

10524  
23



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIO SSUPERIORES  
CUAUTITLAN**

**EVALUACION DEL EFECTO DERMOHIDRATANTE  
DEL MUCILAGO DE NOPAL  
(Opuntia Ficus Indica)**

**T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
QUIMICO FARMACEUTICO BIOLOGO  
P R E S E N T A  
JOSE RAUL GARCIA RODRIGUEZ**

ASESOR: DR. DAVID QUINTANAR GUERRERO

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEXICO.

2003

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

A



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLAN



**DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN  
P R E S E N T E**

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

Evaluación del efecto dermohidratante del mucilago de nopal  
(Opuntia Ficus Indica).

que presenta el pasante: José Raúl García Rodríguez  
con número de cuenta: 9211153-2 para obtener el título de :  
Químico Farmacéutico Biólogo

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

**ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"**

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 25 de Octubre de 2002

PRESIDENTE	<u>D.E.S.S. Rodolfo Cruz Rodríguez</u>	
VOCAL	<u>Q.F.B. Martha Patricia Zúñiga Cruz</u>	
SECRETARIO	<u>Dr. David Quintanar Guerrero</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>M. en C. Eva Ma. Molina Trinidad</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>M. en F.C. Beatriz de Jesús Maya Monroy</u>	

## DEDICATORIAS

A Dios quien en los momentos  
más desconcertantes de la vida,  
aparece, nos acompaña e  
impulsa a seguir adelante sin  
ninguna explicación.  
Gracias por darme a conocer  
"La fe"

A mis hermanas Mary, Erika y a  
todos mis primos:

Por soportarme durante todo  
este tiempo...  
si se puede, y las segundas  
partes deben ser mejores, no  
puede ser de otra manera.

A Nora:  
Dicen que detrás de cada gran hombre  
hay una gran mujer, pero tú me  
tomaste de la mano y caminaste junto  
a mí.  
Sigamos adelante...

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

A mis padres: Carmen y Raúl

Quienes como verdaderos  
amigos, siempre estuvieron a  
pendiente de mis triunfos y  
fracasos.

A la abuela Ana, mi segunda ma  
Quien con su ejemplo me enseñó  
secreto de la persistencia y el tes

A toda la familia García y Rodri  
Por que en cada reunión  
nunca faltó el:  
¿Yá terminaste? ¿Cuánto te fall.  
¿Yá trabajas? ¿Cuándo te titulu  
¿Para cuándo? ¡Dame fecha.  
¡Échale ganas, te va a ir muy br.

*A la generación Q.F.B 22 y en  
especial a la pandilla de los  
"mugrosos"*

*(Adriana, Gisela, Martha, Claudia,  
Blanca, Mayra, Lupita, Elsa, Mónica,  
Homy, Severo, Toy, Daniel, Patiani,  
Toño, Carlos, Alejandro, Osvaldo,  
Victor, Julio, Raulito.....)*

*Quienes como familia artificial  
nunca dejamos pasar por alto buenos  
y malos momentos.  
"Salve mongoles"*

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## AGRADECIMIENTOS

*Al Dr. David Quintanar G.  
Por haber depositado en mí su confianza  
para llevar acabo este trabajo.*

*A la Q. Blanca Leduc.  
Por la orientación y apoyo brindado  
en su laboratorio*

*A la máxima casa de estudios, la  
"UNAM"  
Quien alberga a todo aquel que muestra  
deseos de aprender, con la única  
condición de devolver su inversión,  
contribuyendo al desarrollo del país.*

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DERMOHIDRATANTE  
DEL MUCÍLAGO DEL NOPAL**  
*Opuntia ficus-indica*

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## INDICE

	Página
<b>Indice</b>	2
<b>Indice de tablas</b>	5
<b>Indice de gráficos</b>	6
<b>Introducción</b>	7
<b>CAPITULO 1. Generalidades</b>	9
1.1 La piel.	9
1.1.1 Principales características y funciones.	9
1.1.2 Anatomía y fisiología.	14
1.2 Extractos vegetales con aplicaciones cosméticas.	17
1.3 Las Opuntias...	19
1.4 Gomas y mucílagos obtenidos de las Opuntias.	22
1.5 Función biológica y usos.	24
1.6 Composición química del mucílago de <i>Opuntia-ficus indica</i> .	25
1.7 Propiedades fisicoquímicas del mucílago de <i>Opuntia-ficus indica</i> .	30
1.8 Solubilidad.	31
1.8.1 Extracción de sustancias de origen vegetal.	
1.9 Reología.	33
1.9.1 Características reológicas de los mucílagos.	39
1.10 Aspectos cosméticos.	40
1.10.1 Humectantes y emolientes.	40

TESIS COM  
FALLA DE ORIGEN

<b>CAPITULO 2. Objetivos</b>	44
<b>CAPITULO 3. Desarrollo Experimental</b>	45
3.1 Reactivos y materiales.	45
3.1.1 Reactivos.	45
3.1.2 Equipo.	46
3.1.3 Biológicos.	46
3.2 Procedimiento.	47
3.2.1 Extracción.	47
3.2.2 Solubilidad.	47
3.2.3 Pruebas de retención de agua.	48
3.2.4 Reología de las dispersiones de mucílago y glicerina.	48
3.2.5 Reología de las cremas con mucílago y glicerina.	48
3.4.6 Pruebas de hidratación y deshidratación en la piel.	49
<b>CAPITULO 4. Resultados</b>	
4.1 Eficiencia del proceso de extracción.	52
4.2 Pruebas de solubilidad.	52
4.3 Capacidad de retención de agua.	52
4.4 Comportamiento reológico de dispersiones de mucílago y glicerina.	59
4.5 Pruebas de hidratación y deshidratación en la piel.	65
4.5.1 Prueba para determinar la hidratación al nivel del estrato córneo.	65
4.5.2 Prueba para determinar la pérdida de agua transepidermal.	72
4.6 Desviación standard de los resultados de las pruebas de hidratación y deshidratación.	79
4.6.1 Efecto hidratante al nivel del estrato córneo.	79
4.6.2 Pérdida de agua transepidermal.	81
4.7 Comportamiento reológico de las cremas con mucílago y glicerina.	83

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

<b>CAPITULO 5. Discusión de resultados</b>	<b>88</b>
<b>Conclusiones</b>	<b>97</b>
<b>Perspectivas</b>	<b>99</b>
<b>Referencias</b>	<b>101</b>
<b>Apéndice</b>	<b>104</b>
I. Formulaciones cosméticas de prueba.	104
II. Método de prueba para determinar la hidratación al nivel del estrato córneo.	106
III. Método de prueba para determinar la pérdida de agua transepidermal.	106
IV. Protocolo de preparación de los panelistas de prueba.	107
V. Hipótesis de comparación de pendientes para la prueba de retención de agua.	111

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## INDICE DE TABLAS

Tabla No.		Página
I.	Composición química del mucílago de <i>Opuntia ficus-indica</i> .	27
II.	Solubilidad del mucílago de <i>Opuntia ficus-indica</i> .	53
III.	Variación del porcentaje de peso inicial del extracto en solución al 1% expuesto a 20% de H.R. Prueba de Retención de Agua.	54
IV.	Variación del porcentaje de peso inicial del extracto en solución al 1% expuesto a 74% de H.R. Prueba de Retención de Agua.	54
V.	Variación del porcentaje de peso inicial del extracto en solución al 1% expuesto a 87% de H.R. Prueba de Retención de Agua.	55
VI.	Parámetros reológicos de las dispersiones de mucílago y glicerina determinados experimentalmente.	59
VII.	Datos del estudio, hidratación al nivel del estrato córneo.	65
VIII-XII.	Resultados individuales de hidratación.	66-70
XIII.	Resultados promedio de hidratación.	71
XIV.	Datos del estudio, pérdida de agua transepidermal.	72
XV-XVIII.	Resultados individuales de deshidratación.	73-77
XIX.	Resultados promedio de deshidratación.	78
XX.	Parámetros reológicos de las cremas determinados experimentalmente.	83

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## INDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico No.</b>		<b>Página</b>
1.	Capacidad de retención de agua a 20% de humedad relativa en función del tiempo.	56
2.	Capacidad de retención de agua a 74% de humedad relativa en función del tiempo.	57
3.	Capacidad de retención de agua a 87% de humedad relativa en función del tiempo.	58
4-8.	Comportamiento reológico de las dispersiones de mucílago y glicerina.	60-64
9-13.	Hidratación al nivel del estrato córneo	66-70
14.	Comportamiento promedio de hidratación al nivel del estrato córneo.	71
15-19	Pérdida de agua transepidermal.	73-77
20.	Comportamiento promedio de la pérdida de agua transepidermal.	78
21-30	Incertidumbre para los resultados de hidratación y deshidratación.	79-82
31-34	Comportamiento reológico de las cremas con mucílago y glicerina.	84-87

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## INTRODUCCIÓN

La naturaleza en México es de tal manera pródiga, que se puede observar la existencia de diferentes ecosistemas que pueden albergar una gran variedad de plantas. Hoy en día, no se sabe reconocer la importancia de aquellos árboles, plantas y arbustos que han acompañado y beneficiado a nuestro pueblo durante tantos años. Es innegable que esta antigua sabiduría tienen profundas raíces prehispánicas que merecen ser rescatadas y difundidas, de tal forma que los beneficios debidos al conocimiento empírico de los efectos observados por sus uso, tengan una razón científica que mantenga la credibilidad sobre la utilización de estos productos. Cabe mencionar la existencia del *Códice Badiano*, el cual pudiera ser (si no es que ya lo es) el catálogo de plantas más antiguo del cual se conoce.<sup>(1)</sup> Este es un ejemplo mas de un antiguo legado potencialmente abierto a la investigación.



*Fig 1. Detalle del mural al fresco "El pueblo demanda salud", realizado por el pintor Diego R.. La obra muestra aspectos de la medicina prehispánica y moderna a través del uso de productos naturales.<sup>(1)</sup>*

Luego del auge de la química orgánica aplicada a los medicamentos, los productos naturales cedieron su hegemonía a los fármacos, suplementos dietarios y productos cosméticos del orden sintético y biotecnológico. Sin embargo en los últimos años se han realizado diversos trabajos de investigación encaminados a lograr el aprovechamiento racional e integral de los productos naturales en áreas como la medicina, la industria alimenticia y cosmética <sup>(6,7)</sup>. La tendencia de utilizar productos naturales con aplicaciones cosméticas, ha llevado a incrementar la investigación de estos productos.

En la actualidad, bajo la tendencia de volver a los productos naturales para la elaboración de cosméticos, el consumidor se ha creado la idea "si es natural es bueno y seguro", esto gracias al desarrollo de campañas donde hacen ver que la utilización de cosméticos no trae ningún riesgo asociado; sin embargo sabemos que se requiere de mucho más para llegar a esta conclusión; el propósito es demostrar que la adición de este tipo de agentes tiene sentido y que satisface las necesidades del consumidor.

Aun conociendo la extensa riqueza natural de nuestro país, no es la investigación nacional quien está explotando este valioso recurso. Interesados en esta situación, en la *Facultad de Estudios Superiores de Cuautitlán, UNAM*; existe una línea de investigación sobre el potencial uso cosmético de los productos naturales. Los recientes trabajos han sido encaminados para proponer el uso de extractos vegetales con una base científica, de tal manera que la adición de estos materiales en la elaboración de cosméticos, presenten un verdadero efecto en el cuidado y embellecimiento de la piel. Ejemplo de ello es el resultado obtenido en la FES Cuautitlán, UNAM sobre las *Propiedades humectantes de los extractos de nopal y órgano*. En este estudio se demostró que estos extractos no producen efectos tóxicos por su aplicación en la piel y que podrían ser utilizados como agentes humectantes con capacidades semejantes a los de uso convencional. Estos resultados forman parte del marco teórico para la realización del presente estudio que tiene como propósito: el evaluar el mucílago del nopal *Opuntia ficus-indica* como potencial agente humectante y determinar el posible efecto de hidratación producto de su inclusión en una formulación cosmética emulsionada al ser aplicada sobre la piel, y con ello tener bases para potencializar su uso en productos cosméticos.

## CAPITULO I

### GENERALIDADES

#### 1.1. La piel.

##### 1.1.1. Principales características y funciones.

La piel de una persona adulta pesa alrededor de 4Kg y mide aproximadamente 2m<sup>2</sup>. El órgano cutáneo a pesar de su extensión e importancia por la gran cantidad de funciones que desempeña es todavía mal comprendido y muchas veces maltratado por la propia persona, a veces por el médico y no pocas veces por la industria farmacéutica o cosmetológica.

La piel de los animales es más gruesa y resistente, cubierta de pelo abundante y protector; en cambio en el humano el pelo casi ha desaparecido y lo que queda no desempeña una función vital. El pelo de la cabeza protege de los rayos solares, pero es más signo de exhibición social con diferente importancia de acuerdo a la época, las costumbres o la cultura.



*Fig 2. La piel es un complejo dinámico de células, vasos sanguíneos, nervios y glándulas que constituyen el órgano más extenso del cuerpo.<sup>(2)</sup>*

En la actualidad se ha estado señalando que la piel humana, es de carácter femenino y como tal es bella, suave, tersa y delicada, pero al mismo tiempo es resistente y protectora del ambiente. El color varía según la raza, va desde el color blanco al oscuro pasando por el color mestizo de nuestra raza. Nuestra cubierta cutánea no es completamente lisa, tiene elevaciones y depresiones, en algunos sitios como los surcos de los dedos estas minúsculas anfractuosidades llamadas dermatoglifos sirven para la identificación de las personas e incluso son marcadores de algunas enfermedades como el *down*.

No sólo para protegernos del medio externo es indispensable esta delicada y frágil cubierta, también es indispensable para una adecuada armonía de nuestro organismo; si falta como sucede en algunas enfermedades hereditarias (aplasia cutis o ausencia congénita de la piel), o por grandes quemaduras, se pone en peligro la vida, puede ser frecuentemente incompatible si hay una externa carencia de este recubrimiento.

Por otra parte recubre y aísla todos los órganos y tejidos además de estar expuesta a las agresiones que vienen del interior del mismo. Podemos considerar a la piel como “el espejo del alma” pues aquí se refleja muchas de nuestras emociones, basta recordar el enrojecimiento de la vergüenza, el sudor en la angustia y los “pelos de punta” que provoca el miedo; es también un espejo de la salud si consideramos los siguientes ejemplos: el tinte amarillento de las enfermedades hepático-biliares, el color negro de la enfermedad de Addison (insuficiencia suprarrenal) y las rojas alas de mariposa que se presentan en la cara de los pacientes con *lupus eritematoso*.

Muchas de las características de la piel están dadas por el grado de hidratación y por factores nutricionales, aun que hay variaciones de un individuo a otro y de acuerdo a la edad y el sexo. En el recién nacido la piel no es completamente normal, no esta bien desarrollada y es grasosa, puede dar lugar a costras y a escamas, en la piel, de la cabeza y cara, principalmente. En el lactante y preescolar tampoco ha completado su desarrollo la función sudoral. En el adolescente es áspera y seborreica, un terreno apropiado para el desarrollo del acné, por cierto poco frecuente en orientales, probablemente por un factor genético racial. De todos estos factores depende que los trastornos y enfermedades que se

presentan en las diferentes épocas de la vida sean tan variados. Una piel realmente normal la podemos observar en niños de 3 a 5 años o cerca de los 25, pero antes de que aparezcan las manchas y arrugas propias del envejecimiento; por eso debemos recordar que una piel sana es una piel bella y lo que menos importa es la edad.

Las glándulas que producen el sebo y el sudor son específicas y muy importantes ya que contribuyen a dar suavidad, elasticidad y humedad a la piel, constituyendo un cosmético natural. La falta o ausencia de estos elementos da pauta a los diferentes tipos de piel: seca, grasosa, deshidratada, mixta; es muy raro encontrar una piel equilibrada. Es conveniente que cada persona conozca las características de su piel para poder proporcionarle un cuidado adecuado. La piel también percibe sensaciones como el dolor y el placer.

En general un buen estado de la piel se consigue con una dieta adecuada y una higiene razonable, no descuidándola en su aseo, pero tampoco exagerando en las prácticas de limpieza, pues también la dañan. A la piel seca le faltan grasas, se ve en personas blancas, con frecuencia se afectan las manos, da comezón con facilidad, en estos casos son aconsejables los jabones de tocador suaves y los baños son mejores con agua tibia y no prolongados. El tipo grasoso es brillante y untuoso, el adolescente se llena con frecuencia de barros y espinillas, lo mejor para cuidarla es agua caliente y jabón, no se aconsejan jabones antisépticos. La piel deshidratada se ve en personas que se asolean frecuentemente; en personas con una mala nutrición se puede ver seca y escamosa. La piel hidratada se ve húmeda y turgente, en general es la de los niños. El tipo mixto se ve en la cara de algunas mujeres que tienen grasa en la parte central y resequedad en la periferia, aquí los cuidados son más complejos.

La dermatología es la rama de la medicina que se ocupa de estudiar las enfermedades de la piel, de los pelos y de las uñas. Es una gran rama de la medicina, pues el gran número de casos dermatológicos es superior al de cualquier otra especialidad. Sin contar que en países como México se añaden circunstancias que aumentan este número como clima variado, retraso social y económico, además de existencia de enfermedades como la lepra ligadas al prejuicio e ignorancia sobre las mismas; hay ahora enfermedades modernas como el sida,

que se manifiesta principalmente en la piel y que en nuestro medio han aumentado en una manera proporcionalmente más elevada que en los países desarrollados, en los últimos tiempos. Todo esto sin dejar de señalar la patología relacionada con la industrialización automedicación o la patología psicosomática. Un problema muy importante en la actualidad lo constituyen la automedicación con cremas, pomadas y gran cantidad de remedios caseros y sustancias que pueden dañar intensamente a la piel, muchas veces en forma permanente. Esos daños los pueden causar jabones y cosméticos que se utilizan con el fin de eliminar las impurezas del cutis, en ocasiones se abusa de cremas faciales, cremas para masajes, mascarillas, sustancias abrasiva fibras sintéticas, maquillajes, colorantes o productos químicos para broncear o despigmentar la piel que pueden dejar manchas permanentes.

El gran mercado de la belleza y no pocas veces de "las ilusiones de belleza" no es exclusivo de la mujer, el varón actual utiliza cada vez una mayor cantidad de productos para su arreglo personal: espumas para rasurar, lociones, perfumes, sustancias para teñirse, ondularse o alaciarse el pelo, polvos, antitranspirantes, champúes y tantos otros que aparecen día con día.

El cuidado de la piel y el tratamiento de las enfermedades debe ser dirigido y de preferencia manejado por expertos para evitar daños peores que la misma enfermedad. Las alteraciones dermatológicas pueden ocasionar una modificación de la imagen corporal que puede ser tomada con indolencia o puede exagerar sus alteraciones por razones individuales o por rechazo del grupo social. También las dermatosis pueden ser utilizadas con fines muy diversos, algunos las utilizan para llamar la atención, otros para conseguir incapacidades laborales, pero también hay pacientes con lesiones mínimas o nulas que presentan delirio de dismorfosis, o hipocondriasis de belleza, patología relacionada con la exageración de pequeñas alteraciones. Estas personas aunque aparentemente no presentan alteraciones también deben ser escuchadas pues presentan una combinación de rasgos psicóticos y obsesivos, son personas tristes y con poca participación social.

La piel es un órgano insustituible, no puede ser remplazada por la piel de ningún animal por bella que sea. Ya se intenta cultivar piel en laboratorio, todo con el objeto de obtener

grandes superficies a partir de pequeños fragmentos cutáneos; estos avances, han contribuido a elevar el conocimiento de nuestras funciones vitales.

La piel es hermosa por si misma aunque muchos la maquillan, la colorean o le aplican tatuajes, algunos la estropean exponiéndola exageradamente al sol y otros por el contrario la cubren totalmente y consiguen los mismos malos resultados.

Los cinco enemigos de la piel: 1) Radiación solar. 2) Jabones, detergentes y tallado de la piel. 3) Automedicación. 4) Uso de cosméticos. 5) Factores ambientales que causan y generan dermatosis.<sup>(2)</sup>

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 1.1.2. Anatomía y fisiología.

