on the Gelling Properties of Five Cultivars of Cassava Starches, *J. Agric. Food Chem.* 2005, 53, 2717-2725
8. Cousidine, D. M. 1982. *Foods and Food Production Encyclopedia*. John Wiley Inc., New York, p. 142.
9. Davis JP, Supatcharee N, Khandelwar RL, Chilbbar RN. 2003. Synthesis of novel starches in planta: opportunities and challenges. *Starch/Stärke* 55:107–20.
10. Debeaufort y Voilley, 1995
11. Dickinson E. 1988, The Role of hydrocolloids in stabilizing particulate dispersions and emulsion. *en gums stabilizer for the food industry*, pp 249-263.
12. Fennema, Owen, R, 1982, *Introducción a la Ciencia de los Alimentos*, Editorial Reverte, S.A, España, Pag. 646-665.
13. French D. 1984. Organization of starch granules. *In: Starch: Chemistry and Technology*. Whistler, R.L., BeMiller, J. N. and Paschall, E.F. (eds.). Academic Press., New York, pp: 183-247.
14. Hagenmaier y Shaw, *Edible Coatings from Candelilla Wax Microencapsulación*. *Journal of food Science* 61 (3):562-565, 1996
15. Hagenmaier, R.D. y Shaw, P.E. 1990. Moisture permeability of edible films made with fatty acid and (Hydroxypropyl) methylcellulose. *J. Agric. Food Chem.* 38: 1799-1803.
16. Hagenmaier, R.D. y Shaw, P.E. 1991. Permeability of coating made with emulsified polyethylene wax. *J. Agric*
17. Hughes Christopher, *Gia de Aditivos*, Ed. Acribia, S.A., Zaragoza España
18. INDEC, FAO. Subs. Comercio Exterior.
19. Kester, J.J; and Fennema, O. 1986; *Edible Films and Coating a review*. *Food Tchnology*. 40(14): 47-59.



20. Kester, JJ; Fennema, O. Edible Films and Coatings a review. *Food Technology* 40 (14):47-59,1986
21. Kirk R.S, Sawyer R; Egan H. *Composición y Análisis de los Alimentos de Pearson*, Ed. CECSA, 2° reimpresión México 1999.
22. Krochta, J. M. and De Mulder- Johnston, C. 1997, Edible and Biodegradable polymer films: challenges and opportunities. *Food Technology*, 51, 61-74
23. Liu Z. 2002. Starch: from granules to biomaterials. In: Pandalai SG, editor. *Recent research developments in applied polymer science*. Vol. 1, Part 1. Trivandrum, India: Research Signpost. p 189–219.
24. Martin –Polo M., Manguin C y Voilley A 1992. Hydrophobic Films and Their Efficiency against Moisture Transfer. 1. Influence of the Film Preparation Technique. *J Agric. Food Chem.* 40:407-412
25. McHugh, T.H; Avena-Bustillos, R; and Krochta, J.M; Hydrophilic Edible Films: Modified Procedure for water vapor permeability and explanation of Thickness Effects. *Journal of Food Science*. 58 (4): 899-903,1993.
26. Millan-Testa C. E, . Mendez-Montealvo M. G., Ottenhof M.-A, Farhat I. A., and L. A. Bello-Pérez, Determination of the Molecular and Structural Characteristics of Okenia, Mango, and Banana Starches 2005, *J. Agric. Food Chem.*, 53 (3), 495 -501.
27. Parra, D.F. Tadini, C.C. Ponce, P. and Lugao, A.B. 2004, Mechanical properties and water vapor transmission in some blends of cassava starch edible films. *Carbohydrate Polymers*, 58, 475-481.
28. Per Hofvander , 2004, Production of Amylopectin and High-Amylose Starch in Separate Potato Genoty Doctoral thesis Swedish University of Agricultural Sciences.
29. Pérez-Gago M.B., C. Rojas and M.A. del Río 2003. Effect of Hydroxypropyl Methylcellulose-Beeswax Edible Composite Coatings on Postharvest Quality of 'Fortune' Mandarins. . *Postharvest Unltd Eds. B.E. Verlinden et al.* 583-587



30. Pérez-Gago, M.B and Krochta, 2000, J.M. Drying temperatura effect on water permeability and mechanical properties of whey protein-lipid emulsion films. *Journal of Agriculture Food Chemistry*. 48: 2687-2692
31. Phan The D, Debeaufort F. D. Luu, and A. Voilley†. 2005 Functional Properties of Edible Agar-Based and Starch-Based Films for Food Quality Preservation. *J. Agric. Food Chem.*, 53 (4), 973 -981.
32. Quezada Gallo J.A and M.R. Díaz Amaro 2003. Application of Edible Coatings to Improve Shelf-life of Mexican Guava, , Proc. Postharvest Unltd Eds. B.E. Verlinden et al.. 589-594.
33. Roger, P.; Tran, V.; Lesec, J.; Colonna, P. 1996 Isolation and Characterization of Single Chain Amylose. *J. Cereal Sci.*, 24, 247-268.
34. Serna, S.R. 1996. Química, Almacenamiento e Industrialización
35. Sherman, P 1968. General properties of emulsions and their constituents. En: *Emulsion Science* (p.Sherman, Ed.) p 168, Academic Press, London.
36. Soliva, R. y Martín, O. 2001. Envasado de alimentos mediante recubrimientos comestibles. *Alimentaria*, Sep, 29-37.
37. Tharanathan, R.N. 2003, Biodegradable films and composite coatings, past, present and future. *Trends in Food Science and Technology*, 14, 71-78.
38. **UNIPECTINE® . 1.992 "Pectinas. Documento técnico" Sanofi, Bio-Industries. Paris, Franc**
39. Vernon-Carter, E.J; Beristain, C.I; and Pedroza-Islas, R. 2000Mezquite Gum (*prosopis gum*), Novel Macromolecules in Food systems. Edited by Elsevier, pp217-232.
40. Z. L Jiu and J.H. Han. 2005 Film-forming Characteristics of Starches, , *Journal of Food Science*, Vol. 70, Nr. 1

<http://www.alimentacion-sana.com.ar/informaciones/Chef/espesantes.htm>

<http://www.mandioca.com.ve/productos.asp>



<http://www.multiceras.com.mx/pro-candelilla.htm>

<http://www.lsbu.ac.uk/water/hysta.html>

<http://www.chapingo.mx/agroind/congreso/ponencia/ponencias/Mesa%20V/Desarrollo%20de%20peliculas%20comestibles....pdf#search='goma%20de%20mezquite'>

ANEXO 1

Graficas y tablas de tamaño y distribución de partícula obtenidas en el Malvern Master Size 2600 (Malvern Instruments, Works, Inglaterra).