De los elementos que constituyen a la piel dependen sus funciones, se pueden resumir en: producción de queratina síntesis de melanina, formación de sebo y sudor, sensibilidad térmica y al tacto. La piel esta compuesta por dos capas verdaderas: *la epidermis y la dermis* (ellas se encuentran adheridas entre sí y forman una membrana que varía en grosor de alrededor de 0.5 a 4.0 mm o más en las diferentes partes del cuerpo). Tanto la dermis como la epidermis se sostienen sobre *la hipodermis*. En un corte histológico se distinguen las siguientes capas: *epidermis, dermis e hipodermis*. (fig. 3)

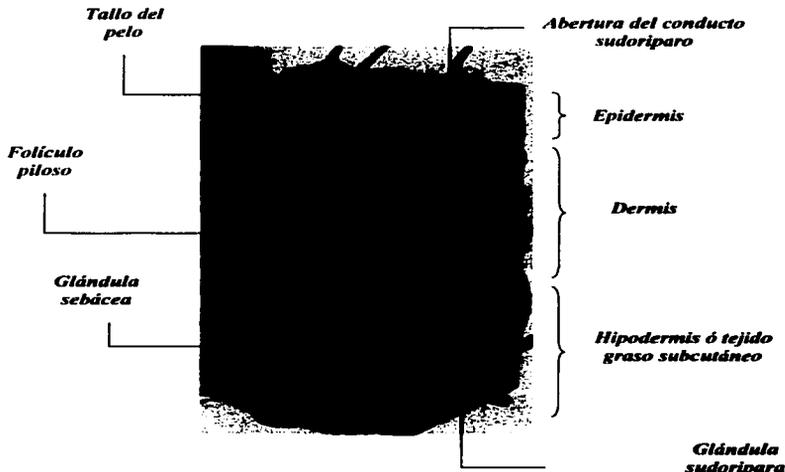


Fig. 3 Corte de piel humana, mostrando las capas y órganos que contiene. <sup>(31)</sup>

*La epidermis*, es un epitelio estratificado cuya principal función es la de proteger al organismo contra las acciones lesivas del medio y contra la pérdida de líquidos (fig. 4). La epidermis esta constituida del interior a la superficie por una capa germinativa o basal formada por una sola hilera de células cilíndricas llamadas queratinocitos, estas dan origen al resto de la epidermis, se le conoce también como estrato basal.

Intercalados entre dichas células se encuentran los melanocitos y las células de Langerhans; los primeros sintetizan el pigmento melánico y en las segundas se estudian funciones importantes.

La segunda capa, estrato espinoso o de Malpighi, esta formada por varias filas de células poliédricas y que comúnmente se encuentran unidas por estructuras semejantes a espinas.

Después viene el estrato granuloso constituido por células algo aplanadas que contienen gránulos basófilos, conocidos como gránulos de queratohialina que conforman la queratina característica de la piel.

El estrato lúcido tiene el aspecto de una delgada capa trasparente de unas tres o cuatro filas de células, están empacadas en forma compacta y se encuentran células muertas con sus núcleos en cariólisis. Se observa una membrana celular que encierra una forma fibrosa de queratina.

En la parte más externa se encuentra el estrato o capa córnea formada por células muertas, sin núcleo, aplanadas, y constituidas casi exclusivamente por queratina, (proteína resistente, que permite la adhesión de una célula a otra y al resto de la epidermis) lo mismo que los pelos y las uñas.

La presencia de lípidos en los espacios intercelulares, contribuye en gran manera a las propiedades impermeables de la capa. Cuando los componentes lipídicos están ausentes, la cohesividad disminuye y se produce la descamación y deshidratación.



Fig. 4 Esquema que muestra las principales capas de la epidermis. <sup>(3)</sup>

En su mayor parte la piel esta compuesta por *la dermis*. Esta formada por un conjunto de vasos, nervios y los anexos de la piel, es decir los pelos con glándula sebácea y las glándulas sudoríparas que son de dos tipos: las écrinas, distribuidas en toda la superficie de la piel y la apócrinas, que se encargan de producir olor en sitios característicos. Consta principalmente de tejido fibroso (colágeno y elastina) conectivo.

El tejido celular subcutáneo o *hipodermis* esta constituido por células grasas o adipocitos; de su abundancia o escasez dependen; las formas redondeadas de algunas damas o las formas angulosas de los caballeros.

De la armonía de todas ellas depende la suavidad y elasticidad cutánea, la protección contra el ambiente y a las radiaciones solares, el control hidroelectrolítico, la regulación de temperatura corporal y metabolismo general. <sup>(2,3)</sup>

## 1.2. Extractos vegetales con aplicaciones cosméticas.

Durante generaciones, las plantas y sus extractos se les han utilizado en forma empírica como materiales profilácticos y curativos sin tener la base científica de su dosificación y efecto real (fig. 5).

Con el crecimiento y desarrollo tecnológico surge la utilización de productos de origen sintético principalmente para el área farmacológica. El área cosmética también introduce este tipo de moléculas para el desarrollo de sus productos, sin embargo las últimas dos décadas han sido marcadas por una clara tendencia a regresar a los productos con componentes de origen natural, los cuales tienen mayor aceptación por el consumidor. Debido a esta necesidad, la industria cosmética ha encaminado sus esfuerzos a la utilización de extractos vegetales con un uso cosmético bajo una sustentación científica del tipo químico, analítico y toxicológico. <sup>(3,8)</sup>

Hoy en día, existen diversos estudios donde los extractos naturales (principalmente mucilagos, pectinas y  $\alpha$ -hidroxiácidos) han sido utilizados como humectantes. No solo se ha demostrado esta capacidad para este tipo de extractos; también se ha propuesto, que estos son capaces de incrementar los niveles de colágeno en la piel, además de estimular la replicación de fibroblastos e inhibir la formación de melanina responsable del oscurecimiento de la piel.

Otros extractos ricos en glutamina, pueden restaurar o renovar el estrato córneo, y por ende, la función de barrera protectora de la piel. Ha surgido también la idea de reutilizar ingredientes como el  $\alpha$ -tocoferol de origen natural para ser aplicados tópicamente, con la finalidad de evaluar el potencial de hidratación en la piel.

Se han realizado también evaluaciones en fuentes antioxidantes para su utilización en cosméticos, así como el modo en que los extractos naturales que no siempre se usaron en productos para bebés, pueden procesarse para obtener materias primas confiables que exhiban parámetros de calidad uniformes. No solo el desarrollo científico cosmetológico se

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

ha preocupado por mejorar la apariencia física de la piel con la aplicación de extractos naturales, también se han propuesto estudios sobre la efectividad de diversos extractos de plantas sobre ciertas enfermedades y padecimientos de la misma.

Hasta 1998 se conocen 15,774 extractos usados en productos cosméticos, datos registrados por la FDA. Como se puede pensar, la frecuencia en el uso de productos botánicos se ha incrementado considerablemente abriendo un gran campo de estudio médico y cosmetológico. <sup>(9,10,11,12,13,14)</sup>



*Fig.5 Existen mas de 300 especies vegetales que la herbolaria mexicana ha empleado solo para curar enfermedades.<sup>(1)</sup>*

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 1.3. Las Opuntias...

México por su ubicación geográfica está constituido por un atractivo recurso natural, *las cactáceas*. Este género de plantas originarias del continente Americano, fueron conocidas y admiradas en Europa, donde causaron gran asombro y admiración por lo exótico y peculiar de su apariencia, aspecto por el que en nuestro país, ha sido motivo de atención desde tiempos remotos. Nuestro país por las condiciones de latitud, topografía, clima y suelo es quien posiblemente cuenta con la mayor cantidad de estas especies (fig. 6)

En los suelos del territorio nacional, destaca el crecimiento de un tipo especial de plantas conocidas como: *las opuntias*. Este tipo de flora es capaz de crecer adaptándose perfectamente al medio ambiente seco y se ha logrado reproducir en diversas regiones de la República Mexicana debido a que su siembra y cultivo no requiere de cuidados especiales, teniendo además una alta productividad <sup>(3,4,5)</sup>.

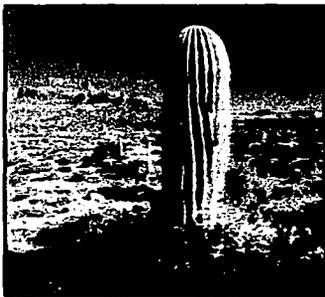


Fig. 6 Aproximadamente el 40% del territorio nacional está constituido por zonas áridas y semiáridas, donde los suelos son arenosos y calcáreos y las temperaturas van de los 30 a 40°C

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Las opuntias han acompañado el desarrollo de la nación; conocidas antiguamente por la población, solo se utilizaban como remedios, alimento y forraje. En la actualidad las cactáceas son base para el desarrollo agroindustrial en las zonas áridas del país.

La *Opuntia ficus-indica*, conocida también como: Nopal de Castilla, Nopal Verdulero o Nopal Manso (fig. 7), es un arborecente, de 3 a 5 m de alto o más, de tronco leñoso bien definido de 60 cm a 1.50 m de altura y de 20 a 30 cm de diámetro. Sus artículos son oblongos y largamente abovados, de 30 a 60 cm de largo y de 20 a 40 cm de ancho y de 1.9 a 2.8 cm de grosor de color verde opaco; integran ramas de varios artículos que forman una copa muy ramosa. Sus arcolas son distantes y separadas entre sí como de 2 a 5 cm, angostamente elípticas, de 2 a 4.5 mm de largo y 3 mm de ancho. Las espinas están casi siempre ausentes, y cuando existen son escasas y pequeñas; glóquidas más o menos numerosas, amarillas y caducas. Las flores son de 7 a 10 cm de diámetro y como de 6 a 8 cm de largo; sus segmentos exteriores del perianto son ovados hasta ampliamente cuneados, de color amarillo con la porción media rojiza o verdosa. Los segmentos interiores del perianto son angostamente abovados hasta cuneados, de color amarillo a anaranjado. El fruto es oval, de 5 a 10 cm de largo y de 4 a 8 cm de diámetro, de color amarillo, anaranjado, rojo o púrpuro, con abundante pulpa carmota, algo umbilicado.

*Opuntia ficus-indica*, es ampliamente cultivada en las poblaciones del altiplano mexicano (posiblemente desde épocas prehispánicas) y también en las de los estados de México, Puebla, Oaxaca y otros. Sus frutos y artículos tiernos son comestibles. En Europa esta distribuida en la cuenca del mediterráneo. Se desconoce el lugar de su origen, aunque se cree que es nativa de México, donde existen numerosas formas hortícolas e híbridas. Fue uno de los primeros nopales llevados a Europa en la época de la conquista, donde se cultivó especialmente en el litoral del mediterráneo. En España se le dio el nombre de "chumbo" y a sus frutos "higos de las indias". Algunos botánicos opinan que el origen de esta especie sin espinas está en *Opuntia megacantha*, la cual se considera como el tipo silvestre de *Opuntia ficus-indica*.<sup>(5,6)</sup>

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Figura 7.  
*Opuntia ficus-indica*  
(nopal verdulero)

Especie recolectada en los campos de Ingeniería Agrícola de la F.E.S. Cuautitlán C-4, UNAM.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

#### 1.4. Gomas y mucilagos obtenidos de las Opuntias.

Los mucilagos y las gomas son polisacáridos de origen vegetal, algunos de las cuales son de alta utilidad industrial, estos compuestos se utilizan en la elaboración de productos alimenticios, farmacéuticos y cosméticos. El grado de aprovechamiento de estos compuestos, va directamente relacionado con el nivel de conocimientos que se tienen sobre ellas.

En general las gomas y mucilagos son heteropolisacáridos con una estructura muy compleja. Existe cierta confusión en el empleo de los términos goma y mucilago, ya que se ha encontrado que algunas estructuras químicas de unos y de otros son muy parecidas, esto ha ocasionado que algunos autores utilicen indistintamente ambos términos. Sin embargo, se pueden definir a las gomas como exudaciones producidas por alguna lesión física en los tallos de las cactáceas; algunas gomas naturales presentan una estructura química muy similar a la del mucilago de nopal, por tanto presentan comportamientos idénticos.

La producción de mucilago es muy característica de la familia cactacea. Se encuentra contenido dentro de las células vesiculares del parénquima; y se ha descrito como un polisacárido ácido que presenta una estructura altamente ramificada. (fig. 8)



*Fig. 8 El mucilago se produce y almacena dentro de la planta.*

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Existen estudios sobre algunas gomas y mucílagos de variedades de *Opuntia*, sin embargo el interés por estos polisacáridos ha aumentado recientemente. Las investigaciones realizadas sobre gomas y mucílagos de *Opuntia* que se encuentran reportados en la literatura se limitan básicamente a ocho especies que son:

1. *Opuntia ficus-indica* (mucílago)
2. *Opuntia fulgida* (goma)
3. *Opuntia aurantiaca* (mucílago)
4. *Opuntia brasiliensis* (mucílago)
5. *Opuntia megacantha* (goma)
6. *Opuntia dillenii* (mucílago)
7. *Opuntia monocantha* (mucílago)
8. *Opuntia nopalea-coccinillifera* (mucílago)

Siendo la primera (*Opuntia ficus indica*) la más ampliamente estudiada y de la cual se han determinado propiedades y estructura química. <sup>(6)</sup>

### 1.5. Función biológica y usos.

La función biológica de los mucílago es aún desconocida, pero existen varias hipótesis del por que las opuntias producen este polisacárido; como estos vegetales soportan prolongadas épocas de sequía (fig 9), se piensa que el mucílago podría ayudar al vegetal a conservar la humedad. Esta sustancia tiene la capacidad de disolverse e incharse en presencia de agua, formando dispersiones altamente viscosas y permitiendo con ello la retención de agua dentro de la planta por la generación de puentes de hidrógeno. El mucílago por si solo retiene agua, sin embargo la presencia de sales como las de Calcio (también presentes dentro de la planta) permiten la formación de enlaces más resistentes con la estructura del mucílago y solvatándose para crear una dispersión hidrofílica y mecánicamente muy resistente.



*Fig. 9 El mucílago, junto con otros mecanismos, es responsable de la retención de agua dentro de la planta bajo las muy bajas humedades relativas bajo las cuales crece.*

La aplicación industrial de las gomas y mucílago y sustancias pécticas se fundamenta en que imparten características especiales que modifican la textura del producto final. El uso de estas sustancias es como adhesivos en la elaboración de productos de panadería hasta su empleo como agentes enturbiantes en jugos de frutas. Las gomas y mucílago son usados con mayor frecuencia como agentes espesantes para mermeladas y colorantes de la industria textil, emulsificantes para tintes, saborizantes y helados, así como estabilizadores en la preparación de ensaladas además de su utilización en preparaciones cosméticas.<sup>(6)</sup>

### 1.6. Composición química del mucílago de *Opuntia ficus-indica*.

Los mucílago son heteropolisacáridos de origen vegetal constituidos por unidades de azúcar y ácido urónico. Estructuralmente estas sustancias están constituidas por una cadena central, las unidades de azúcar pueden ser residuos de hexosas, pentosas y metil pentosas.<sup>(6,15)</sup>

Existen varias formas de representar la fórmula estructural de los monosacáridos que integran al polímero. La estructura de cadena abierta propuesta por Fisher explica la existencia de isómeros D y L de gran importancia biológica.

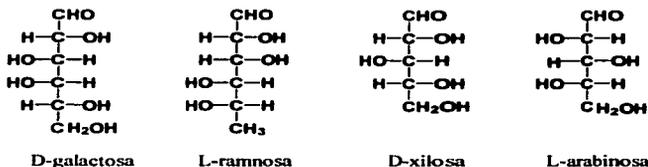
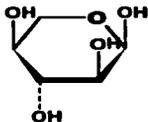
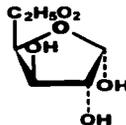


Fig. 10 Proyección de Fisher de algunos monosacáridos presentes en el mucílago de *Opuntia-ficus indica*.

Termodinámicamente, la estructura del monosacárido favorece la formación de una estructura cíclica dada por la reacción del grupo carbonilo e hidroxilo del mismo monosacárido, de esta forma las pentosas y hexosas pueden formar anillos de cinco y seis miembros llamadas furanosas y piranosas respectivamente. La representación cíclica de Haworth (fig.11) explica la existencia de dos formas isoméricas ( $\alpha$  y  $\beta$ ) con diferente rotación óptica en cada monosacárido.



$\beta$ -L-arabinopiranosas



$\alpha$ -D-galactofuranosa

Fig. 11 Proyecciones de Haworth de algunos monosacáridos presentes en el mucílago de *Opuntia ficus-indica*.

Sin embargo, el análisis de difracción de rayos x demuestra que en realidad las piranosas y las furanosas toman en el espacio la forma termodinámicamente más estable en el espacio, siendo ésta la conformación de silla. <sup>(6)</sup>

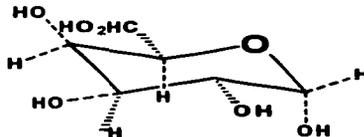


Fig. 12 Conformación en el espacio de la  $\alpha$ -D-galactopiranosas.

Los mucílago, son productos naturales, constituidos por largas cadenas de monosacáridos, enlazados por uniones glicosídicas. Son parte de los productos conocidos como polímeros naturales llamados polisacáridos. Los polisacáridos en solución, no presentan el fenómeno de mutorotación característico de las unidades monosacáridas de las cuales esta formado, estas unidades en su mayor parte se presentan exclusivamente en la cadena polimérica en estructura ciclo (furanosa o piranosas) este hecho además de presentar uniones de tipo glicosídico entre OH de azúcares vecinales disminuye el poder reductor de las unidades monosacáridas cuando forman parte del polímero. Con el aumento de la polimerización, las

propiedades de los oligosacáridos se aproxima a la de los materiales poliméricos de alto peso molecular, como se pueden observar con su comportamiento cromatográfico, punto de fusión y otras propiedades fisicoquímicas.<sup>(16)</sup>

La biosíntesis de los polisacáridos, ocurre con la condensación de dos hidroxilos de azúcares vecinales (unión glicosídica) con la eliminación de una molécula de agua por cada unión:



Fig.13 Formación de la unión glicosídica.

Estructuralmente, la cadena polimérica del mucilago está constituida por una cadena central, formada ya sea por uno o más tipos de monosacáridos, a los cuales, son comunes que se unan oligo y/o polisacáridos cuya presencia puede ocasionar que el heteropolisacárido tenga una estructura muy compleja. Un análisis de composición para *Opuntia ficus-indica* reveló que este presenta un componente mucilaginoso compuesto por arabinosa, galactosa, xilosa y ramnosa. La composición real del mucilago degradado es la mostrada en la tabla I.<sup>(6,16)</sup>

Tabla I. Composición química del mucllago de *Opuntia ficus-indica*.

Monosacárido	% mol
D-galactosa	41.3
L-arabinosa	trazas
D-xilosa	trazas
L-ramnosa	34.1
Ac.galacturónico	24.5

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Cabe resaltar que se han reportado porcentajes diferentes para otras especies de *Opuntia* con la misma proporción de monosacáridos.

En la figura 6, se presenta a el núcleo del mucílago de *Opuntia ficus-indica* que es una estructura compuesta por residuos de ácido D-galacturónico y L-ramnosa unidos entre sí de manera alternada, la presencia del oligosacárido 2-O-(ácido  $\alpha$ -D-galactopiranosilurónico)-L-ramnosa en el hidrolizado del polisacárido degradado y la relación molar muy parecida de ambos residuos en el mucílago y en el polisacárido degradado, lo demuestran. <sup>(6)</sup>

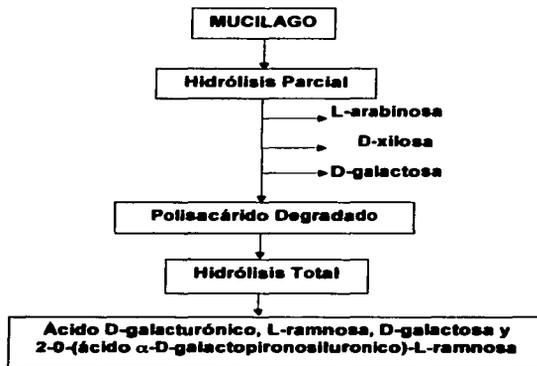


Fig. 14 Resultados de la degradación del mucílago.

En la fig. 15 se observa que la L-ramnosa se une al ácido D-galacturónico por los átomos de carbono 1 y 2 y se ramifica por el 4. Por otro lado el ácido galacturónico se une a la L-ramnosa por los carbonos 1 y 4.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

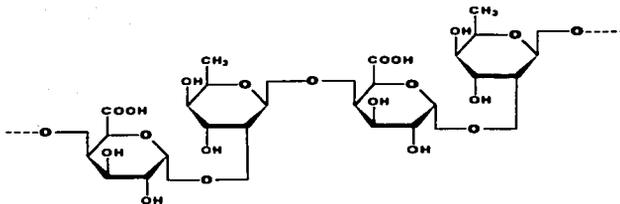


Fig. 15 Estructura del núcleo del mucilago de la *Opuntia ficus-indica*.<sup>(6)</sup>

Al núcleo del mucilago están unidos moléculas de D-galactosa, por esta razón, en el polisacárido degradado hay una buena cantidad de estos residuos (41.3 %), por lo que se ha propuesto una estructura básica para el mucilago de *Opuntia ficus-indica*. (Fig. 16).

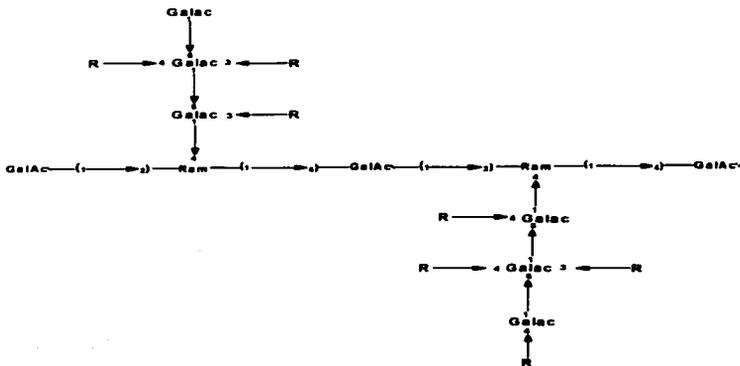


Fig. 16 Estructura básica del mucilago de la *Opuntia ficus-indica*.<sup>(6)</sup>

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Las ramificaciones del núcleo están formadas por una estructura central, la cual está constituida por tres moléculas de galactosa unidas entre sí por enlaces del tipo  $\beta \rightarrow 1,4$  y 1,6. La estructura central de las ramificaciones va unida por residuos en las posiciones 3 y/o 4. La secuencia exacta de los grupos R es desconocida pero se sabe que están formados principalmente por L-arabinosa, xilosa y en una pequeña cantidad de la D-galactosa. <sup>(6,15,16)</sup>

### 1.7. Propiedades fisicoquímicas del mucílago de *Opuntia ficus-indica*.

El mucílago de *Opuntia ficus-indica* es una sustancia amorfa la cual al extraerse presenta colores que van desde blanco, amarillento, blanco-cremoso hasta café claro, es parcialmente soluble en agua; sin embargo las disoluciones del mucílago en agua son un claro ejemplo de un sistema heterogéneo coloidal constituido por un material particulado llamado fase dispersa distribuida en una fase continua. Este polisacárido está localizado en células especiales en la *Opuntia*. La producción de este mucílago junto con el desarrollo de cristales de oxalato de calcio en el citoplasma, se debe a un mecanismo para reducir la pérdida de agua por parte de la planta.

Se ha reportado que durante la extracción del mucílago, suele suceder que el calcio y magnesio producidos por la planta, son eliminados. Por lo general se reportan bajas cantidades de estos iones al igual que de cenizas en el mucílago. La concentración del catión complejante y el pH afectan el tamaño y la forma molecular del mucílago. Las moléculas del mucílago se ven claramente alargadas a través del microscopio electrónico, estas pueden tener la forma de varilla o la de una elipsoide de revolución. La molécula del mucílago es un polielectrolito con carga negativa, contiene un gran número de grupos hidroxilo con una distribución de nube electrónica cargada hacia los átomos de oxígeno.

La capacidad de retención de agua del mucílago es baja, así cuando la humedad relativa del medio es del 100%, la molécula únicamente puede retener el 75.5% ya sea en presencia o no del ión calcio. Por otro lado se encontró que el mucílago purificado tiene un pKa igual a 4.8 (determinado por titulación) y un peso molecular de  $4.6 \times 10^6$  g/mol, con un volumen específico de 0.6 <sup>(6,16,17,18)</sup>.

### **1.8. Solubilidad.**

La solubilidad es una propiedad física de los compuestos químicos que depende de propiedades físicas y químicas del soluto y disolvente, entre estas propiedades tenemos a la temperatura, la presión, el pH de la solución, el estado de subdivisión del soluto y la clase, número y medio ambiente de los grupos funcionales del soluto y disolvente. La solubilidad es definida en términos cuantitativos como la concentración de soluto en una solución saturada a cierta temperatura, y en una forma cualitativa, esta puede ser definida como una interacción espontánea de dos o más sustancias para formar una dispersión molecular homogénea.

El soluto, al disolverse va a pasar de una fase condensada (moléculas de soluto rodeadas de moléculas de soluto) a una fase en solución (moléculas de soluto rodeadas de moléculas de solvente). Cuando las moléculas de soluto son más estables en la fase condensada que en solución, el soluto será poco soluble, cuando las estructuras de los grupos funcionales del soluto y del disolvente dan como resultado una mayor interacción de las moléculas de soluto y de disolvente entonces el soluto será más soluble.

La interacción entre soluto y solvente se debe a las altas constantes dieléctricas de los solventes, estos reducen las fuerzas de atracción entre cargas opuestas rompiendo los enlaces por reacciones ácido – base. Finalmente el solvente es capaz de solvatar moléculas a través de la formación de puentes de hidrógeno (solvatación). La solubilidad de los compuestos orgánicos en agua se atribuye a la formación de enlaces de hidrógeno. Las altas constantes dieléctricas de las moléculas que presentan enlaces de hidrógeno pueden deberse a la formación de especies poliméricas que presentan momentos dipolares aumentados en lugar de los momentos dipolares de las moléculas que lo constituyen. Siempre que sea posible, el enlace de hidrógeno intramolecular es preferido al enlace de hidrógeno intermolecular. El enlace de hidrógeno intermolecular incrementa la atracción entre las moléculas en las diversas capas de aquellos líquidos que presentan este tipo de enlace, aumentando la viscosidad por la imposibilidad de un deslizamiento de las capas entre sí. <sup>(19)</sup>

### 1.8.1. *Extracción de sustancias de origen vegetal.*

El proceso para aislar una sustancia de origen vegetal es una de las primeras complicaciones cuando se desea estudiar un compuesto de este tipo, debido a que en medio natural se encuentran formando mezclas complejas con otras sustancias, que dependiendo de los intereses del investigador puede o no repercutir sobre los resultados. También, cabe señalar que muchas de las sustancias de origen vegetal sufren cambios químicos al ser expuestos a un medio diferente. Para el caso de los mucílagos no existe un método general para su extracción, sin embargo conviene seguir reglas sencillas para su extracción. El proceso de extracción de un polímero normalmente se realiza utilizando un líquido en el que el polisacárido es soluble, por ejemplo ácidos y alcalis, agentes enmascarantes y otros compuestos químicos. En algunos casos se llegan a efectuar lo que se conoce como extracciones sucesivas por ejemplo, agua fría, agua caliente, alcali diluido frío, alcali diluido caliente. Cuando se emplean este tipo de técnicas sucesivas se obtienen fracciones de diferente composición y propiedades. La recolección se debe efectuar durante la temporada seca, que en el caso de las especies de *Opuntia*, es cuando aumentan los rendimientos del mucílago. De preferencia se deben buscar especies jóvenes, que no presenten zonas dañadas.

Una vez realizada la extracción del polisacárido, este se encuentra en disolución acompañado por una serie de compuestos de la misma o diferente naturaleza, por lo que se le precipitará adicionando la suficiente cantidad de un disolvente orgánico (por ejemplo etanol, metanol o acetona), aumentando la concentración de iones calcio y/o magnesio los cuales forman sales insolubles con aquellos polisacáridos que contiene ácidos urónicos, o agregando agentes complejantes específicos como las sales cuaternarias de amonio. Se debe poner mucha atención sobre esta parte de la extracción, si se utilizan soluciones muy ácidas puede ocurrir la hidrólisis de los residuos ácidos de la molécula o pueden causar el rompimiento de algunos residuos del polisacárido, por su parte los álcalis en las sustancias pecticas cuyos grupos carboxilo están esterificados puede causar una reacción de  $\beta$ -eliminación en donde el enlace glicosídico es roto y produce una estructura insaturada.

*Opuntia ficus-indica*, es una cactácea del reino vegetal donde los rendimientos de extracción de su mucílago dependen de la época de recolección, suelo, floración clima etc; sin embargo, son generalmente bajos, Pérez G. Rosa <sup>(15)</sup>, obtuvo un rendimiento del 0.0275 % de la especie *Opuntia Tunicata* Lehen. <sup>(6,16,20,21)</sup>

### **1.9. Reología.**

Las propiedades reológicas de un sistema, repercuten en la elección de las condiciones de manufactura de los productos, también en la selección del equipo a utilizar durante el proceso, en las condiciones de trabajo del equipo y sobre todo en la estabilidad del producto final; en este último, la ventaja de realizar en el laboratorio estudios reológicos a los sistemas, permite determinar la influencia de la temperatura, la concentración de sólido disperso y el efecto aditivo de algún componente extra en la formulación.

La viscosidad es una expresión de la resistencia de un fluido a fluir, en términos tecnológicos, esta propiedad intrínseca de dispersiones homogéneas o heterogéneas, proporcionan datos para establecer las propiedades y capacidades de los sistemas bajo estudio. La reología de un producto particular el cual puede ser del rango de un líquido, semisólido o sólido, puede afectar la manufactura, aplicación y absorción de cremas medicinales o cosméticas, además que estas deben ser producidas con una apreciable consistencia y apariencia para el consumidor. La formula debe ser capaz de reproducir estas características siempre que un nuevo lote sea preparado.

La acción de los agentes dermohidratantes, depende en gran parte del efecto que produzcan cuando son aplicados sobre la superficie de la piel, capacidad que muestran si la consistencia es viscosa, lo que permite mantenerse sobre la piel y mantener la humedad. Por lo anterior es importante tener un control de dichas propiedades para lograr una uniformidad y calidad constante en los productos finales.

En el presente estudio se evaluará el comportamiento reológico general del mucílago de nopal *Opuntia ficus-Indica* por lo cual es necesario abordar algunos conceptos básicos de reología.

Las soluciones de soluto simple siguen una ley de proporcionalidad directa entre la fuerza y la velocidad de corte, de modo que su viscosidad no dependa de ninguna de ellas, a esto se le conoce como comportamiento newtoniano. La ley de viscosidad de newton es aquella en que la fuerza de corte por unidad de área es proporcional al gradiente de velocidad.<sup>(24)</sup>

Para explicar esto, consideremos un fluido (líquido) encerrado entre dos grandes placas paralelas de área  $A$ , separadas una de otra por una distancia muy pequeña "y". Supongamos que después de un tiempo de reposo, la placa inferior se pone en movimiento en dirección de eje  $x$  a una velocidad constante "v", al cabo de un tiempo se establece el perfil de velocidad en régimen estacionario y en cual es necesario aplicar una fuerza constante  $F$  para mantener el movimiento, esta fuerza se puede calcular mediante la ecuación 1.

Ecuación 1: 
$$F / A = \eta \cdot v / y$$

la cual considera un flujo laminar. La ecuación anterior nos indica que la fuerza por unidad de área  $F/A$  es proporcional a la velocidad  $V$  e inversamente proporcional a la distancia  $Y$ . El coeficiente de proporcionalidad es llamado viscosidad del fluido y es constante para los fluidos newtonianos y es representada por  $\eta$ .

Aplicando la definición de derivada donde  $Y$  tiende a cero, se tendrá:

Ecuación 2:

$$F / A = \eta \cdot dv / dy$$

Ecuación 3:

$$\tau = \eta \cdot \gamma$$

Donde:

$$F/A = \tau = \text{Fuerza de corte} = [D/m^2]$$

$$\eta = \text{coeficiente de viscosidad} = [\text{poise}]$$

$$dv/dy = \gamma = \text{Velocidad de corte} = [\text{seg}^{-1}]$$

La viscosidad es la propiedad de un fluido que da lugar a fuerzas que se oponen al movimiento relativo de capas adyacentes en el fluido. (es la resistencia al flujo que presentan los fluidos).

En forma general se tiene dos tipos de comportamientos:

- I. Newtoniano.
- II. No Newtoniano.

Donde el comportamiento no newtoniano puede ser:

- a) Pseudoplástico ó adelgazante.
- b) Dilatante ó engrosante.

Los fluidos Newtonianos son aquellos que obedecen a la ley de la viscosidad de Newton y para los cuales existe una relación lineal entre el esfuerzo cortante y la velocidad de corte (fig. 17 (A)) y donde la viscosidad permanece constante (característica principal) (fig. 18). Los fluidos no Newtonianos son aquellos que no obedecen la ley de Newton para viscosidad, en ellos la relación entre  $\tau$  y  $\dot{\gamma}$  no es lineal, por lo tanto la viscosidad no permanece constante (fig. 17 (B) y 9 (C)). Los fluidos pseudoplásticos son aquellos donde la fuerza de corte aumenta en proporciones más altas que la velocidad de corte por lo que la viscosidad aparente descende a medida que aumenta la fuerza de corte (fig. 19). En los fluidos dilatantes, existe un incremento de la viscosidad aparente al aumentar la fuerza de corte. La velocidad de corte aumenta en proporciones más altas que la fuerza de corte (fig. 20).

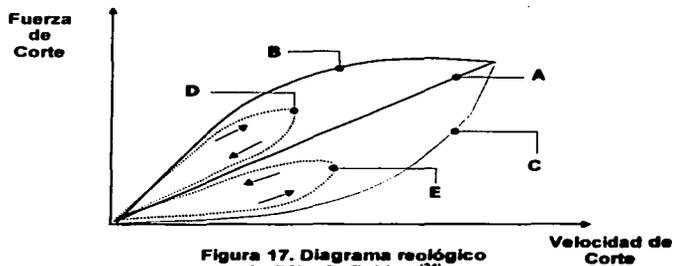


Figura 17. Diagrama reológico de fluido de fluidos.<sup>(24)</sup>

- A) Newtoniano
- B) Pseudoplástico
- C) Dilatante
- D) Tixotrópico
- E) Reopéxico



Fig. 18. Comportamiento Newtoniano<sup>(24)</sup>



**Fig. 19. Comportamiento pseudoplástico o adelgazante<sup>(24)</sup>**



**Fig. 20. Comportamiento dilatante o engrosante<sup>(24)</sup>**

Los fluidos no newtonianos presentan generalmente un tipo de comportamiento presente con la pseudoplasticidad y la dilatancia, llamados tixotropía y reopexia respectivamente. La tixotropía es un ablandamiento dependiente del tiempo. Este comportamiento es la pseudoplasticidad, sin embargo el descenso de la viscosidad aparente además de estar relacionado con la fuerza de corte, depende del tiempo, por lo que se forma el llamado anillo de "histéresis", se presenta por no coincidir la fase de carga y descarga, formando un anillo (fig. 17 (D)). La reopexia es un espesamiento dependiente del tiempo. Se presenta un comportamiento inverso a la tixotropía, considerando un aumento en la viscosidad aparente al incrementarse la fuerza de corte. Al igual que la tixotropía presenta un anillo de histéresis (fig. 17 (E)).

Algunos textos representan las curvas de consistencia con la fuerza de corte en el eje horizontal y la velocidad de corte en el eje vertical. La pendiente de estos gráficos representa la fluidez, la viscosidad es la pendiente recíproca.

Ecuación 4:

$$\gamma = 1/\eta \tau$$

Donde :

$$1/\eta = \text{fluidez}$$

Los líquidos pseudoplásticos y dilatantes siguen la ley de la potencia empírica, ecuación de (Ostwald-de Waele)

Ecuación 5:

$$\gamma = K \tau$$

en forma log. Ecuación 6:

$$\log \gamma = \log K + n \log \tau$$

Para los sistemas que cumplen esta ley, un gráfico de  $\log \gamma$  vs  $\log \tau$  es una línea recta de pendiente  $n$ . El exponente  $n$ , es un índice de la desviación del comportamiento newtoniano de flujo, para  $n=1$ ,  $K = 1/\eta$ , y como resultado tenemos la ley de Newton. Para la pseudoplasticidad  $n > 1$ , y para la dilatancia,  $n < 1$ . Cuanto más difiere  $n$  de la unidad menos Newtoniano es el comportamiento del flujo. <sup>(22,23,24,26,26)</sup>

### 1.9.1. *Características reológicas de los mucilagos.*

La viscosidad de las soluciones acuosas de los mucilagos es alta (aproximadamente 6470/g.cm.seg, en concentraciones de 0.1%). Sin embargo se ha demostrado que la cantidad de mucilago presente en la planta y así como su viscosidad, dependen inherentemente de la especie, de la época de recolección y del método de extracción. La viscosidad de los mucilagos se ve favorecida con la presencia de cationes (calcio y de sodio) hasta una concentración de 10 mmol. La dependencia de la viscosidad del mucilago se le atribuye a que la molécula es un polielectrolito cargado negativamente. Cuando el mucilago esta diluido, las cargas negativas ocasionan una repulsión molecular produciéndose un estiramiento en la molécula; sin embargo los grupos hidroxilo presentes en la molécula son centros altamente reactivos que preferirán las reacciones de enlazamiento intermolecular para alcanzar la estabilización. La presencia de concentraciones adecuadas de un catión, neutralizarán las cargas negativas fijándose a los sitios activos. La presencia de iones de mayor tamaño y fuerza, ocasionan una fuerte repulsión molecular, estirándola y aumentando la rigidez de la misma (aumentando la viscosidad).

Se ha observado que en estado natural, entre los componentes de las plantas que producen mucilago, las sales de calcio están presentes y son, junto con el mucilago, el mecanismo responsable de la retención de agua por parte de la planta. los mucilagos pueden llegar a formar geles mecánicamente muy resistentes en presencia del ion calcio y una baja cantidad de agua. También en ausencia del ion y con un mayor contenido de agua pueden formar geles, pero estos son mecánicamente débiles. La adición de cationes complejantes afectan el tamaño y forma de la molécula, este comportamiento puede deberse a que la molécula quizás tiene una estructura helicoidal. <sup>(6,16,20,21)</sup>

## **1.10. Aspectos cosméticos.**

De las propiedades más importantes de un producto cosmético resalta la humectación que pueda inducir a la piel. Un alto contenido de agua provoca que la piel sea flexible y como consecuencia refleja una apariencia agradable. Sin embargo cuando el estrato corneo se encuentra menos hidratado, pierde su flexibilidad y la tensión mecánica produce la sensación de rigidez que conduce a la aparición de grietas (piel seca), sin embargo no hay una definición exacta de este síntoma. las afecciones pueden variar desde una descamación moderada hasta la aspereza extrema ó grietas con sangrado. La aplicación mecánica sobre la piel de una película que evite la salida de agua y que además suministre agua a la piel, beneficiará parcialmente el contenido de humedad en la superficie de la misma.

Es bien sabido que cuando se dice que un cosmético tiene la capacidad o aptitud de ser hidratante, se sobrentiende que actuará sobre una piel seca. Los síntomas de una piel seca son asociados frecuentemente a que la velocidad de evaporación del agua en el estrato corneo es excesiva, debido a que la piel se encuentra expuesta a una baja humedad relativa, promoviendo así, la reducción de la flexibilidad del estrato corneo. Sin embargo, la piel seca puede ser restaurada de tres formas: integrando a la piel las sustancias deficitarias, hidratando u ocluyendo, estos métodos son frecuentemente asociados a la vez. La apariencia hidratada y saludable de la piel puede influenciarse por la aplicación externa de productos conocidos como humectantes y emolientes.