Desarrollo de películas comestibles con Potencial Para el recubrimiento de frutas frescas.

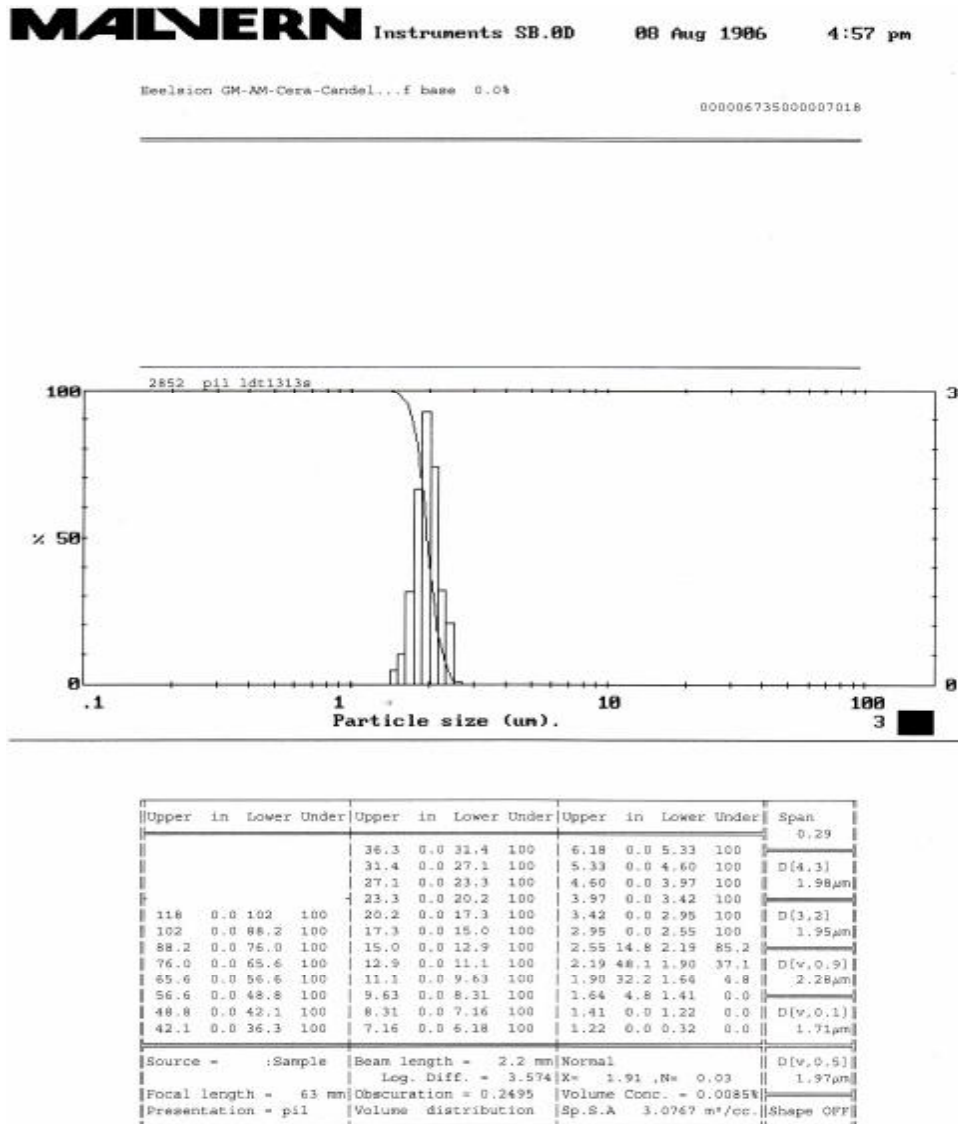




Desarrollo de películas comestibles con Potencial Para el recubrimiento de frutas frescas.



Formula base





Desarrollo de películas comestibles con Potencial Para el recubrimiento de frutas frescas.