### **1.10.1. *Humectantes y emolientes.***

#### **a) Humectantes.**

Estas sustancias actúan restaurando la capacidad de retención de agua de la piel a través de uno o varios agentes higroscópicos. Los humectantes se encuentran dentro del grupo más popular en los cosméticos, algunos ejemplos incluyen a la glicerina, la fructosa, la glucosa, la lactosa, el sorbitol, la sucrosa y la urea.

b) Emolientes.

Estas sustancias provocan la reducción de la pérdida continua del agua transepidérmica del cuerpo, ya sea creando una barrera física en la superficie o por reducción en la permeabilidad de la piel; también alisan el perfil superficial de la piel y disminuyen las líneas faciales, dando sensación de suavidad o tersura. Los emolientes contienen ingredientes solubles en agua o en aceite que actúan ocluyendo a la piel. La oclusión de la piel por este mecanismo origina una inmediata disminución de la velocidad de pérdida del agua a través de la epidermis.

Los agentes emolientes típicos son los lípidos de alta o media viscosidad como el miristato de isopropilo o el aceite de jojoba. Esta acción se puede imitar con formadores de película poliméricos solubles en agua que se quedan sobre la piel sin dejar una capa pegajosa después de secar como es el caso de algunos glicosaminoglicanos o proteínas.

Los humectantes o emolientes pueden ser sometidos a diversas pruebas donde pueden demostrar su actividad para ser considerados como tales. Este tipo de pruebas tiene que ver principalmente con la capacidad que tienen para absorber y/o retener, cantidades específicas de agua, o de la formación de capas oclusivas, las cuales dependerán de la concentración del humectante o emoliente. Lo más común para los humectantes, es que sean expuestos a humedades relativas drásticas para observar su comportamiento de absorción y retención de humedad, mientras que la característica más importante que define a un emoliente, es su viscosidad, las sustancias con alta viscosidad son capaces de formar capas poliméricas altamente resistentes (efecto oclusivo sobre la piel). Sin embargo, independientemente de la capacidad cosmética de cualquier sustancia, esta debe ser estable y compatible dentro de la formulación, principal problema de las sustancias de origen natural.

Para que una crema o emulsión sea considerada como un producto estable y cumpla con las especificaciones para las cuales fue elaborada, los ingredientes que constituirán a la formulación deberá ser de alta calidad, ya que los beneficios por la aplicación de los

humectantes y emolientes son menos tangibles en el producto final y es mucho más difícil predecir su efecto en formulación, la inclusión de varios de estos ingredientes pueden dar interacciones entre sí dependiendo de la concentración, del tipo de formulación, de la proporción de la fase y del tamaño de gota.

Algunas de las evaluaciones de los emolientes y humectantes tienen que ver en sí sobre las propiedades de humectación, elasticidad y estabilidad que le proporcionen a la piel. La importancia de las pruebas de desempeño relativo, se observa en el hecho que los emolientes con alta eficiencia contribuyen al logro de formulaciones de gran desempeño, promoviendo lo que se denomina "skin-care-benefits" y los emolientes de bajo impacto, hacen que las formulaciones tengan un bajo desempeño. Este tipo de pruebas se basa en la elaboración de diferentes formulaciones, cada una con una proporción de humectante o emoliente diferente así como de distintas proporciones de las fases aceite/agua o agua/aceite. Estas se aplican a individuos de piel sana donde el objetivo primordial es determinar la capacidad real del producto de aumentar la hidratación en la piel. (3,27,28,29,30)

A continuación se mencionan algunas de las técnicas de medición de humedad más comunes; estas se basan en determinar la proporción de agua contenida en la piel de forma indirecta, una señal es recibida y transformada a unidades que reflejan el contenido de agua en la piel. (31).

*Espectrografía infrarroja.* Mide la absorción de ondas infrarrojas, las cuales dependen del contenido de agua en la piel, así se determina la humedad contenida en la misma.

*Medición de la frecuencia de resonancia.* Este principio, mide la humedad por la transmisión de ondas a través de la piel. La medición depende de la elasticidad de la piel.

*Resonancia magnética nuclear.* Este método de medición determina la densidad del protón y su volumen de concentración, el cual se relaciona indirectamente al contenido de humedad.

*Descamación.* Las células muertas del estrato córneo salen de esta para promover el espacio para las células nuevas. En la desecación del estrato córneo, puede ser encontrada mayor

descamación. La medición de la descamación de cualquier forma permite inferir el contenido de humedad del estrato córneo.

*Mediciones de impedancia.* Una medición indirecta de la hidratación de la piel es determinada por la medición de la resistencia eléctrica generada por un campo electromagnético cuando la placa de un capacitor es colocada sobre la piel. Este fundamento se logra gracias a que el agua posee una constante dieléctrica.

*Mediciones de la difusión de agua.* La pérdida de agua transepidermal es determinada por la medición de la evaporación continua de agua sobre la superficie de la piel.

## CAPITULO II

### OBJETIVOS

#### General:

- Evaluar la capacidad humectante *in vitro* del mucílago del nopal *Opuntia ficus-indica*.
- Determinar si el efecto dermohidratante de una crema emulsionada, con el mucílago como agente humectante, posee reales expectativas cosmetológicas al ser aplicada sobre la piel de voluntarios sanos.

#### Particular:

- Extraer y liofilizar el mucílago del nopal *Opuntia ficus-indica*.
- Realizar pruebas de solubilidad al mucílago para la identificación general del mismo.
- Evaluar la capacidad de retención de agua del mucílago contra la de los humectantes de uso común.
- Caracterizar el comportamiento reológico de dispersiones de mucílago en agua.
- Diseñar un estudio preliminar que permita evaluar el desempeño de humectación *in vivo* de cremas emulsionadas con el mucílago como agente hidratante.
- Establecer si la adición del mucílago a una formulación cosmética, afecta las propiedades reológicas de las emulsiones.
- Determinar si el efecto provocado por la aplicación sobre la piel de una crema con mucílago, es semejante al mostrado por una formulación con la inclusión de un agente hidratante de uso común, la glicerina.

## CAPITULO III

### DESARROLLO EXPERIMENTAL

#### 3.1. Reactivos y materiales.

##### 3.1.1. *Reactivos.*

- Aceite mineral, Droguería Cosmopolita, México.
- Acetato de etilo, Fermont, EUA.
- Acetona HPLC, Fermont, EUA.
- Acido esteárico XXX, Sigma ultra, Germany.
- Acido acético glacial Ph Eur., Merck, Germany.
- Agua desmineralizada. (Obtenida de un sistema Milli-Q, Millipore).
- Alcohol isopropilico IND-UN-1219, Droguería Cosmopolita, México.
- Alcohol cetílico Ph Eur., Merck, Germany.
- Alcohol de caña (96°), Moresa, México.
- Butanona PA, Fermont, EUA.
- Etanol anhydro PA., Fermont, EUA.
- Glicerina QP, Droguería Cosmopolita, México.
- Hexano PA, Fermont, EUA.
- Hidroxido de sodio SLC, Productos Químicos Monterrey, México.
- Lanolina Uso lab, Farmacia Paris, México.
- Metanol PA, Fermont, EUA.
- Metilparabeno, Sigma ultra, Germany.
- Propilparabeno, Sigma ultra, Germany.
- Trietanolamina, Sigma ultra, Germany.

### 3.1.2. *Equipo.*

- Balanza analítica, CE99, Germany.
- Liofilizador, 75520, Labconco, EUA.
- Enfriador de inmersión, VLT-60<sup>o</sup>, Polyscience, EUA.
- Parrilla eléctrica y agitador magnético, 2 Cimarec, EUA.
- Agitador de velocidad variable, R2R2-64, Caframo, Germany.
- Corneometer CM 825, Courage+khazaka, Germany.
- Tewameter TM 210, Courage+khazaka, Germany.
- Viscosímetro Brookfield, Capcalc VI.02. EUA.
- Higrómetro de carátula, Taylor, Germany.
- Agitador vortex, The virtis company, EUA.

### 3.1.3. *Biológicos.*

- a) Panelistas: hombres y mujeres de entre 15 y 50 años de edad con piel en estado sano.
- b) Planta: *Opuntia ficus-indica*, colectada en los campos de la Facultad de Estudios Superiores de Cuautitlán, campo 4. UNAM.

La localización, clasificación y recolección de la especie *Opuntia ficus-indica* se realizó con la ayuda del centro herbario de la Facultad de Estudios Superiores de Cuautitlán, campo 4. UNAM.

## **3.2 Procedimiento**

### **3.2.1 Extracción.**

Se cortó la cutícula de 10 Kg de hojas de la planta y la parte central de estas se fragmentaron en pequeños cubos los cuales se sometieron a agitación constante con agua durante 2 días, la fase resultante fue filtrada y precipitada con etanol, el precipitado se separa y recupera para ser redisoluto en agua. Se precipita nuevamente con una mezcla etanol-acetona y el producto resultante se filtra y se lava con etanol y acetona calientes.

El precipitado obtenido, es disuelto en la mínima cantidad de agua y sometido al proceso de liofilizado durante 3 días. Las condiciones de liofilizado son  $-40^{\circ}\text{C}$  y  $133 \times 10^{-3}$  mBar.<sup>(32)</sup>

Para evitar alguna reacción no deseada durante la extracción, se decidió utilizar condiciones suaves para la misma (agua fría como medio de extracción). La parte de la planta que se sometió a extracción se corto en pequeños cubos de manera de ofrecer la mayor superficie de contacto al disolvente.

### **3.2.2 Solubilidad.**

El polvo liofilizado resultado de la extracción, fue puesto en solución para evaluar de forma general su solubilidad y establecer una identificación subjetiva del muflago. Se utilizaron diferentes solventes a temperatura ambiente (ver tabla II). Una muestra al 1% p/v del polvo se colocó en un tubo ensaye y se agitó con un vortex, de esta forma se mantuvo la agitación durante 5 min. Los resultados y observaciones fueron registrados al inicio y a las 24 horas.

### 3.2.3 Pruebas de retención de agua.

Soluciones al 1% p/v del extracto de nopal, y de humectantes cosméticos de uso común (glicerina 1% v/v, transcitol 1% v/v y propilenglicol 1% v/v) fueron colocadas dentro de cajas petri de vidrio y expuestas durante 22 días a diferentes humedades relativas (20, 74 y 87 %). La variación de peso fue registrada a diferentes intervalos de tiempo.

El porcentaje de humedad relativa se consiguió adicionando soluciones de diferentes concentraciones de NaOH en desecadores, los cuales contenían un higrómetro para registrar la humedad al equilibrio. <sup>(33)</sup>

### 3.2.4 Reología de las dispersiones del mucílago y glicerina.

Soluciones de mucílago liofilizado en agua con una concentración al 1, 2.5 y 5 % p/v, de un humectante de uso común en estado puro y líquido (glicerina) y de una mezcla de mucílago liofilizado-glicerina 1% p/v fueron evaluadas reológicamente para caracterizar el tipo de flujo que muestran.

### 3.2.5 Reología de las cremas con mucílago y glicerina.

Muestras de las cremas de prueba con mucílago, glicerina y mucílago-glicerina como agentes hidratantes respectivamente (ver concentraciones en anexo I), fueron evaluados reológicamente para caracterizar el tipo de flujo que presentan.

En la caracterización reológica de las soluciones y cremas, se utilizó un viscosímetro Brookfield Capcald de cono, acoplado a un sistema PC (Capwin). El programa fue graduado modificando las velocidades de corte de forma indirecta al modificar las revoluciones por minuto que permitía el equipo. La prueba de flujo continuo, fue obtenida por incremento de la velocidad de corte de 666.67 a 6666.65  $\text{seg}^{-1}$  y decreciendo este hasta el valor inicial (666.67) para completar un ciclo. Cada punto del ciclo es registrado en

intervalos de 30 segundos por el programa a una temperatura preestablecida de 25°C. Un ciclo fue construido para cada muestra.

### *3.2.6. Pruebas de hidratación y deshidratación en la piel.*

El diseño de las pruebas de hidratación y deshidratación realizadas en este trabajo son estudios preliminares que demuestran el efecto por la aplicación de las cremas sobre la piel, por lo que no se pretende que sea mostrado como un estudio clínico.

Una vez realizadas las formulaciones de prueba, se llevaron acabo las pruebas de hidratación en piel.

#### a) Prueba para determinar la hidratación al nivel del estrato córneo.

Para la prueba de hidratación se trabajó con 5 panelistas con la piel en estado sano, hombres y mujeres de edad entre los 16 a 46 años y el Corneometer, CM825 Courage+khazaka, Germany. (ver el fundamento en el apéndice II).

#### b) Prueba para determinar la pérdida de agua transepidermal.

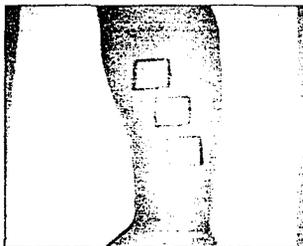
En la prueba de deshidratación transepidermal se trabajo con 5 panelistas en estado sano, hombres y mujeres de edad entre 24 a 26 años y el Tewameter, TM210 Courage+khazaka, Germany. (ver el fundamento en el apéndice III).

La metodología para la realización de las evaluaciones cosmetológicas es la siguiente:

1. El panelista deberá llenar un cuestionario de aptitud para ser seleccionados como sujetos de prueba. (ver el cuestionario en el apéndice IV).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

2. Los antebrazos de cada panelista son lavados con agua y jabón de tocador, enjuagados con agua y secados perfectamente de 15 a 20 minutos antes de iniciar la prueba.
3. Se marcan áreas delimitadas de 3x2 cm en ambos antebrazos con violeta de genciana (fig.21). Después de 5 a 10 min. de climatización se registran las lecturas del testigo a tiempo 0 de cada área , así como la también la temperatura ambiente para el inicio de la prueba.



*Fig. 21 Zonas delimitadas*

4. Se toma una muestra de cada una de las formulaciones con un hisopo y se aplican dentro de las áreas delimitadas respectivas (fig. 22) menos una, que será el testigo durante toda la prueba. Se dejan absorber 30 minutos y se comienza con el registro de la primera lectura para las muestras y el testigo.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

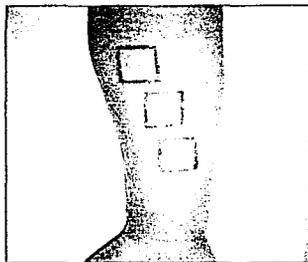


Fig. 22 Zonas de aplicación

5. Registre cada una de las siguientes lecturas y la temperatura en los tiempos predeterminados para la prueba de hidratación y deshidratación utilizando el corneómetro y tewameter respectivamente.

Los equipos cuentan con un dispositivo que permiten que el registro de las lecturas se logre con el simple contacto de este, con la zona delimitada sobre la piel. Las unidades de medición que los equipos registran son: *Las unidades relativas de corneómetro (rcu)* y los *gramos de agua evaporados por área superficial (g.agua/m<sup>2</sup>h)* (ver fundamentos en el apéndice II y II).

6. Para la prueba de hidratación, se tomaron lecturas cada media hora durante 2 horas y cada hora durante las 2 últimas horas.
7. Para la prueba de deshidratación transepidermal se tomaron lecturas cada media hora durante 2 ½ horas.

Durante la prueba los individuos se encuentran en una posición cómoda y en total reposo. Terminada la prueba, se lavan y secan las zonas de aplicación.

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS**

#### **4.1. Eficiencia del proceso de extracción.**

De la solución liofilizada se obtuvieron 3.6 g de un polvo color blanco a crema, inodoro, muy ligero y altamente electrostático que corresponde a un rendimiento del 0.036% del total de materia usada (peso fresco). El pH de soluciones al 1.0, 2.5, y 5.0 % de mucílago liofilizado en agua fue de entre 5.0 y 6.0.

Durante la extracción se observó un precipitado en el fondo de los contenedores de color blanco el cual posiblemente correspondía a las sales de calcio que son eliminadas durante el proceso, también se observó que la viscosidad del mucílago durante la primera parte de la extracción (suspensión en agua) es mayor y disminuye conforme avanza el proceso de extracción.

#### **4.2. Pruebas de solubilidad.**

Se realizaron pruebas de solubilidad para el polvo liofilizado obtenido de la extracción, los resultados se resumen en la tabla II.

#### **4.3. Capacidad de retención de agua.**

Se estudio durante 22 días, el comportamiento de retención de agua del extracto de nopal expuesto a diferentes humedades relativas (20, 74 y 87 %). Se comparo este comportamiento con el de la glicerina, transcitol y propilenglicol (humectantes de uso en cosméticos). No se consideró para el estudio, la muestra de mucílago-glicerina; este sistema se estableció después de la obtención de los resultados de viscosidad para las dispersiones de mucílago. Los resultados se muestran en las tablas III a IV y gráficos 1 a 3.

**Tabla II.** Solubilidad del mucilago de *Opuntia ficus-indica*. Soluciones al 1% p/v y a temperatura ambiente.

SOLVENTE.	PARÁMETRO DE SOLUBILIDAD (δ)	CONSTANTE DIELECTRICA. (ε)	SOLUBILIDAD (a temp. Ambiente)	
			INMEDIATA	A 24 HRS.
ACETONA	9.8	20.7	INSOLUBLE	INSOLUBLE
METANOL	14.5	32.6	INSOLUBLE	INSOLUBLE
BUTANONA	—	18	INSOLUBLE	INSOLUBLE
ALCOHOL ISOPROPILICO	—	14	INSOLUBLE	INSOLUBLE
ETANOL ANHYDRO	13.0	24.3	INSOLUBLE	INSOLUBLE
ACETATO DE ETILO	8.9	6.11	INSOLUBLE	INSOLUBLE
HEXANO	8.2	2.02	INSOLUBLE	INSOLUBLE
AGUA	23.4	78.5	PARCIALMENTE SOLUBLE	(a) SOLUBLE
	—	—	SOLUBLE	(a) SOLUBLE
GLICERINA	17.7	47-68	PARCIALMENTE SOLUBLE	(b) GELIFICACIÓN

- a) Se forma una solución opaca de color blanco a crema.  
 b) Se forma un gel translúcido.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Tabla III.** Prueba de capacidad de retención de agua del extracto en solución al 1% p/v, expuesto a 20% de HR.

TIEMPO (DÍAS)	Conc. 1 % p/v			
	MUCILAGO	GLICERINA	TRANSCUTOL	PROPILEN GLICOL
	% en peso			
0	100.0	100.0	100.0	100.0
1	97.32	93.94	97.37	97.17
2	94.85	93.54	94.91	94.72
5	89.56	89.72	89.60	89.47
7	82.69	84.74	84.56	84.49
9	79.64	79.92	79.66	79.53
10	76.80	77.15	76.90	76.54
14	68.82	69.19	68.86	68.58
15	66.60	67.06	66.77	66.44
19	59.22	59.71	59.58	59.13
22	53.80	54.69	54.50	53.96

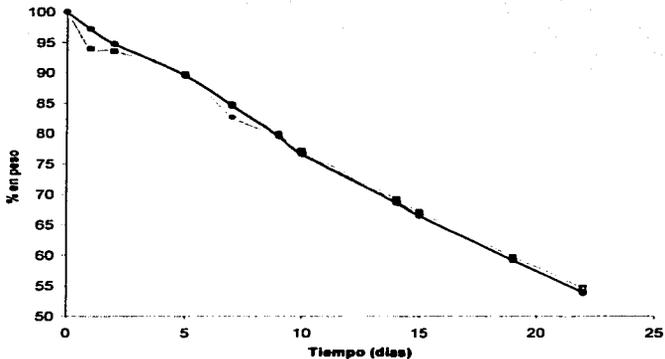
**Tabla IV.** Prueba de capacidad de retención de agua del extracto en solución al 1% p/v, expuesto a 74% de HR.

TIEMPO (DÍAS)	Conc. 1 % p/v			
	MUCILAGO	GLICERINA	TRANSCUTOL	PROPILEN GLICOL
	% en peso			
0	100.0	100.0	100.0	100.0
1	98.73	98.96	99.03	98.99
2	97.66	97.97	98.02	98.00
5	95.42	95.94	95.96	95.84
7	93.32	93.93	93.97	93.75
9	91.34	92.14	92.10	91.80
10	90.20	91.08	91.02	90.70
14	86.97	87.94	87.83	87.49
15	86.11	87.15	87.00	86.66
19	83.04	84.48	84.20	83.98
22	81.08	82.58	81.90	82.21

**Tabla V.** Prueba de capacidad de retención de agua del extracto en solución al 1% p/v, expuesto a 87% de HR.

<b>Conc. 1 % p/v</b>				
<b>TIEMPO (DÍAS)</b>	<b>MUCILAGO</b>	<b>GLICERINA</b>	<b>TRANSCUTOL</b>	<b>PROPILEN GLICOL</b>
<b>% en peso</b>				
0	100.0	100.0	100.0	100.0
1	99.93	99.71	99.65	99.70
2	99.86	99.69	99.61	99.62
5	99.76	99.67	99.57	99.57
7	99.65	99.61	99.52	99.50
9	99.61	99.64	99.52	99.52
10	99.54	99.59	99.48	99.50
14	99.44	99.59	99.43	99.41
15	99.43	99.56	99.40	99.40
19	99.35	99.60	99.40	99.40
22	99.31	99.57	99.39	99.38

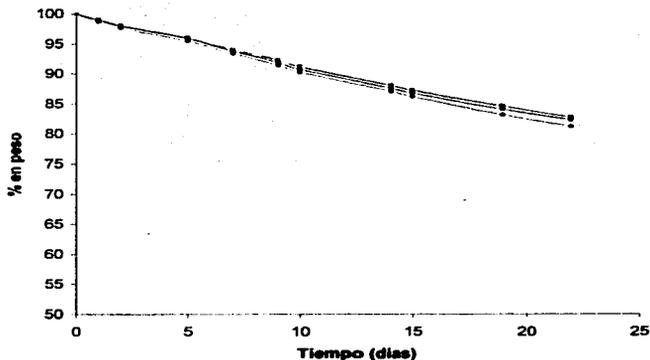
**TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN**



**Gráfico 1.** Capacidad de retención de agua a 20 % de humedad relativa en función del tiempo. Solución p/v al 1%.

—●— Mucllago    —■— Glicerina    - - - Transcutol    —◄— Propilenglicol

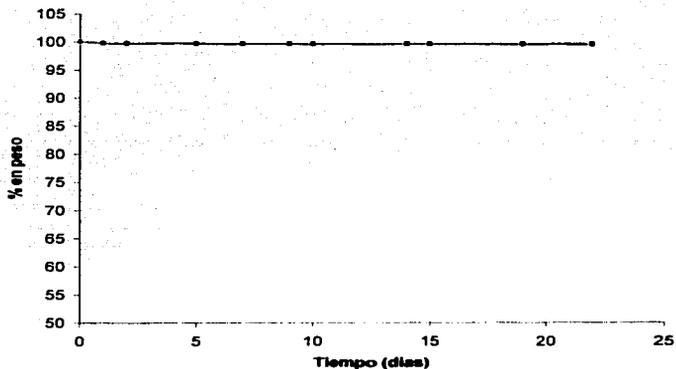
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



**Gráfico 2.** Capacidad de retención de agua a 74% de humedad relativa en función del tiempo. Solución p/v al

--- Mucilago --- Glicerina --- Transcutol --- Propilenglicol

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



**Gráfico 3. Capacidad de retención de agua a 87% de humedad relativa en función del tiempo. Solución p/v al 1%**  
 • Mucilago    - - - Glicerina    Transcutol    - - - Propilenglicol

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

#### 4.4. Comportamiento reológico de las dispersiones de mucilago y glicerina.

Se obtuvieron experimentalmente los parámetros reológicos de las dispersiones de mucilago liofilizado al 1, 2.5 y 5 % p/v y de la mezcla mucilago-glicerina al 1% p/v, estos se compararon con los resultados obtenidos de la reología para la glicerina. Los resultados se muestran en los gráficos 4 a 8 y la tabla VI.

**Tabla VI.** Parámetros reológicos (valor de corte  $\zeta_v$ , viscosidad  $\eta$ , índice de desviación del comportamiento newtoniano  $n$  y área de histeresis  $H$ ) de las dispersiones de mucilago y glicerina determinados experimentalmente.

Muestra	$\zeta_v$ (D/cm <sup>2</sup> ) a 0 seg <sup>-1</sup>	$\zeta_v$ (D/cm <sup>2</sup> ) a 666.67seg <sup>-1</sup>	$\eta$ (poise) a 666.67seg <sup>-1</sup>	$\eta$ (poise) a 6666.65seg <sup>-1</sup>	"n"	H (cm <sup>2</sup> )
Mucilago 1.0 %	458.0	560	0.83	0.28	1.92	9.30
Mucilago 2.5 %	474.8	670.34	1.00	0.24	2.33	14.17
Mucilago 5.0 %	961.43	1200.01	1.80	0.36	3.22	33.43
Mucilago Glicerina 1.0%	618.58	5025.36	7.54	3.25	1.56	26.75
Glicerina	-226.39	4000.02	6.00	4.95	1.07	16.45

Las curvas de flujo de mucilago-glicerina y glicerina fueron dibujadas en una escala diferente a las dispersiones de mucilago por lo que la áreas de histeresis no pueden ser comparadas entre si.

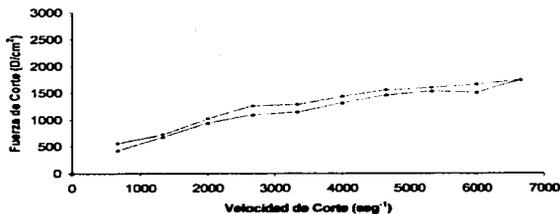


Gráfico 4 (a). Ciclo del comportamiento reológico de la solución al 1% p/v de mucilago liofilizado en agua. Temperatura = 25 °C  
 - - - Ascenso    — Descenso

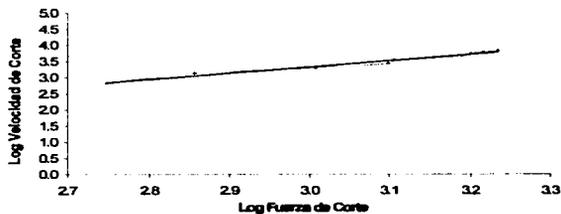


Gráfico 4 (b). Curva de flujo para el sistema de mucilago al 1% p/v en agua  
 $y = 1.9207x - 2.4403$

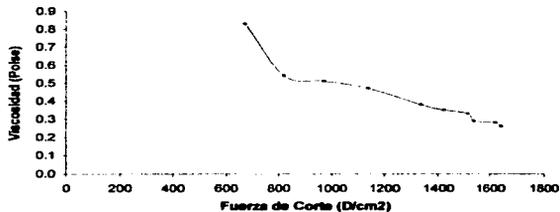


Gráfico 4 (c). Curva de flujo pseudoplástico, sistema de mucilago 1% p/v en agua

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

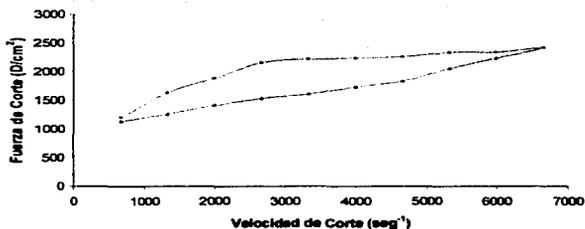


Gráfico 5 (a). Ciclo del comportamiento reológico de la solución al 5% p/v de muclago liofilizado en agua. Temperatura 25°C  
 --- Ascenso — Descenso

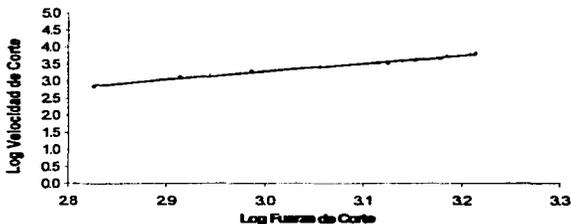


Gráfico 5 (b). Curva de flujo para el sistema de muclago al 2.5% p/v en agua  
 $y = 2.3344x - 3.723$

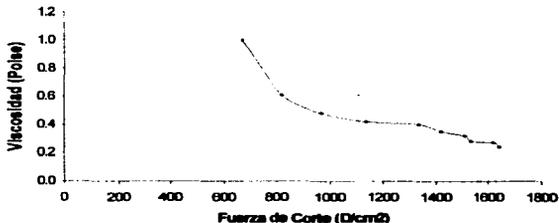


Gráfico 5 (c). Curva de flujo pseudoplástico, sistema de muclago 2.5% p/v en agua

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

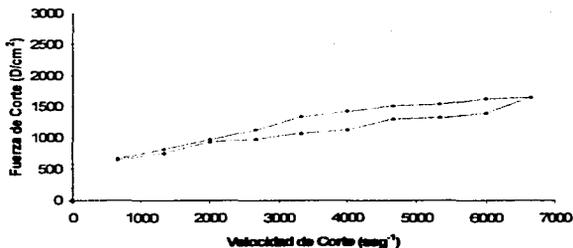


Gráfico 5 (a). Ciclo del comportamiento reológico de la solución al 2.5% pv de mucilago liofilizado en agua. Temperatura = 25 °C

--- Ascenso — Descenso

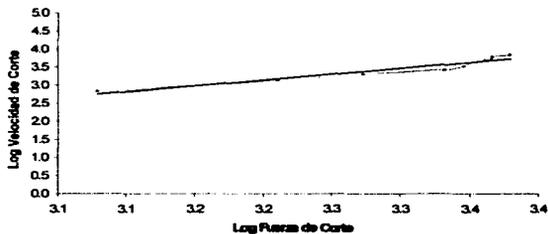


Gráfico 6 (b). Curva de flujo para el sistema de mucilago al 5.0% pv en agua

$$y = 3.2209x - 7.1705$$

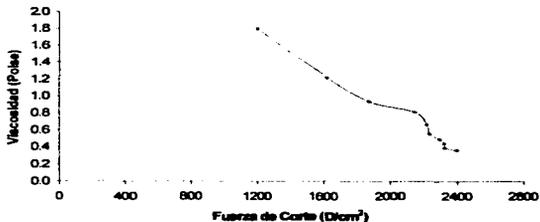


Gráfico 6 (c). Curva de flujo pseudoplástico, sistema mucilago 5 % pv en agua.

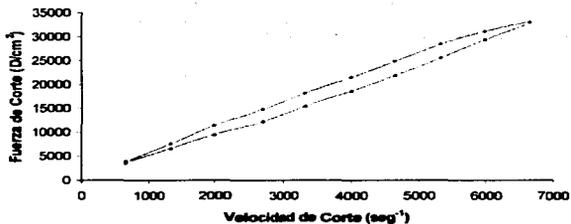


Gráfico 7 (a). Ciclo del comportamiento reológico de la glicerina en estado puro. Temperatura 25°C  
 --- Ascenso — Descenso

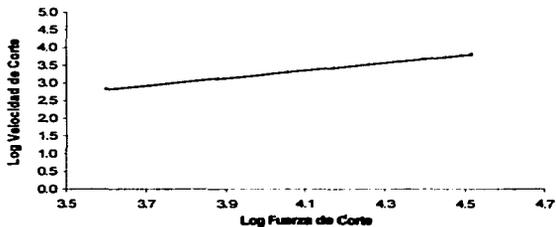


Figura 7 (b). Curva de flujo para el sistema de Glicerinas  
 $y = 1.0752x - 1.0636$

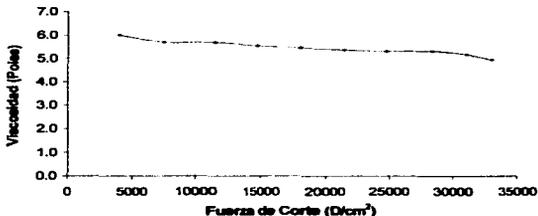


Gráfico 7 (c). Curva de flujo newtoniano, sistema de Glicerina

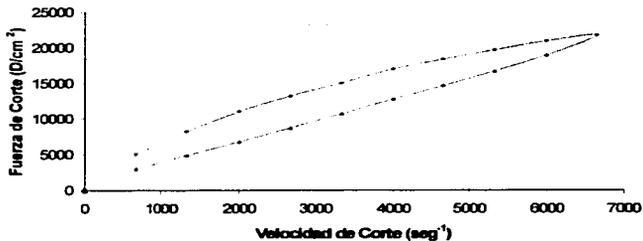


Gráfico 8 (a). Ciclo del comportamiento reológico de la mezcla al 1% p/v de mucilago licofizado en glicerina. Temperatura 25 °C

--- Ascenso → Descenso

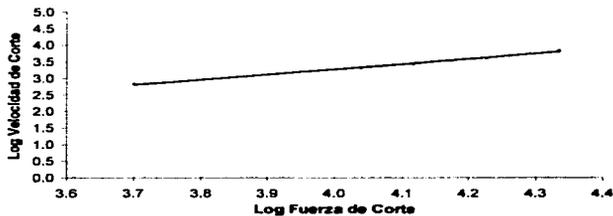


Gráfico 8 (b). Curva de flujo para el sistema mucilago-glicerina 1.0% p/v

$$y = 1.5623 x - 2.986$$

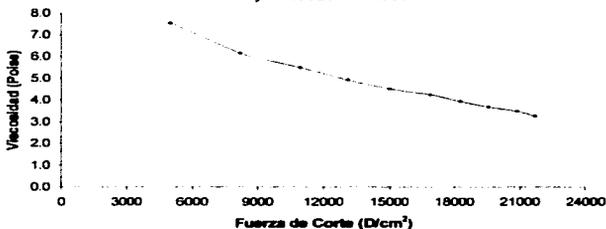


Gráfico 8 (c). Curva de flujo pseudoplástico, sistema de mucilago-glicerina al 1% p/v.

#### 4.5. Pruebas de hidratación y deshidratación.

Se realizaron dos pruebas para determinar el efecto hidratante y deshidratante de la formulación con el mucílago sobre la piel de los panelistas de prueba. Se comparo este comportamiento con el presentado por una formulación con glicerina y con la formulación de glicerina y mucílago. Los resultados se muestran en las tablas VII a XII y gráficos 9 a 14 para la prueba de hidratación al nivel del estrato corneo y en los gráficos 15 a 20 y tablas XIII a XVIII para la prueba de la pérdida de agua transepidérmica.

##### 4.5.1. Pruebas para de determinar la hidratación al nivel del estrato córneo.

Tabla VII. Datos del estudio:

Iniciales del participante	Edad (años)	Fecha de medición	Hora de inicio	Temp.Amb. (°C)	Area medida				
					T	B	M	G	M-G
EGR	20	21-01-01	11:20	17	AD	AD	AI	AI	AI
MGR	16	21-01-01	11:20	17	AD	AD	AI	AI	AI
RGR	46	21-01-01	11:20	17	AD	AD	AI	AI	AI
FIR	16	21-01-01	11:20	17	AD	AD	AI	AI	AI
NOB	24	21-01-01	11:20	17	AD	AD	AI	AI	AI

AD: Antebrazo derecho.

AI: Antebrazo izquierdo.

T: Testigo.

B: Formulación Base.

M: Formulación con Mucílago.

G: Formulación con Glicerina.

M-G: Formulación con Mucílago y Glicerina.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Muestra : sin aplicación de crema, testigo.

Duración de la prueba: 4 horas

Tabla VIII. Resultados obtenidos: Testigo

Iniciales de los participantes	Valor inicial	30 min.	60 min.	90 min.	120 min.	180 min.	240 min.
EGR	10	13	22	19	18	27	28
MGR	1,0	0,0	6,0	5,0	9,0	11	12
RGR	25	35	36	41	38	37	39
FIR	12	35	21	25	30	27	28
NOB	22	14	24	27	27	28	32
<b>PROMEDIO</b>	<b>14</b>	<b>19</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>26</b>	<b>28</b>

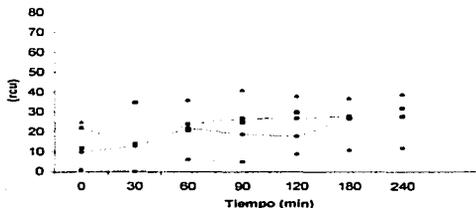


Gráfico 9 (a). Comportamiento de la hidratación al nivel de estrato córneo de los participantes individuales para el testigo

• EGR • MGR • RGR • FIR • NOB

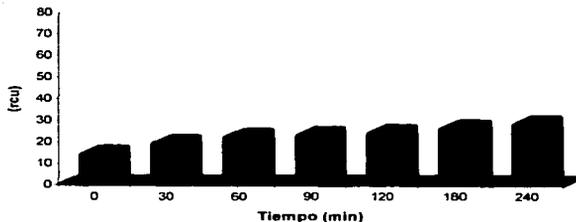


Gráfico 9 (b). Comportamiento promedio de la hidratación a nivel de estrato córneo (histograma para el testigo)

Muestra : crema base sin hidratante.

Duración de la prueba: 4 horas

Tabla IX. Resultados obtenidos: Base

Iniciales de los participantes	Valor inicial	30 min.	60 min.	90 min.	120 min.	180 min.	240 min.
EGR	12	43	42	42	40	46	46
MGR	5.0	24	26	22	28	25	23
RGR	23	39	34	41	48	51	44
FIR	12	39	32	33	34	31	26
NOB	28	35	41	41	43	44	35
PROMEDIO	16	36	35	36	39	40	35

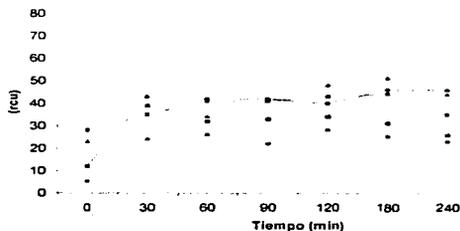


Gráfico 10 (a). Comportamiento de la hidratación al nivel de estrato córneo de los participantes individuales para la muestra de crema base sin hidratante

○ EGR ● MGR □ RGR ▲ FIR ◇ NOB

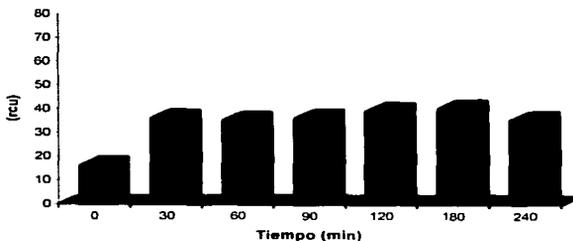


Gráfico 10 (b). Comportamiento promedio de la hidratación a nivel de estrato córneo (histograma para la muestra base sin hidratante)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Muestra : crema con mucilago al 5% p/v como hidratante.

Duración de la prueba: 4 horas

Tabla X. Resultados obtenidos: Mucilago

iniciales de los participantes	Valor inicial	30 min.	60 min.	90 min.	120 min.	180 min.	240 min.
EGR	55	47	31	42	47	46	51
MGR	6.0	21	21	21	25	23	24
RGR	18	44	44	41	44	38	36
FIR	22	30	34	36	35	37	31
NOB	31	39	46	45	47	47	44
<b>PROMEDIO</b>	<b>26</b>	<b>36</b>	<b>35</b>	<b>37</b>	<b>40</b>	<b>38</b>	<b>37</b>

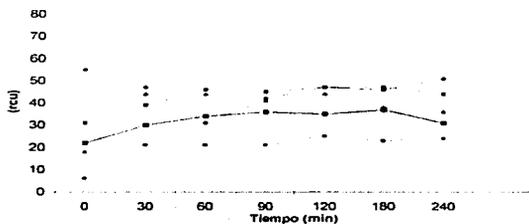


Gráfico 11 (a). Comportamiento de la hidratación a nivel de estrato córneo de los participantes individuales para la muestra de crema con mucilago 5%

--- EGR • MGR • RGR • FIR • NOB

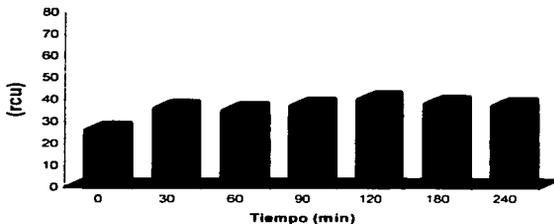


Gráfico 11 (b). Comportamiento promedio de la hidratación a nivel de estrato córneo (histograma para la muestra con mucilago 5% como hidratante)

Muestra : crema con glicerina como hidratante.