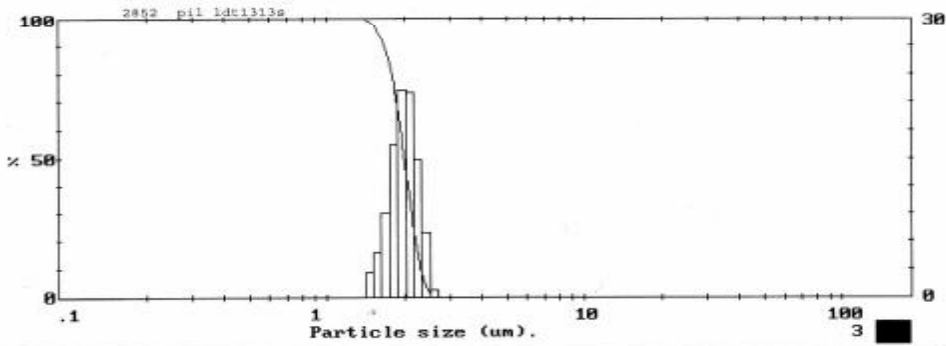


Goma guar 0.1%

MALVERN Instruments SB.0D 31 May 1986 12:53 pm

Emulsion Gm-Sg-0.1%

000006679



Upper	in	Lower	Under	Upper	in	Lower	Under	Upper	in	Lower	Under	Span
				36.3	0.0	31.4	100	6.18	0.0	5.33	100	0.32
				31.4	0.0	27.1	100	5.33	0.0	4.60	100	D[4.3]
				27.1	0.0	23.3	100	4.60	0.0	3.97	100	1.99µm
				23.3	0.0	20.2	100	3.97	0.0	3.42	100	
118	0.0	102	100	20.2	0.0	17.3	100	3.42	0.0	2.95	100	D[3.2]
102	0.0	88.2	100	17.3	0.0	15.0	100	2.95	0.4	2.55	99.6	1.96µm
88.2	0.0	76.0	100	15.0	0.0	12.9	100	2.55	20.2	2.19	79.4	
76.0	0.0	65.6	100	12.9	0.0	11.1	100	2.19	43.8	1.90	35.6	D[v,0.9]
65.6	0.0	56.6	100	11.1	0.0	9.63	100	1.90	27.7	1.64	7.9	2.33µm
56.6	0.0	48.8	100	9.63	0.0	8.31	100	1.64	7.9	1.41	0.0	
48.8	0.0	42.1	100	8.31	0.0	7.16	100	1.41	0.0	1.22	0.0	D[v,0.1]
42.1	0.0	36.3	100	7.16	0.0	6.18	100	1.22	0.0	0.32	0.0	1.67µm
Source =	Sample			Beam length =	2.2 mm			Normal				D[v,0.5]
				Log. Diff. =	3.509			X-	1.98 ,N= 0.23			1.99µm
Focal length =	63 mm			Obscuration =	0.2527			Volume Conc. =	0.0086%			
Presentation =	pil			Volume distribution				Sp.S.A	3.0638 m ² /cc.			Shape GFP

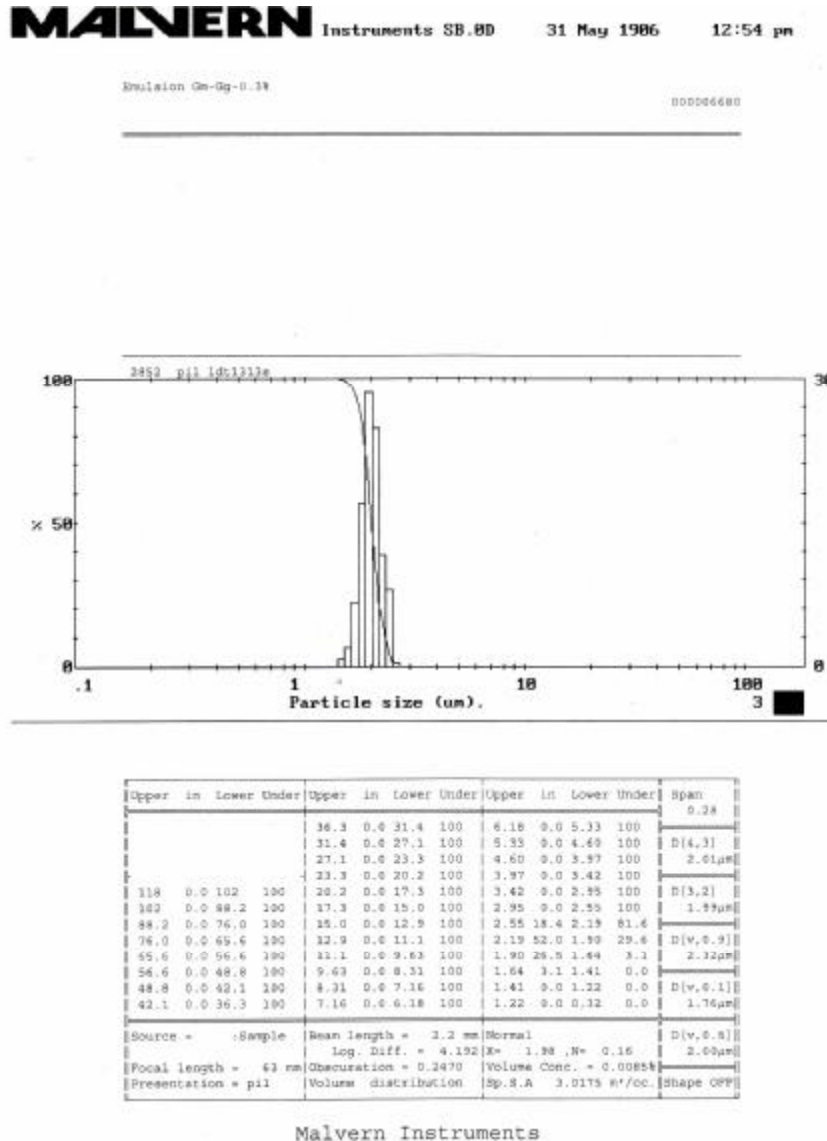
Malvern Instruments



Desarrollo de películas comestibles con Potencial Para el recubrimiento de frutas frescas.