Duración de la prueba: 4 horas

Tabla XI. Resultados obtenidos: Glicerina

Iniciales de los participantes	Valor Inicial	30 min.	60 min.	90 min.	120 min.	180 min.	240 min.
EGR	9.0	55	53	52	52	53	52
MGR	6.0	35	37	38	41	42	36
RGR	18	52	49	46	59	61	64
FIR	13	54	45	51	44	43	38
NOB	29	54	55	57	54	52	63
<b>PROMEDIO</b>	<b>15</b>	<b>50</b>	<b>48</b>	<b>49</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>51</b>

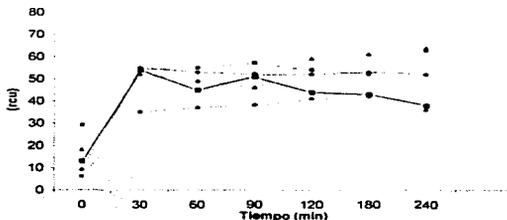


Gráfico 12 (a). Comportamiento de hidratación al nivel de estrato córneo en los participantes individuales para la muestra de crema con glicerina

--- EGR    - MGR    + RGR    ■ FIR    • NOB

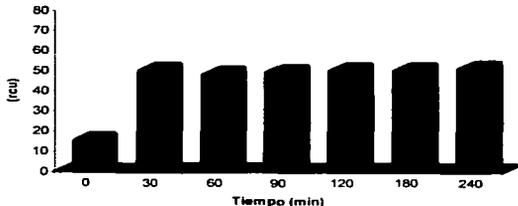


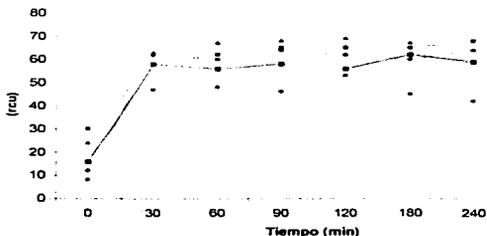
Gráfico 12 (b). Comportamiento promedio de la hidratación a nivel de estrato córneo (histograma para la muestra con glicerina como hidratante)

Muestra : crema con mucilago-glicerina como hidratante.

Duración de la prueba: 4 horas

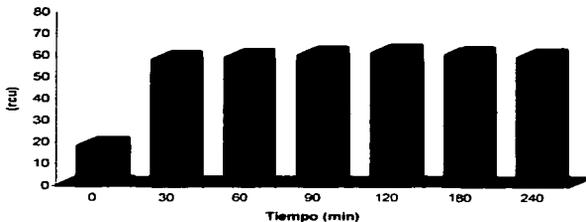
**Tabla XII. Resultados obtenidos: Mucilago-Glicerina**

Iniciales de los participantes	Valor inicial	30 min.	60 min.	90 min.	120 min.	180 min.	240 min.
EGR	12	62	60	64	62	60	64
MGR	8.0	47	48	46	53	45	42
RGR	24	63	67	68	69	67	64
FIR	16	58	56	58	56	62	59
NOB	30	58	62	65	65	65	68
<b>PROMEDIO</b>	<b>18</b>	<b>58</b>	<b>59</b>	<b>60</b>	<b>61</b>	<b>60</b>	<b>59</b>



**Gráfico 13 (a).** Comportamiento de hidratación al nivel de estrato córneo en los participantes individuales para la muestra de crema con mucilago-glicerina

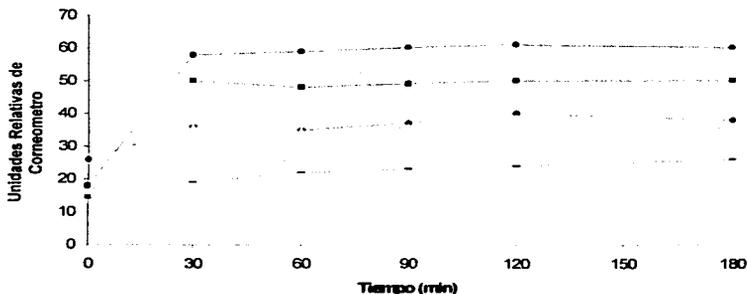
• EGR • MGR • RGR • FIR • NOB



**Gráfico 13 (b).** Comportamiento promedio de la hidratación a nivel de estrato córneo (histograma para la muestra con mucilago-glicerina como hidratante)

**Tabla XIII. Resultados promedio de hidratación al nivel de estrato córneo obtenidos para cada una de las muestras de crema aplicadas.**

MUESTRA	0 min.	30 min.	60 min.	90 min.	120 min.	180 min.	240 min.
Mucilago	18	58	59	60	61	60	59
Glicerina	15	50	48	49	50	50	51
Mucilago	26	36	35	37	40	38	37
Base	16	36	35	36	39	40	35
Testigo	14	19	22	23	24	26	28



**Gráfico 14. Comportamiento promedio de la hidratación al nivel del estrato córneo para cada muestra aplicada.**

●-●- Mucilago-Glicerina    ■ Glicerina    ◆ Mucilago 5%    ▲ Base    × Testigo

TESIS CON  
FALLA DE CUBRIR

4.5.2. Prueba para determinar la pérdida de agua transepidermal.

Tabla XIV. Datos del estudio:

Iniciales del participante	Edad (años)	Fecha de medición	Hora de inicio	Temp.Amb. (°C)	Area medida				
					T	B	M	G	M-G
MCD	26	14-02-01	2:00	24	AD	AD	AI	AI	AI
CRD	24	13-02-01	2:30	23	AD	AD	AI	AI	AI
APM	23	15-02-01	3:00	24	AD	AD	AI	AI	AI
STS	26	12-02-01	3:00	25	AD	AD	AI	AI	AI
RGR	24	08-02-01	12:30	24	AD	AD	AI	AI	AI

AD: Antebrazo derecho.

AI: Antebrazo izquierdo.

T: Testigo.

B: Formulación Base.

M: Formulación con Muclago.

G: Formulación con Glicerina.

M-G: Formulación con Muclago y Glicerina.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Muestra : sin aplicación de crema, testigo.

Duración de la prueba: 2.5 horas

Tabla XV. Resultados obtenidos: Testigo

Iniciales de los participantes	Valor inicial	30 min.	60 min.	90 min.	120min	150 min.
MCD	15.84	17.00	18.95	15.66	16.76	17.08
CDR	7.360	7.484	11.55	11.24	12.22	11.61
APM	9.232	9.097	8.220	13.02	8.967	9.159
STS	10.16	12.40	11.53	12.16	10.54	11.48
RGR	10.12	11.29	12.12	11.90	12.13	11.34
<b>PROMEDIO</b>	<b>10.54</b>	<b>11.45</b>	<b>12.47</b>	<b>12.79</b>	<b>12.12</b>	<b>12.13</b>

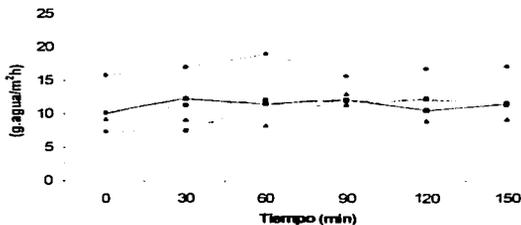


Gráfico 15 (a). Comportamiento de la pérdida de agua transepidermal de los participantes individuales para el testigo

• MCD • CDR • APM • STS • RGR

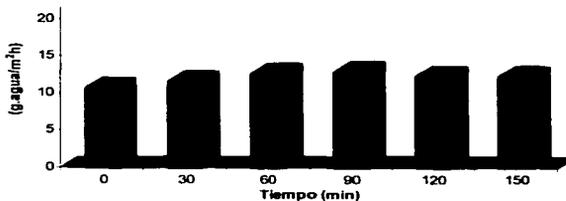


Gráfico 15 (b). Comportamiento promedio de la pérdida de agua transepidermal (histograma para el testigo)

Muestra : crema base sin hidratante.

Duración de la prueba: 2.5 horas

Tabla XVI. Resultados obtenidos: Base

Iniciales de los participantes	Valor inicial	30 min.	60 min.	90 min.	120min	150 min.
MCD	15.00	17.94	17.04	16.29	17.81	16.20
CDR	6.980	13.25	11.51	12.21	11.63	12.05
APM	8.937	12.58	10.85	14.49	11.73	11.80
STS	10.50	14.03	11.70	11.85	12.44	10.57
RGR	10.64	12.18	11.08	10.93	10.47	9.758
PROMEDIO	10.41	13.99	12.43	13.16	12.81	12.03

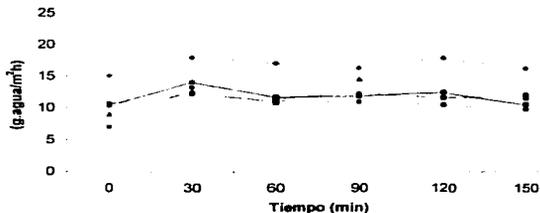


Gráfico 16 (a). Comportamiento de la pérdida de agua transepidermal de los participantes individuales para la crema base sin hidratante

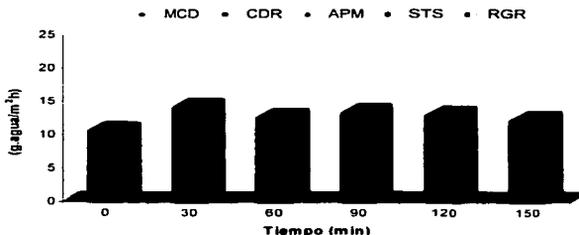


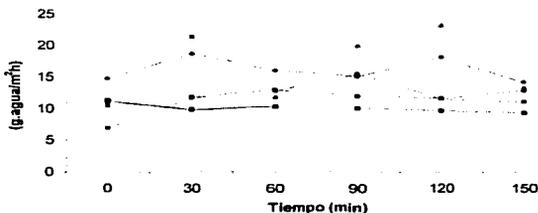
Gráfico 16 (b). Comportamiento promedio de la pérdida de agua transepidermal (histograma para la crema base sin hidratante)

Muestra : crema con mucílago al 5% p/v como hidratante.

Duración de la prueba: 2,5 horas

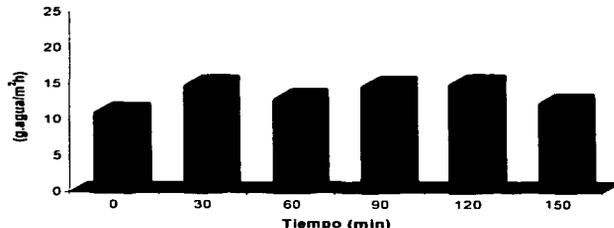
**Tabla XVI. Resultados obtenidos: Mucílago.**

Iniciales de los participantes	Valor inicial	30 min.	60 min.	90 min.	120min	150 min.
MCD	14.73	18.66	16.05	15.11	18.09	14.14
CDR	6.873	11.80	12.92	12.00	11.62	12.91
APM	10.42	11.78	11.85	20.00	23.15	13.26
STS	11.26	9.833	10.35	10.09	9.651	9.332
RGR	10.87	21.32	12.84	15.50	11.55	11.06
<b>PROMEDIO</b>	<b>10.83</b>	<b>14.68</b>	<b>12.80</b>	<b>14.54</b>	<b>14.81</b>	<b>12.14</b>



**Gráfico 17 (a).** Comportamiento de la pérdida de agua transepidermal de los participantes individuales para la crema con mucílago 5%.

••• MCD • CDR ••• APM • STS • RGR



**Gráfico 17 (b).** Comportamiento promedio de la pérdida de agua transepidermal (histograma para el mucílago)

Muestra : crema con glicerina como hidratante

Duración de la prueba: 2.5 horas

Tabla XVII. Resultados obtenidos: Glicerina

Iniciales de los participantes	Valor inicial	30 min.	60 min.	90 min.	120min	150 min.
MCD	14.87	19.33	15.88	12.87	18.32	16.93
CDR	8.850	13.53	10.93	10.26	11.29	10.91
APM	10.12	16.74	21.44	14.82	15.51	12.75
STS	10.18	11.32	12.46	12.55	12.47	11.32
RGR	9.870	10.80	12.21	10.36	9.120	9.448
<b>PROMEDIO</b>	<b>10.77</b>	<b>14.34</b>	<b>14.58</b>	<b>12.17</b>	<b>13.34</b>	<b>12.27</b>

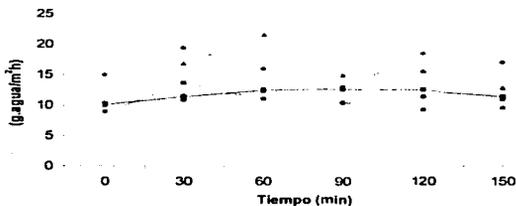


Gráfico 18 (a). Comportamiento de la pérdida de agua transepidermal de los participantes individuales para la crema con glicerina.

• MCD • CDR • APM • STS • RGR

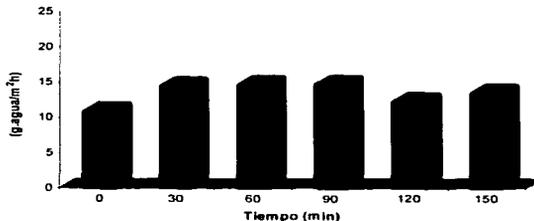


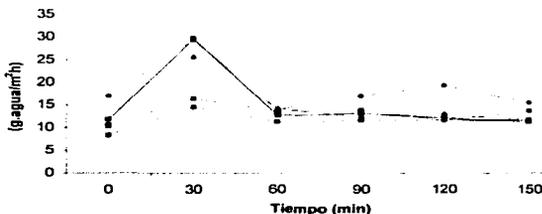
Gráfico 18 (b). Comportamiento promedio de la pérdida de agua transepidermal (histograma para la glicerina)

Muestra : crema con mucilago y glicerina como hidratante

Duración de la prueba: 2.5 horas

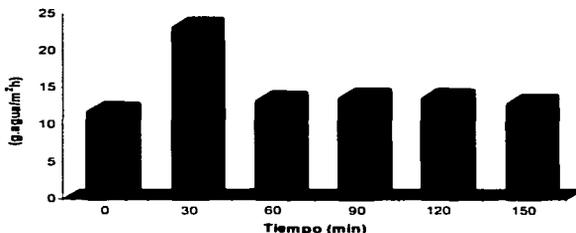
**Tabla XVIII. Resultados obtenidos: Mucilago-Glicerina**

Iniciales de los participantes	Valor inicial	30 min.	60 min.	90 min.	120min	150 min.
MCD	16.92	29.29	13.94	16.98	19.18	15.50
CDR	8.350	14.54	11.26	11.56	11.56	11.71
APM	10.36	25.68	14.13	12.35	12.98	11.48
STS	11.84	29.67	12.66	13.15	12.04	11.26
RGR	10.68	16.41	13.61	13.83	11.55	13.67
<b>PROMEDIO</b>	<b>11.63</b>	<b>23.12</b>	<b>13.12</b>	<b>13.57</b>	<b>13.46</b>	<b>12.72</b>



**Gráfico 19 (a).** Comportamiento de la pérdida de agua transepidermal de los participantes individuales para la crema con mucilago y glicerina.

--- MCD • CDR • APM • STS • RGR



**Gráfico 19 (b).** Comportamiento promedio de la pérdida de agua transepidermal (histograma para el mucilago y glicerina)

Tabla XIX. Resultados promedio obtenidos para la pérdida de agua transepidermal de cada una de las muestras aplicadas.

Muestra	0 min.	30 min.	60 min.	90 min.	120 min.	150 min.
Mucilago Glicerina	11.63	23.12	13.12	13.57	13.46	12.72
Glicerina	10.77	14.34	14.58	12.17	13.34	12.27
Mucilago	10.83	14.68	12.80	14.54	14.81	12.14
Base	10.41	13.99	12.43	13.15	12.81	12.03
Testigo	10.54	11.45	12.47	12.79	12.12	12.13

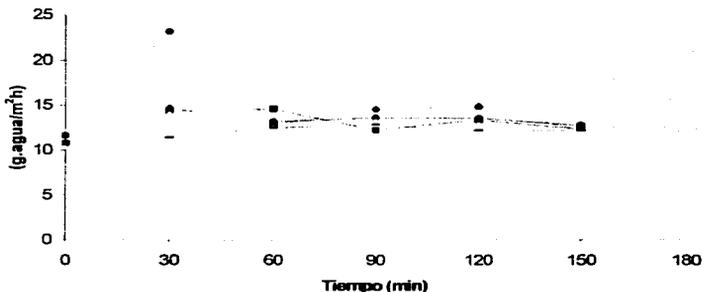


Gráfico 20 . Comportamiento promedio de la pérdida de agua transepidermal para cada muestra aplicada.

● Mucilago-Glicerina ■ Glicerina ▲ Mucilago 5% — Base - Testigo

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

#### 4.6. Desviación standard de los resultados de las pruebas de hidratación y deshidratación.

##### 4.6.1. Efecto hidratante al nivel del estrato córneo.

Se calculó la desviación standard de los resultados de hidratación de las muestras de crema aplicadas sobre la piel de los participantes, los resultados se muestran en los gráficos 21 a 25.

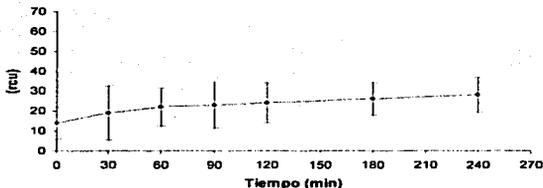


Gráfico 21. Desviación standard de los resultados de hidratación al nivel del estrato córneo del testigo

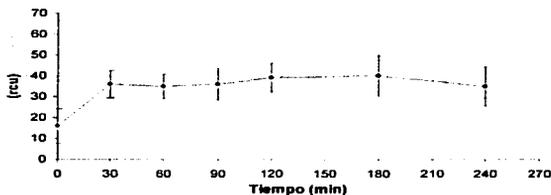
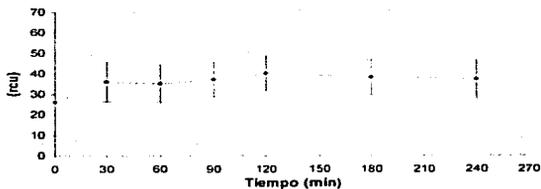
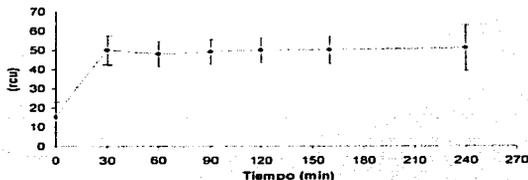


Gráfico 22. Desviación standard de los resultados de hidratación al nivel del estrato córneo de la crema base

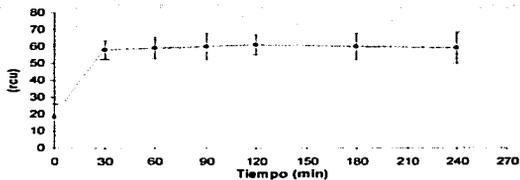
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



**Gráfico 23.** Desviación estándar de los resultados de hidratación al nivel del estrato córneo de la crema con mucilago 5%.



**Gráfico 24.** Desviación estándar de los resultados de hidratación al nivel del estrato córneo para la crema con glicerina



**Gráfico 25.** Desviación estándar de los resultados de hidratación al nivel del estrato córneo de la crema con mucilago y glicerina

#### 4.6.2. Efecto de la pérdida de agua transepidermal.

Se calculó la desviación standard de los resultados de deshidratación de las muestras de crema aplicadas sobre la piel de los participantes, los resultados se muestran en los gráficos 26 a 30.

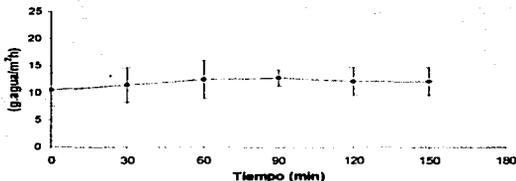


Gráfico 26. Desviación standard de los resultados de deshidratación transepidermal para el testigo.

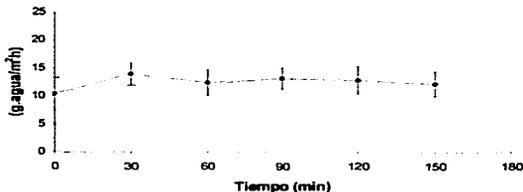


Gráfico 27. Desviación standard de los resultados de deshidratación transepidermal para la crema base sin hidratante.

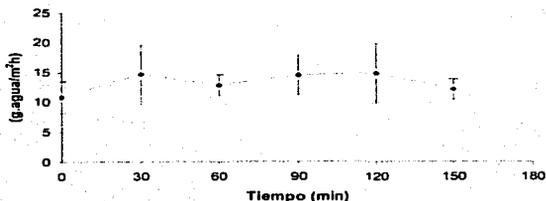


Gráfico 28. Desviación standard de los resultados de deshidratación transepidermal para la crema con mucilago 5%.

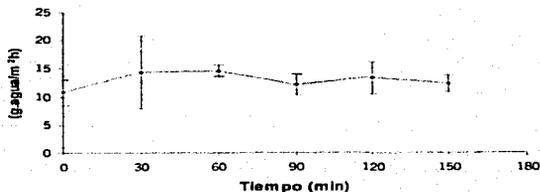


Gráfico 29. Desviación standard de los resultados de deshidratación transepidermal para la crema con glicerina.

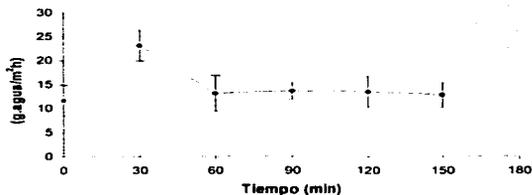


Gráfico 30. Desviación standard de los resultados de deshidratación transepidermal para la crema con mucilago y la glicerina

#### 4.7. Comportamiento reológico de las cremas con mucílago y glicerina.

Se obtuvieron experimentalmente los parámetros reológicos de la crema con mucílago y la mezcla de mucílago y glicerina como agentes hidratantes. Los resultados fueron comparados con los resultados obtenidos de la reología de la crema base sin hidratante y de la crema con glicerina como hidratante. Los resultados se muestran en los gráficos 31-34 y la tabla XX.

**Tabla XX.** Parámetros reológicos (valor de corte  $\zeta_v$ , viscosidad  $\eta$  y área de histeresis H) de las cremas determinados experimentalmente.

*Parámetros reológicos después de tres meses de almacenamiento.*

Muestra	$\zeta_v$ (D/cm <sup>2</sup> ) a 0 seg <sup>-1</sup>	$\zeta_v$ (D/cm <sup>2</sup> ) a 666.67 seg <sup>-1</sup>	$\eta$ (poise) a 666.67 seg <sup>-1</sup>	$\eta$ (poise) a 6666.65 seg <sup>-1</sup>	H (cm <sup>2</sup> )
Base	543.82	700	1.05	0.23	23.56
Mucílago	745.69	800	1.20	0.27	14.96
Mucílago y Glicerina	669.36	700	1.05	0.26	6.83
Glicerina	502.85	900	1.34	0.26	30.24

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

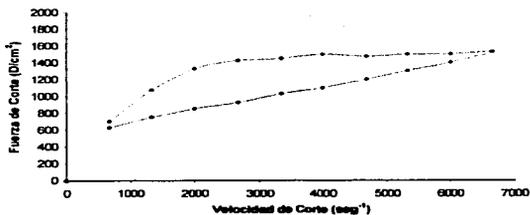


Gráfico 31 (a). Ciclo del comportamiento reológico de la crema base sin hidratante

--- Ascenso --- Descenso

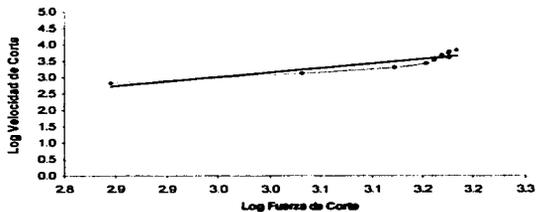


Gráfico 31 (b). Curva de flujo para el sistema de la crema base sin hidratante.

$$y = 2.7404x - 5.0688$$

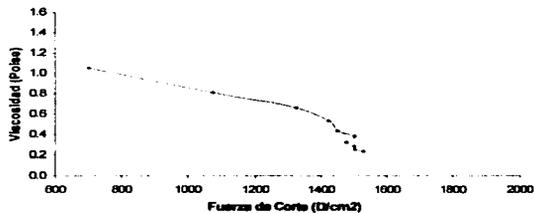


Gráfico 31.(c) Curva de flujo pseudoplástico, sistema de la crema base sin hidratante

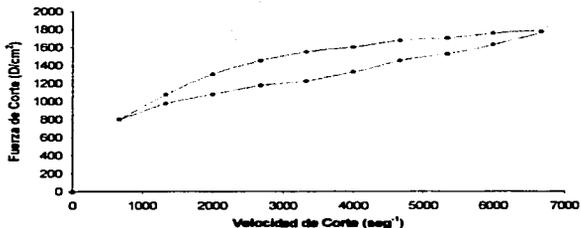


Gráfico 32 (a). Ciclo del comportamiento reológico de la crema con mucilago 5% como hidratante

—○— Ascenso —●— Descenso

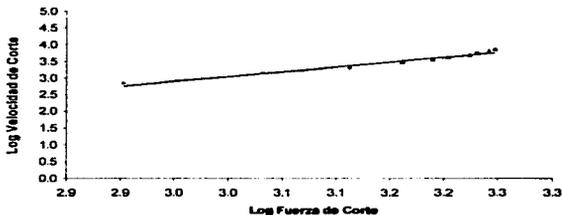


Gráfico 32 (b). Curva de flujo para el sistema de la crema con mucilago como hidratante.

$$y = 2.8222x - 5.4246$$

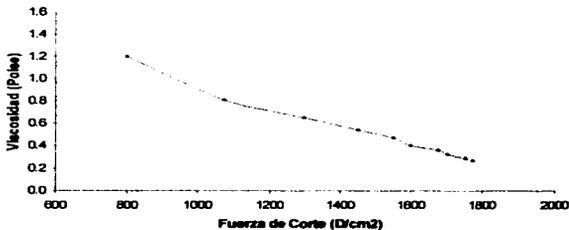


Gráfico 32 (c) Curva de flujo pseudoplástico, sistema de la crema con mucilago 5% como hidratante

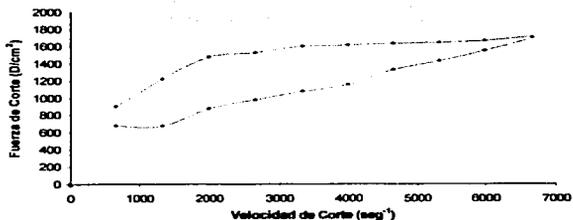


Gráfico 33 (a). Ciclo del comportamiento reológico de la crema con glicerina como hidratante

•• Ascenso — Descenso

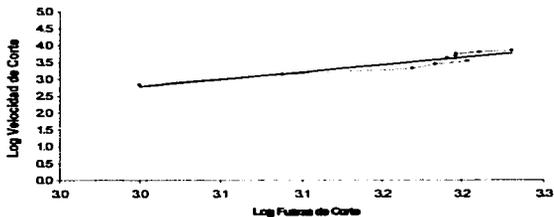


Gráfico 33 (b). Curva de flujo para el sistema de la crema con glicerina como hidratante.

$$y = 3.4687x - 7.0058$$

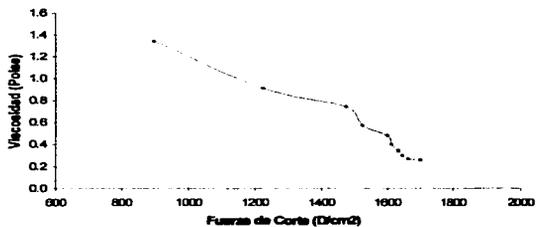


Gráfico 33 (c) Curva de flujo pseudoplástico, sistema de la crema con glicerina hidratante

TRABAJO COMPLETO  
FALLA DE ORIGEN

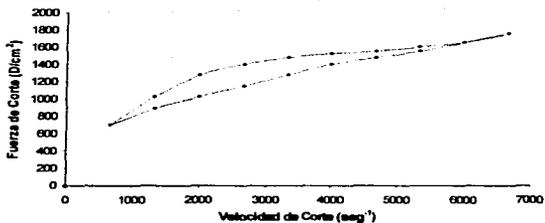


Gráfico 34 (a). Ciclo del comportamiento reológico de la crema con mucilago y glicerina como hidratantes.

-- Ascenso -- Descenso

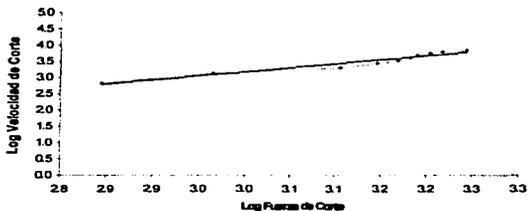


Gráfico 34 (b). Curva de flujo para el sistema de la crema con mucilago y glicerina como hidratantes.

$$y = 2.5768x - 4.5888$$

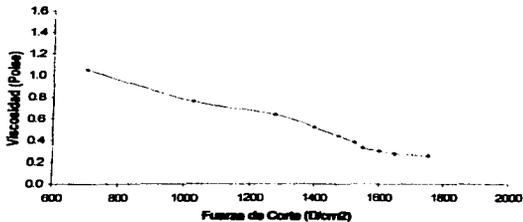


Gráfico 34 (c) Curva de flujo pseudoplástico, sistema de la crema con mucilago y glicerina como hidratantes

## CAPITULO IV

### DISCUSIÓN

Las características físicas del polvo liofilizado obtenido de la extracción corresponden a las reportadas por otros autores (6,16,17). El rendimiento del proceso de extracción fue de 0.036%, mayor al reportado por otros investigadores, Rosa Pérez (15) 0.0275%. El rendimiento de extracción, puede ser aumentado si las condiciones de crecimiento de la planta son las óptimas y si el tiempo de contacto con el disolvente bajo agitación es mas prolongado.

Los resultados obtenidos en la determinación de las solubilidades del mucílago liofilizado, corresponden con la clasificación general del mucílago de *Opuntia ficus*, insoluble en solventes orgánicos, parcialmente soluble en agua y aumenta la solubilidad en soluciones alcalinas. Cabe destacar que la solubilidad de los mucílagos, se refiere a la capacidad de poder dispersarse en el medio y no a la formación de un sistema estrictamente translúcido. La solubilidad de un soluto en compuestos orgánicos o en agua, se atribuye a la formación de enlaces de hidrógeno (solvatación), sin embargo la insolubilidad del mucílago en solventes orgánicos se explica por que estas moléculas de solvente actúan como ácidos débiles, lo que impide la formación de enlaces tipo puentes de hidrógeno con el mucílago.

En su estado natural, el mucílago se encuentra complejoado con iones de calcio (unidos posiblemente a los grupos hidroxilo de la macromolécula), los iones calcio unidos de manera intramolecular originan una autorepulsión lo que permiten el estiramiento y rigidez de la cadena, además la presencia de estos cationes permite la polimerización del polisacárido y es evidente que la viscosidad del mucílago en esta condición, será muy alta. Durante la extracción, los iones calcio son eliminados y los grupos hidroxilo quedan libres originando que las cargas negativas de estos ocasionen una repulsión intramolecular, la cadena se estirara, pero también la formación de puentes intramoleculares originados por la presencia de grupos hidroxilo libres, originan el encogimiento de la cadena; existe entonces una competencia entre una acción repulsora y atractora dentro de la macromolécula.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Las moléculas que cuentan con una constante dieléctrica alta, tienen la facilidad de separar iones de cargas opuestas. La glicerina y el agua pueden formar puentes de hidrógeno intermoleculares e intramoleculares originando la formación de una red tridimensional entrelazada, presentando momentos dipolares aumentados que les permiten actuar como un agente receptor o atractor de hidrógenos de otras moléculas.

En un solvente adecuado como en agua o glicerina el mucílago liofilizado se puede dispersar por que estas sustancias (con constantes dieléctricas altas), probablemente permiten la separación de cargas, disminuyendo la formación de puentes intramoleculares en el mucílago y favoreciendo la formación de puentes de intermoleculares entre las moléculas de mucílago y de solvente. Situación semejante ocurre con el mucílago disuelto en solución de hidróxido de sodio. Con el solvente adecuado, el mucílago se puede extender en una red entrelazada por la generación de puentes de hidrógeno con otras cadenas, (de agua, mucílago o glicerina) atrayéndolas y aumentando la viscosidad por la imposibilidad de deslizamiento de las capas moleculares entre sí.

Las pruebas de retención de agua muestran gráficamente un comportamiento análogo de las soluciones de mucílago al 1% comparados con los humectantes de uso común. El gráfico 1, muestra que la concentración utilizada bajo esta humedad relativa (HR 20%) no previene la desecación, se observa una pérdida continua del peso de las muestras, esto es evidente por que aún los materiales altamente higroscópicos (glicerina, transcuto y propilenglicol) presentan esta tendencia de desecación. El gráfico 2 (HR 74%), muestra un efecto de desecación, solo que la deshidratación de las soluciones es menor, aquí el poder de retención de agua del mucílago es ligeramente bajo, comparado con los humectantes de uso común, sin embargo la diferencia no es muy marcada. El gráfico 3 (HR 87%), mostró que en estas condiciones no existen diferencias importantes entre los comportamientos mostrados para todos los materiales evaluados.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Se realizó el análisis estadístico para demostrar si existen diferencias significativas entre el extracto y los humectantes comerciales. El estudio se realizó con un nivel de confianza de 0.5% y  $n-2$  grados de libertad (apéndice V). La prueba de hipótesis de comparación de pendientes confirma la semejanza que existe entre las propiedades humectantes del extracto estudiado y los humectantes de uso común utilizados como referencia, es decir no hay diferencias significativas por la pérdida de humedad entre ellos. Los gráficos 1, 2 y 3 demuestran que existe un comportamiento análogo entre las soluciones de mucílago y los humectantes de uso comercial cuando son expuestos a tres diferentes condiciones de deshidratación. Este comportamiento análogo sugiere que el mucílago en solución posee una alta capacidad para retener agua, lo que podría reflejarse en un significativo efecto dermohidratante. La prueba de retención de agua resultó muy indicativa de las reales expectativas y potencialidad de los materiales de estudio.<sup>134,35)</sup>

Se obtuvieron experimentalmente los parámetros reológicos de las dispersiones de mucílago. Las curvas de flujo obtenidas mostraron un comportamiento no newtoniano del tipo pseudoplástico con tixotropía (gráficos 4 a 8); en el caso de la glicerina aún cuando las citas bibliográficas lo muestran como un líquido netamente newtoniano, los resultados indicaron que la glicerina utilizada en el estudio es un líquido que presenta una pequeña área de histeresis y una curva de flujo pseudoplástica, gráficos 7 (a), (b) y (c).

Las curvas de flujo obtenidas para los sistemas se ajustan a la ecuación de potencia, inclusive la curva de flujo de la glicerina. Los resultados de "n", obtenidos experimentalmente y mostrados en la tabla VI, demuestran el flujo pseudoplástico de los sistemas de mucílago y mucílago-glicerina. La glicerina fue el sistema con mayor acercamiento al flujo newtoniano ( $n=1.07$ ), y el menos newtoniano para el sistema que contenía mucílago en una concentración de 5.0% ( $n=3.22$ ).

En la tabla VI, se observa que hay una relación entre la concentración y el índice de desviación del comportamiento newtoniano de flujo (n). El sistema de mayor concentración de mucílago (5.0%) es más pseudoplástico que el sistema de concentración al 2.5%, y este a su vez menos que el sistema al 1.0%. La proporción de la concentración con respecto a la

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

viscosidad se cumple de manera explícita; al aumentar la concentración, la viscosidad aumenta debido a la mayor cantidad de moléculas en el solvente, el sistema se resiste a fluir. La rigidez de la conformación adoptada o bien la presencia de entrecruzamientos físicos o enlaces débiles (intra e intermoleculares), están favorecidas por la cercanía que hay entre las moléculas. La combinación de mucílago y glicerina presenta el mayor coeficiente de viscosidad de todos los sistemas, por lo que puede ser considerado como un potencial agente dermohidratante.

Los gráficos de viscosidad contra la fuerza de corte para todos los sistemas demostraron que su viscosidad disminuye conforme aumenta la fuerza del corte. Este comportamiento se debe en gran parte al entretrejo de las largas moléculas filiforme y a la ruptura progresiva de la estructura del medio cuando aumenta el corte. La reconstrucción de dicha estructura se efectúa por medio del movimiento browniano cuando el sistema esta en reposo.

La adición de mucílago a la glicerina origina la formación de una mezcla con propiedades viscoelásticas. El comportamiento reológico, desde el punto de vista técnico no había sido investigado y el hecho que una mezcla homogénea se ha formado, sugiere que un tipo de interacción se llevó a cabo. Se determino la viscosidad inicial y final para una mezcla de mucílago y glicerina al 1% p/v (tabla VI), los resultados muestran mayor viscosidad para este sistema. Bajo el estado de reposo o equilibrio el sistema exhibe propiedades reológicas similares a los de la glicerina incluso son mayores. Sin embargo su comportamiento no es del todo estable cuando es sometido a una fuerza, sus enlaces químicos son debilitados permitiendo la fluidez de la mezcla.

Ha sido demostrado, que todos los carbohidratos que tienen dos grupos hidroxilo vecinos sobre un anillo de seis miembros muestran alguna movilidad electroforética, indicativo de la presencia de moléculas con carga aniónica o catiónica<sup>(36)</sup>. En la estructura del núcleo del mucílago hay grupos hidroxilo vecinos y grupos ácidos quienes pueden interaccionar con los grupos presentes en el glycerol (glicerina) de estructura muy semejante a la del mucílago. La formación de geles es permitida por la interpenetración de dos fases continuas una de las cuales es sólida y consiste de una cadena larga y flexible de alto peso molecular

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

que tiende a ser entrecruzada, atrayendo una a otra por fuerzas de balance secundarias, y la otra es líquida. Así, la atracción entre las moléculas de mucilago y glicerina, se debe a la presencia de grupos con carga que permiten el entrecruzamiento y formación de redes, posiblemente el grupo ácido del mucilago funciona como carga positiva atrayendo y coordinándose con los grupos pertenecientes a las moléculas del glicerol. Sin embargo el debilitamiento en la viscosidad mostrada por la mezcla cuando es sometida a una fuerza permite pensar que los enlaces formados son débiles y fácilmente la formación del gel puede ser reversible. Sin embargo, el mucilago por si solo puede formar geles mecánicamente resistentes, la existencia de iones calcio en el mucilago conduce a pensar que estos son los responsables del entrecruzamiento de la macromolécula en su estado natural permitiendo la formación de un gel permanente estabilizado por fuerzas de balance primarias.

Comparando el reograma de la glicerina y el trazado para la mezcla de mucilago y glicerina, se observa que la adición de mucilago a la glicerina tiene una función plastificante (la glicerina usada como estructura matriz y el mucilago como plastificador). La glicerina tiene un flujo muy cercano al newtoniano el cual es transformado al tipo pseudoplástico al adicionar el mucilago. El área de histeresis mostrado en el reograma de mucilago y glicerina es más amplia (tabla VI) que el presentado por la glicerina, esto indica que en el sistema mucilago y glicerina se construye una red altamente entrelazada y que se pensaba fuera mecánicamente más resistente y mantuviese la alta viscosidad mostrada. Por lo antes mencionado se decide utilizar una combinación de mucilago y de glicerina mayor al 1% p/v como potencial agente hidratante, que permitirá la extensión de una capa dermohidratante sobre la piel y que mecánicamente deberá permanecer sobre la misma para mostrar el efecto esperado.