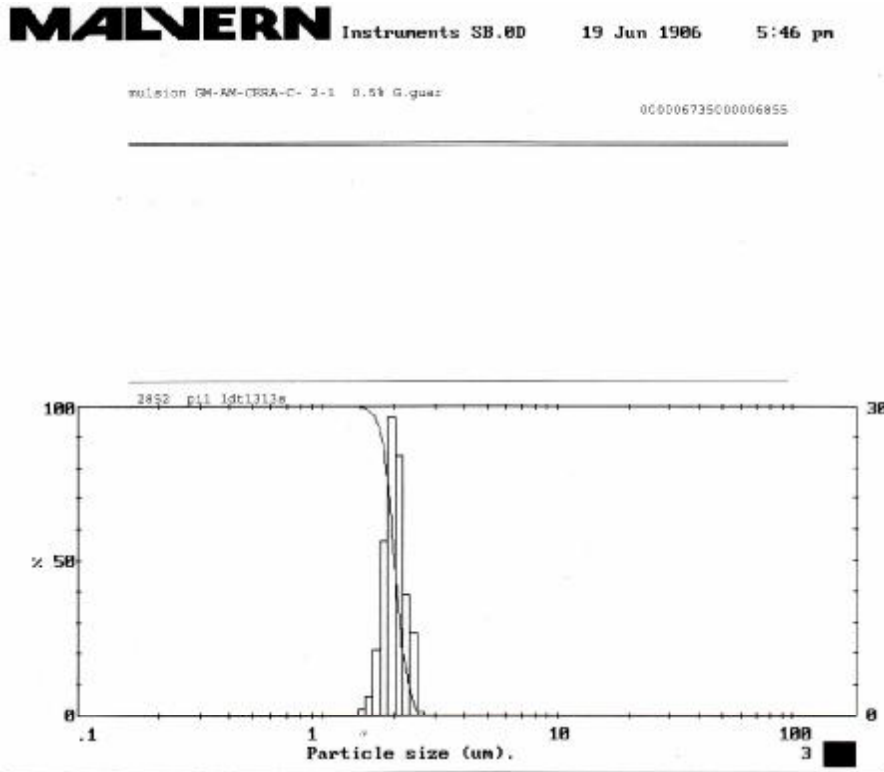
Goma guar 0.3%



Almidón 0.5%



Desarrollo de películas comestibles con Potencial Para el recubrimiento de frutas frescas.



Upper	in	Lower	Under	Upper	in	Lower	Under	Upper	in	Lower	Under	Span
				36.3	0.0	31.4	100	6.18	0.0	5.33	100	0.28
				11.4	0.0	27.1	100	5.33	0.0	4.60	100	D[4.3]
				27.1	0.0	23.3	100	4.60	0.0	3.97	100	2.02µm
				23.3	0.0	20.2	100	3.97	0.0	3.42	100	
118	0.0	102	100	20.2	0.0	17.3	100	3.42	0.0	2.95	100	D[3.2]
102	0.0	88.2	100	17.3	0.0	15.0	100	2.95	0.0	2.55	100	1.99µm
88.2	0.0	76.0	100	15.0	0.0	12.9	100	2.55	18.4	2.19	81.6	
76.0	0.0	65.6	100	12.9	0.0	11.1	100	2.19	52.8	1.90	28.8	D[v,0.9]
65.6	0.0	56.6	100	11.1	0.0	9.63	100	1.90	26.1	1.64	2.7	2.32µm
56.6	0.0	48.8	100	9.63	0.0	8.31	100	1.64	2.7	1.41	0.0	
48.8	0.0	42.1	100	8.31	0.0	7.16	100	1.41	0.0	1.22	0.0	D[v,0.1]
42.1	0.0	36.3	100	7.16	0.0	6.18	100	1.22	0.0	0.32	0.0	1.76µm
Source = Sample				Beam length = 2.2 mm				Normal				D[v,0.0]
				Log. Diff. = 4.291				K = 1.93 , N = 0.15				2.00µm
Focal length = 63 mm				Obscuration = 0.2115				Volume Conc. = 0.0072%				
Presentation = pil				Volume distribution				Sp.S.A 1.0122 m ² /cc				Shape GPF

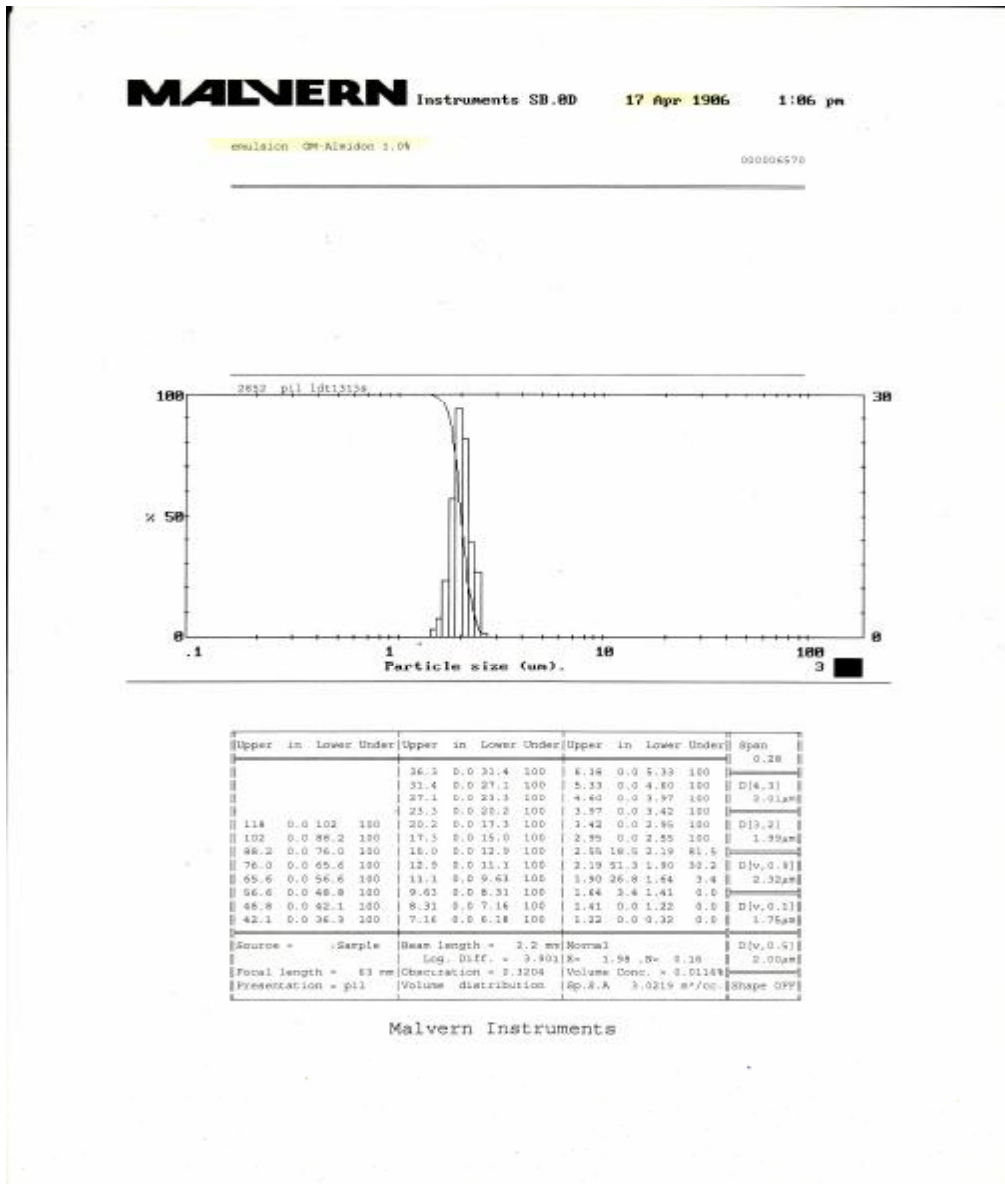
Malvern Instruments



Desarrollo de películas comestibles con Potencial Para el recubrimiento de frutas frescas.



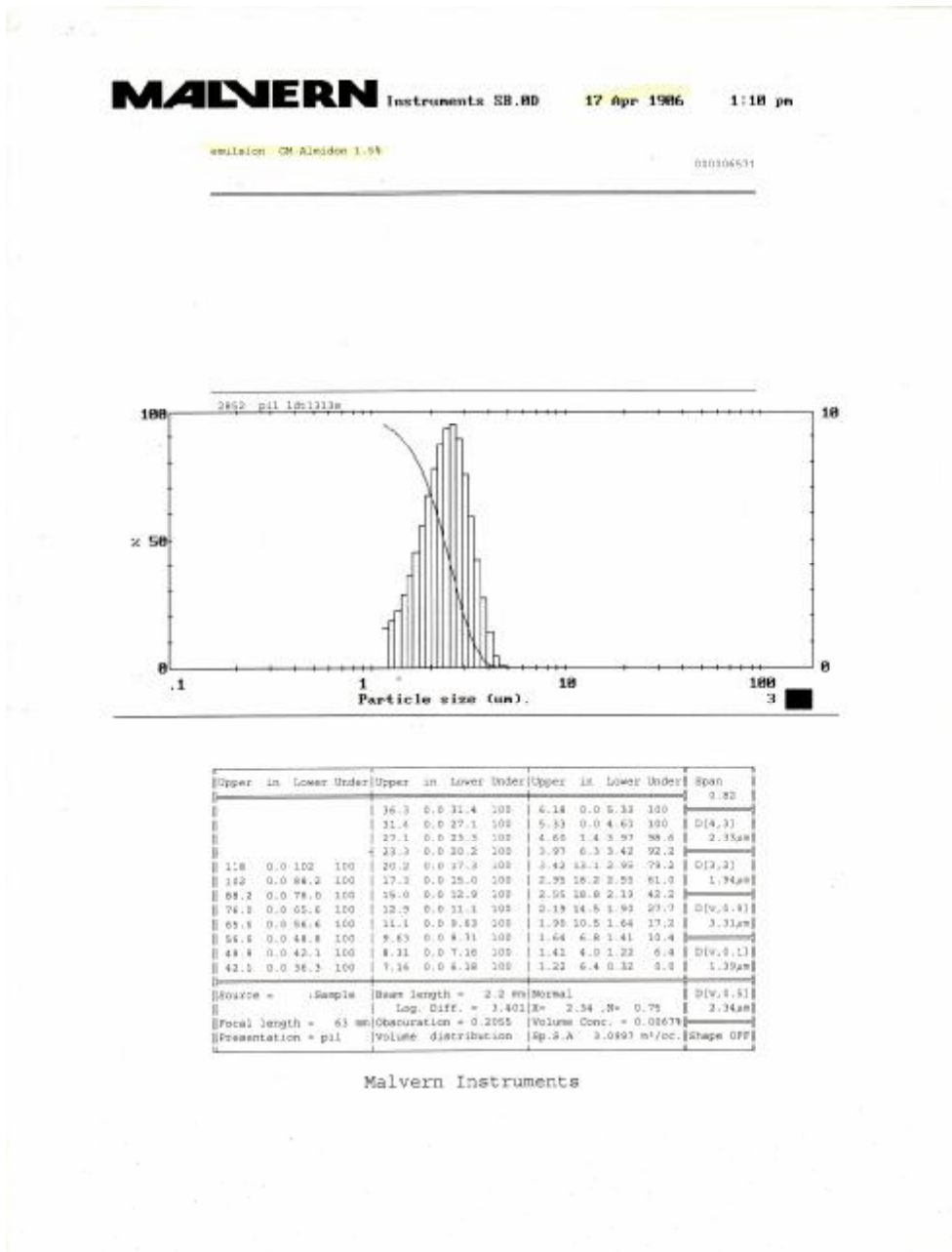
Almidón 1.0%



Almidón 1.5%



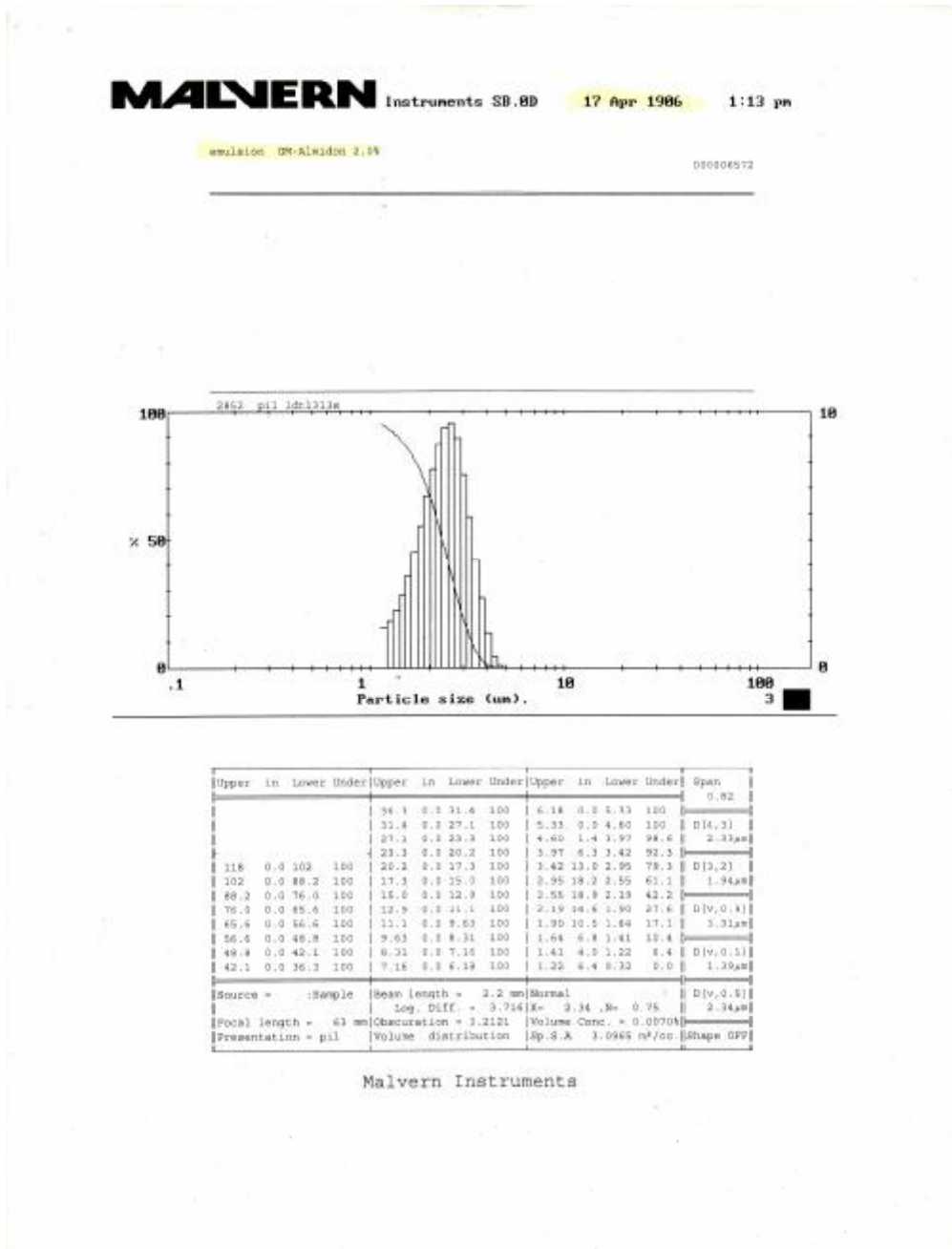
Desarrollo de películas comestibles con Potencial Para el recubrimiento de frutas frescas.



Pectina 2.0%



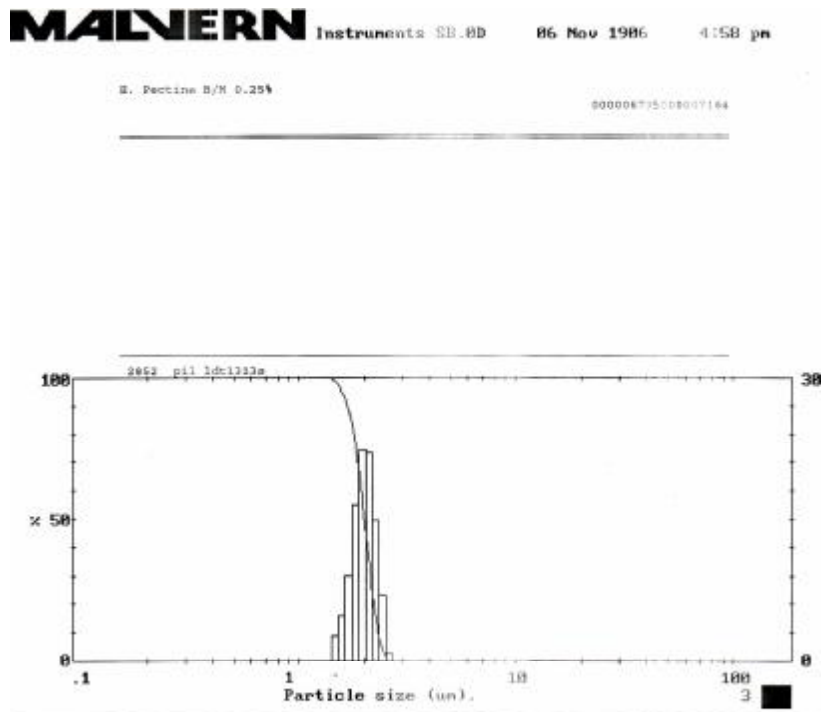
Desarrollo de películas comestibles con Potencial Para el recubrimiento de frutas frescas.



Pectina 0.25 %



Desarrollo de películas comestibles con Potencial Para el recubrimiento de frutas frescas.



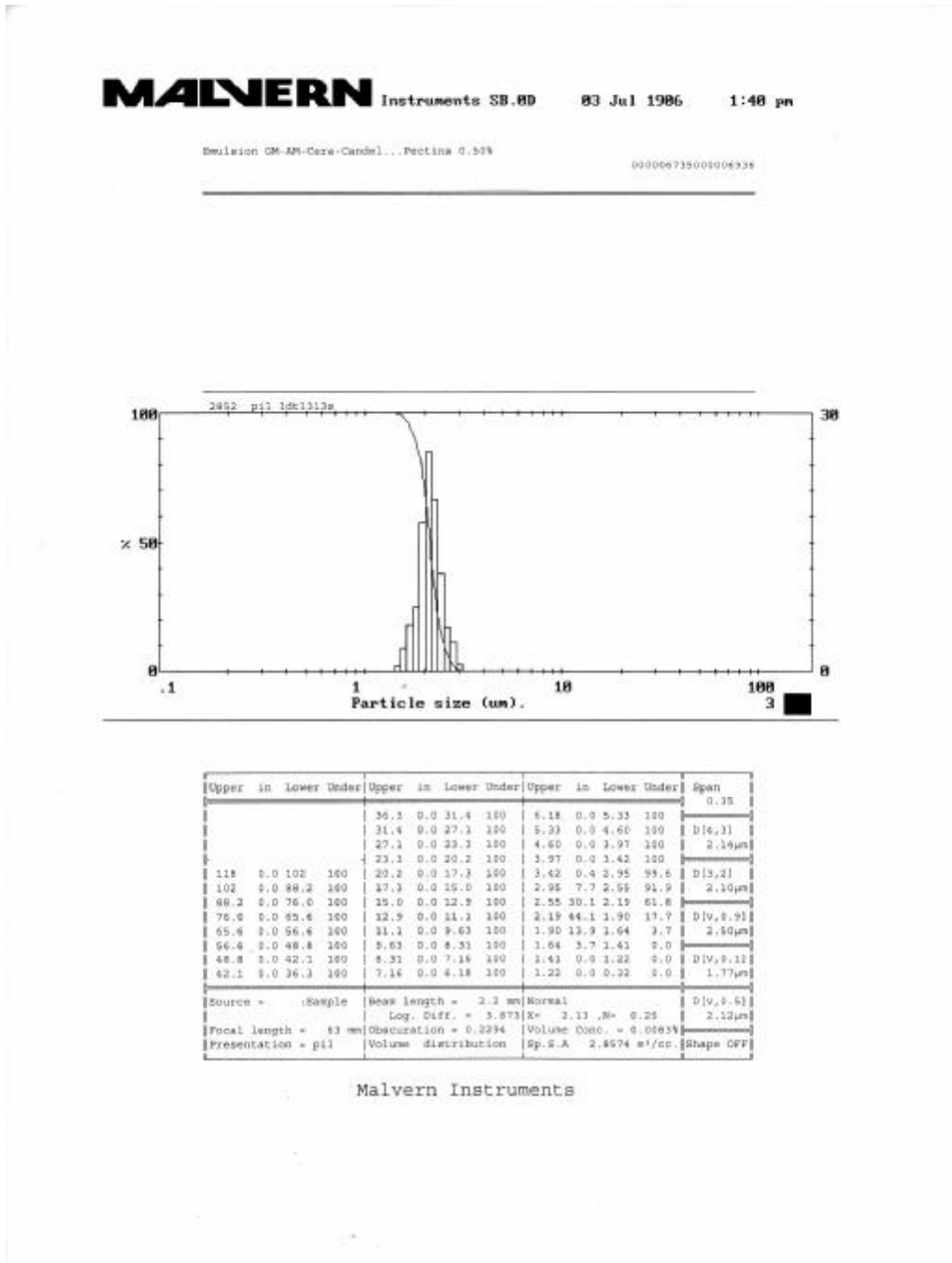
Upper	in	Lower	Under	Upper	in	Lower	Under	Upper	in	Lower	Under	Span
				36.3	0.0	31.4	100	9.18	0.0	5.33	100	9.22
				31.4	0.0	27.1	100	5.50	0.0	4.60	100	D[4.3]
				27.1	0.0	23.2	100	4.60	0.0	3.97	100	D[4.3]
				23.2	0.0	19.2	100	3.97	0.0	3.42	100	
118	0.0	102	100	19.2	0.0	17.3	100	3.42	0.0	2.95	100	D[3.2]
102	0.0	88.2	100	17.3	0.0	15.0	100	2.95	0.4	2.55	99.6	D[3.2]
88.2	0.0	76.0	100	15.0	0.0	12.9	100	2.55	20.2	2.19	79.4	
76.0	0.0	65.6	100	12.9	0.0	11.1	100	2.19	42.8	1.90	35.6	D[v,0.4]
65.6	0.0	56.6	100	11.1	0.0	9.63	100	1.90	27.7	1.64	7.9	D[v,0.4]
56.6	0.0	48.8	100	9.63	0.0	8.31	100	1.64	7.9	1.41	0.0	
48.8	0.0	42.1	100	8.31	0.0	7.18	100	1.41	0.0	1.22	0.0	D[v,0.1]
42.1	0.0	36.3	100	7.18	0.0	6.18	100	1.22	0.0	0.92	0.0	D[v,0.1]
Source = Sample Beam length = 2.2 mm (Maxwell) D[v,0.51] Log. Diff. = 2.164% ± 1.98, M = 0.23 D[v,0.51] Focal length = 83 mm Observation = 0.2418 Volume Conc. = 0.0125% Presentation = pil Volume distribution: Sp. G. = 1.8428 m ² /cc Shape GFI												

Malvern Instruments

Pectina 0.5 %



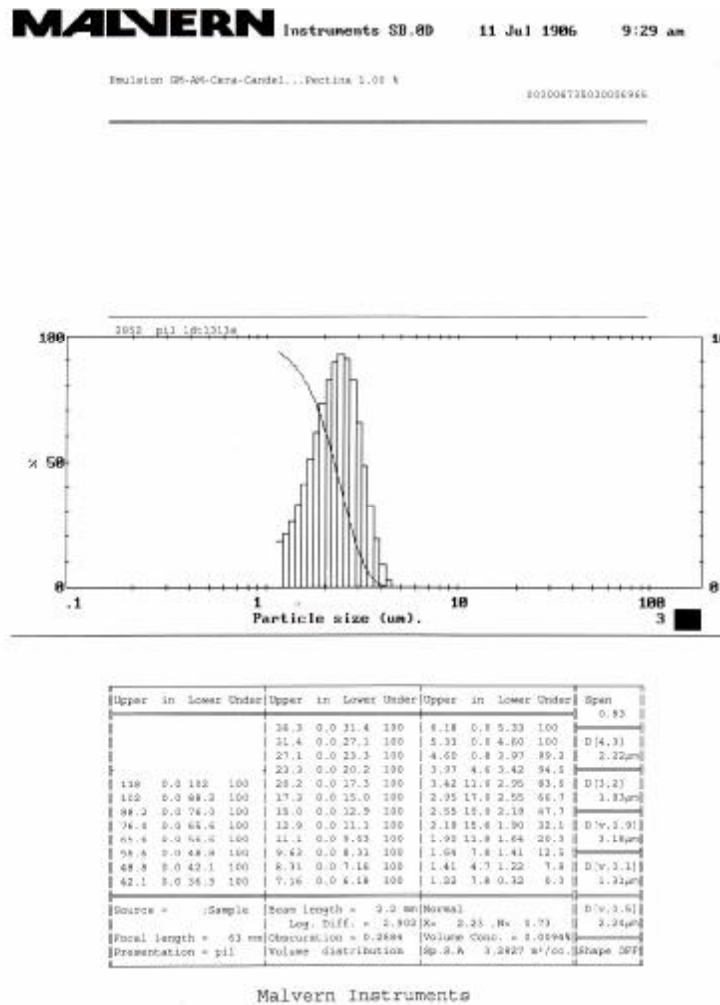
Desarrollo de películas comestibles con Potencial Para el recubrimiento de frutas frescas.



Pectina 1.0%



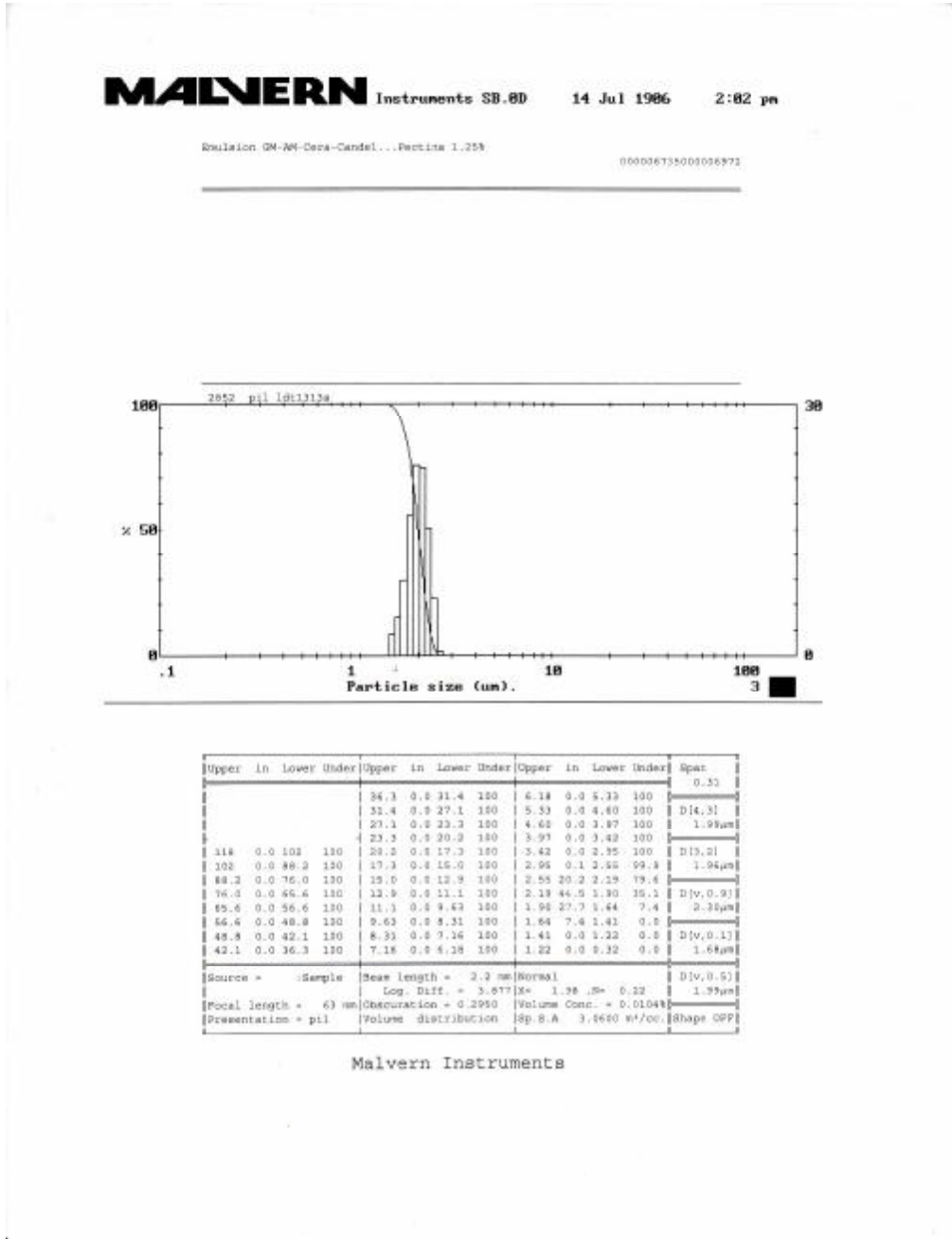
Desarrollo de películas comestibles con Potencial Para el recubrimiento de frutas frescas.



Pectina 1.25%



Desarrollo de películas comestibles con Potencial Para el recubrimiento de frutas frescas.



Pectina 1.5%



Desarrollo de películas comestibles con Potencial Para el recubrimiento de frutas frescas.