Este estudio de hidratación, permitió mostrar si la adición de un agente humectante de similares características a los de uso convencional, tienen una influencia en el desempeño de la formulación a la cual fue incorporado. Las sustancias manejadas como hidratantes que fueron incorporadas en la formulación están basadas en la funcionalidad individual de estos ingredientes para proveer un específico cuidado y beneficio en la piel. En el presente

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

trabajo, los beneficios fueron altamente observables bajo el estudio de hidratación de la piel al nivel del estrato córneo, no así para los estudios de la pérdida de agua transepidermal, donde las diferencias no fueron significativas.

Tomando en cuenta:

$$DR_{II} (\%) = (\text{Form. } t_{1x} - \text{CN } t_{1x} / \text{CP } t_{1x} - \text{CN } t_{1x}) \times 100$$

Donde:

$DR_{II} (\%)$  = Desempeño relativo de hidratación

Form.  $t_{1x}$  = Respuesta de la formulación a un tiempo x.

CN  $t_{1x}$  = Control negativo a un tiempo x

CP  $t_{1x}$  = Control positivo a un tiempo x

La formulación que contenía glicerina como agente humectante, fue considerada como el 100 % del desempeño relativo del agente, control positivo, y el control negativo fue la piel sin aplicación de alguna sustancia, 0%. De forma arbitraria se estableció que aquellos ingredientes con capacidades de humectación de al menos un 70% son ingredientes considerados como buenos agentes humectantes. Aquellos con valores entre 30 y 70% serán agentes medios, y aquellos con valores por abajo del 30%, son considerados como productos con un bajo desempeño. La tabla XIII, muestra los resultados del estudio, donde se observa que hay una diferencia significativa positiva de humectación para la formulación que contiene la mezcla de glicerina y mucílago como agente humectante (142.30%). El desempeño mostrado por la formulación con mucílago es medio (61.53%), pero semejante al mostrado por la formulación base (57.69%). Esta similitud permite pensar que no hay un efecto en la formulación debida a su inclusión. Podría ser que la concentración de mucílago utilizada en esta, no fue la suficiente para mostrar un efecto sobre la piel, ó que la concentración de la dispersión de mucílago (5%) se hizo menor al integrarse con el agua de la formulación. De cualquier forma, la formulación con mucílago no expresó la capacidad humectante de la cual se presumía durante las pruebas de retención de agua. Claramente el estudio no provee la suficiente evidencia para demostrar que el aumento del desempeño relativo de una formulación con mucílago puede correlacionarse con la concentración del agente humectante. Para estar suficientemente seguro, se deben establecer estudios de

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

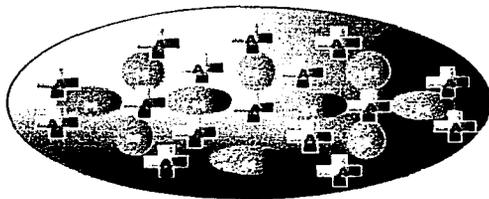
humectación tomando como variable cantidades diferentes de mucílago, incluidas en formulaciones del mismo tipo, los resultados de humectación de las formulaciones conteniendo porcentajes incrementados de agente humectante deben mostrar un efecto proporcional al desempeño relativo de humectación de la formulación.

Otra interesante observación fue el hecho que un valor de humectación medio (57.69%), es provisto por la formulación que no tiene un agente humectante incluido, lo que sugiere que no únicamente los humectantes adicionados contribuyen en el desempeño de la formulación. El estudio de humectación muestra que las materias primas utilizadas como base de la formulación tienen al menos un potencial de humectación capaz de provocar un aumento en la hidratación dentro del estrato córneo.

También, es importante resaltar, que el tipo de piel sobre la cual es aplicada la formulación tiene alguna influencia para permitir que esta sea hidratada. Este efecto se observó en los resultados del participante RGR y MGR en la prueba de hidratación al nivel del estrato córneo. Los resultados fueron más evidentes para el participante de mayor edad (RGR), la causa, puede explicarse a las condiciones de envejecimiento de la piel así como también a la costumbre de aplicación de crema sobre el órgano de manera continua, el efecto antes mencionado contrasta con los resultados del participante de menor edad (MGR).

Considerando que la dispersión de mucílago y glicerina presenta una importante viscosidad, se propone que el efecto es debido a la formación de una capa oclusiva fina de humectante sobre la piel, donde la glicerina funciona como plastificante del mucílago, figura 23. <sup>(37,38)</sup>

Posiblemente, la capa oclusiva formada permitió la retención de agua procedente de la transpiración normal y del medio externo (principalmente de la formulación) dilatando su pérdida dérmica y funcionando como un interesante complejo suministrador de agua a la piel (ver gráfico 14).



*Fig. 23. Representación esquemática de la posible estructura formada entre la glicerina, mucílago y agua. Una red polimérica altamente ramificada que permitió la formación de enlaces de hidrógeno con moléculas de agua para que estas difundieran dentro de la piel.*

El estudio de pérdida de agua transepidermal, no mostró una diferencia significativa que determine si la inclusión de agentes humectantes en formulaciones cosméticas contribuyen al desempeño relativo de la formulación. En el gráfico 20, se muestran los resultados de la pérdida de agua transepidermal donde se observa que las formulaciones tienen un efecto oclusivo al ser aplicadas sobre la piel, los valores de deshidratación transepidermal en general se mantienen constantes durante las dos horas y media del estudio. La formulación con la mezcla de mucílago y glicerina presentó un efecto diferente sobre la piel a los 30 minutos de la aplicación de la muestra, probablemente debido a las condiciones físicas de la crema provistas por la inclusión del mucílago y la glicerina. Algunos autores, describen el efecto oclusivo como parte de la funcionalidad mecánica de una crema para el cuidado de la piel, donde su aplicación permite formar una capa oclusiva para mantener la humedad y no permitir la deshidratación.<sup>(28)</sup>

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Las desviaciones estándar calculadas para los resultados de las pruebas de hidratación permiten mostrar que existen diferencias significativas debidas a la variabilidad biológica de cada individuo. Los resultados sugieren que las pruebas deben ser refinadas en cuanto al número de participantes y al número de determinaciones por cada punto, con ello podremos establecer resultados aun más precisos basados en la aplicación de enfoques estadísticos. Sin embargo, el desarrollo de pruebas más controladas, requiere de un mayor número de panelistas y de no solo una persona para su desarrollo, lo que implica tiempo y costos. También, es evidente que el procedimiento y desarrollo de la prueba debe ser modificado para optimizar el proceso de aplicación, muestreo y obtención de resultados.

Los resultados de flujo de todas las muestras de crema bajo estudio mostraron que poseen un valor de corte  $\zeta\gamma$  (tabla XX), indicando que sus redes exhiben una resistencia a una fuerza externa antes de que ellos comiencen a fluir (comportamiento plástico). De acuerdo a lo observado, los valores de corte muestran diferentes niveles de elasticidad para cada formulación que pueden depender del agente hidratante usado, es decir, la sustentividad de las cremas es influenciada por la cantidad y la estructura del agente hidratante incluido en la formulación. La crema con mayor valor de corte fue la que contenía mucílago en una concentración 5% en la formulación, sin embargo esta formulación no presento el mayor desempeño en las pruebas de hidratación. El mayor efecto de hidratación fue obtenido para la mezcla de mucílago y glicerina, la cual tiene un valor de corte menor al mostrado por la formulación con mucílago 5%, por lo que no se puede establecer una correlación categórica entre altos o bajos valores de corte y el desempeño relativo de hidratación de la formulación. Es evidente que todas las formulaciones presentan la formación de un área de histéresis, el cual es comúnmente usado como una medida de la tixotropía. La crema con glicerina, mostró un considerable efecto de tixotropía (tabla XX), indicando la presencia de estructuras que son más susceptibles a debilitarse por el corte. Es importante destacar que el estudio de reología practicado sobre las cremas fue después de tres meses a su manufactura, los resultados bajo estas condiciones no se correlacionan con las pruebas de hidratación, por lo que es importante evaluar los cambios que ocurren durante el añejamiento de los productos cuando son incluidos agentes naturales, su composición química podría causar problemas de estabilidad en la formulación provocando cambios en el sistema original.

## CONCLUSIONES

- El porcentaje en peso del mucílago producto de la extracción fue bajo (0.036%) en relación con el peso fresco de la planta sometida al proceso, pero mayor al obtenido por otros investigadores.
- El polvo liofilizado producto de la extracción fue identificado desde el punto de vista subjetivo como el mucílago de la planta por medio de pruebas comparativas de solubilidad.
- La prueba de retención de agua del extracto de *Opuntia ficus-indica* demostró que este posee un comportamiento análogo con los agentes humectantes de uso común.
- El comportamiento reológico de las dispersiones del extracto en agua son del tipo pseudoplástico con tixotropía. La adición de mucílago liofilizado a glicerina conduce a la formación de un tipo de estabilización entre ambas macromoléculas permitiendo la formación de un sistema viscoelástico de características reológicas importantes.
- Los resultados de las pruebas de hidratación y deshidratación en la piel son estudios representativos de una muestra de personas donde la variabilidad biológica influye determinadamente sobre los resultados obtenidos. El diseño de este estudio deberá ser mejorado para disminuir factores que puedan influenciar sobre los resultados.
- Bajo las condiciones del estudio, la inclusión del mucílago afecta la reología de las formulaciones cosméticas.
- La inclusión del mucílago de *Opuntia ficus-indica* a las concentraciones establecidas como agente hidratante en formulaciones cosméticas, no proveen un efecto importante sobre la piel.

- **La prueba de la hidratación al nivel del estrato córneo demostró un efecto evidente e instantáneo de hidratación con la formulación que contiene mucilago y glicerina incluidos como agentes humectantes. El efecto humectante de la glicerina es potencializado por la presencia del mucilago.**
- **La prueba de deshidratación transepidermal, no mostró un efecto significativo entre las muestras aplicadas sobre la piel de los participantes, solo se observa el efecto mecánico oclusivo que proporciona la aplicación de una crema sobre la piel.**

## PERSPECTIVAS

Los resultados preliminares de hidratación indican, que la inclusión del mucílago en una formulación cosmética junto con un agente humectante común, puede presentar propiedades humectantes importantes sobre la piel, considerando su bajo costo, podría funcionar como un interesante agente potencializador; para lo cual se deberá estudiar el efecto de la combinación del mucílago con otras sustancias.

Las propiedades viscoelásticas del extracto de *Opuntia ficus-indica* y del gel formado por el extracto y la glicerina deberán ser mejoradas a fin de determinar concretamente su utilidad a escala industrial, y que se permita el aprovechamiento de este singular recurso natural para aplicaciones en las áreas cosmética, farmacéutica o alimenticia.

El diseño del estudio para la evaluación de la hidratación y deshidratación de la piel, debe ser mejorado aumentando y homogeneizando el número de participantes para obtener resultados con una mayor confiabilidad y representatividad de las formulaciones de estudio.

La aplicación de crema sobre la piel durante un periodo extenso de tiempo, permitiría determinar un mayor efecto de las muestras, derivado de la humectación repetida.

Los resultados de humectación sugieren que sería altamente útil conocer los valores de desempeño relativo de todos los componentes individuales que están siendo incorporados en las formulaciones cosméticas. El modelo de la prueba de humectación debe ser modificado variando las concentraciones de los agentes incluidos, para determinar si existen concentraciones base que muestren un efecto hidratante sobre la piel, y el posible potencial sinérgico entre dos o más agentes.

Para establecer adecuadamente si los parámetros reológicos pueden ser considerados como un indicador de la estabilidad de la formulación cuando se le es incluido un agente natural, es necesario que estos se monitoreen durante un intervalo de tiempo extenso.

Las plantas, consideradas como materias primas de la cosmetología natural, deben ser objeto de programas específicos de cultivo donde sus extractos se puedan obtener en condiciones reproducibles. Solo si se logra esto, podemos estudiar y concluir desde un punto de vista científico, si la utilización de agentes naturales para la elaboración de cosméticos no tiene ningún riesgo asociado a su uso, y por lo tanto afirmar que lo natural es realmente bueno proyectando su consumo en el mercado.

## REFERENCIAS

1. I. Guevara, Qué curan las plantas, Guía México Desconocido. Num. 34 (1997) 9-19.
2. R. Arenas, La piel: ese órgano visible y desconocido, Información Científica y Tecnológica. 12 (1990) 18-41.
3. L. Sánchez, Propiedades humectantes de los extractos de nopal (*Opuntia rastrera*) y órgano (*Myrtilocactus geometrizans*), tesis, Fes. Cuautitlán, UNAM, México, 1998.
4. C. Orozco Ledesma, Estudio anatómico de la epidermis de algunas especies del género *Opuntia* del valle de México, tesis, Fac. Ciencias, UNAM, México, 1979.
5. H. Bravo, Las cactáceas de México, tomo I, UNAM, México, 1978, pp. 320-322.
6. A. Tapia, Polisacáridos (gomas y mucilagos) de las plantas del genero *Opuntia*, tesis, Fes. Cuautitlán, UNAM, México, 1987.
7. M. Pérez, Evaluación preliminar del contenido energético (azúcares) presentes en algunas variedades de tuna, tesis, Fes. Cuautitlán, UNAM, México, 1987.
8. B. Closs, J. Paufigue, White sweet lupine extract as a skin restructuring agente, *Cosmetics and Toiletries*. 114 (1999) 75-82.
9. I.E. Danhof, Aloe in cosmetics-does it do anything, *Cosmetics and Toiletries*. 102 (1987) 62-63.
10. S. Tamburic, The aging of polymer-estabilized creams, a rheological viewpoint, *Cosmetics and Toiletries*. 115 (2000) 43-48.
11. J. Jae Lee, Tinged autumnal leaves of maple and cherry trees as potent antioxidand source, *Cosmetics and Toiletries*. 115 (2000) 39-46.
12. J. Vollhardt, Natural extracts for baby care, *Cosmetics and Toiletries*. 115 (2000) 63-67.
13. J. Sampson, Ethnobotanical enquiry into plants, *Cosmetics and Toiletries*. 113 (1998) 75-82.
14. D. Steinberg, Frequency use of botanicals, *Cosmetics and Toiletries*. 113 (1998) 73-77.
15. G.E. Trease, Tratado de farmacognosia, 12va. Ed., Nva. Editorial Panamericana, México, 1987, pp. 64,65.
16. O. Quezada, Extracción, purificación y caracterización fisicoquímica del mucílago de *Opuntia Ficus Indica*, tesis, Facultad de Química, UNAM, México, 1986.

17. R. Pérez, et all, Composición química del mucílago obtenido *Opuntia Tunicata* Lehn, *Tecnología Alimentaria*, 28 (1993) 14-19.
18. C. Orozco, Estudio anatómico de algunas especies del género *Opuntia* del valle de México, tesis, Facultad de Ciencias, UNAM, México, 1979.
19. G.S. Manku, Principios de química inorgánica, Mc. Graw-Hill, México, 1983, pp. 244-274.
20. M.S. Karawya, et all, Mucilages and pectines of *Opuntia Tamarindus* and *Cydonia*, *Journal of medicinal plant research. Supplement* (1980) 68-75.
21. M.S. Karawya, et all, Mucilagenous contents of certain egyptian plants, *Journal of medicinal plant research*, 38 (1980) 73-78.
22. E. Rivera, Estudio de la calidad de trigo y sus harinas, evaluación de tres variedades de trigo (*Triticum aestivum*), FES. Cuautitlán. UNAM, México, 1996.
23. A. Martín, *Physical Pharmacy: physical chemical principles in the pharmaceutical sciences*, 4 ed., Philadelphia, EUA, 1993, pp. 272-275, 469-482, 522-531, 614-615.
24. J.P. Remington, *Remington's pharmaceutical sciences*, tomo I y II, 17ava ed., Medica Panamericana, Buenos Aires, Argentina, 1987, pp. 461-481, 2302-2036.
25. J.A. Nava, Caracterización hidrodinámica de un agitador helicoidal con fluidos de compuestos pseudoplásticos, tesis, FES. Cuautitlán. UNAM, México, 1996.
26. G.M. Aguilar, Propiedades de flujo estacionario y no estacionario de soluciones de gelana a diferentes concentraciones; efecto de la temperatura y la presencia de secuestrantes, tesis, FES. Cuautitlán, UNAM, México, 1998.
27. M. Rieger, Keratinocyte function and skin healt, *Cosmetics and Toiletries*, 107 (1990) 35-43.
28. J.B. Wilkinson and E.J. Moore, *Cosmetología de Harry*, Diaz Santos, Madrid, España, 1990, pp. 50,51, 70-73.
29. J.W. Wichers and F.J. Groenhof, Relative performance testing of formulations: emollients, *Cosmetics and Toiletries*, 115 (2000) 29-37.
30. J.W. Wichers, *Cosmetics testing in 2000 and beyon*, *Cosmetics and Toiletries*, 115 (2000) 37-41.
31. Information and operating instructor for the corneometer Cm 825 Courage + Khazaka electronic.

32. Instruction manual for freeze Dry System model 77520.
33. The Sydney Ross, New products reporter, Vol. 1, Diciembre 1974. pp. 31.
34. D.C. Harris, Análisis químico cuantitativo, Reverte, España, 2001, pp. 173-174.
35. F. Flores, Probabilidad y estadística, Departamento de matemáticas, IPN, México, 1999, pp.
36. N. Parmetier et al, Rheological properties of the system lime/sucrose/water, Rheological acta, 38 (1999) 241-250.
37. A. Redl, et al, Rheological properties of gluten plasticized with glycerol, dependece of temperature, glycerol content and mixtin condition, Rheological acta, 38 (1999) 311-320.
38. M. Fahrlander and C. Friedrich, Rheological properties of polymer blends with sphere-in-sphere morphology, Rheological acta, 38 (1999) 206-213.
39. E. McKeown, Aloe Vera, Cosmetics and Toiletries, 102 (1987) 64,65.
40. S. Tamburic and G. Abamba, Moisturizing potential of d- $\alpha$ -tocopherol, Cosmetics and Toiletries, 114 (1999) 73-81.
41. B.F. Van Duzec, The influence of water content chemical treatment and temperature on the rheological properties of the stratum corneum, Journal Investigation Dermatol, 71 (1978) 140-144.
42. F. Yziquel and P.J. Carreau, Non-linear viscoelastic behavior of fumed silica suspensions, Rheological Acta, 38 (1999) 14-25.
43. K.A. Connors, Curso de análisis farmacéutico, Reverte, Barcelona, España, 1981, pp. 56-59.
44. R.L. Boylestool, Análisis introductorio de circuitos. México. 1997. pp. 343-345.
45. T.H. Durrans, Solvents, Princenton New Jersey, New York. 1957 pp. 77,98,99,122,123,128, 131.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## APÉNDICE.

### I. Formulaciones cosméticas de prueba.

Las cremas para el estudio se realizaron bajo las siguientes formulaciones:

#### *Formulación de crema líquida sin agente hidratante.*

Ingredientes	(%, p/p)
Alcohol cetílico	1.020
Aceite mineral	14.87
Lanolina	0.850
Ácido esteárico	3.400
Trietanolamina	1.520
Metilparabeno	0.200
Propilparabeno	0.050
Agua destilada	78.08

#### *Formulación de crema líquida con mucilago como agente hidratante*

Ingredientes	(%, p/p)
Alcohol cetílico	1.020
Aceite mineral	14.87
Lanolina	0.850
Mucilago 6%	5.000
Ácido esteárico	3.400
Trietanolamina	1.520
Metilparabeno	0.200
Propilparabeno	0.050
Agua destilada	73.08

#### *Formulación común de crema líquida - humectante.*

Ingredientes	(%, p/p)
Alcohol cetílico	1.020
Aceite mineral	14.85
Lanolina	0.850
Glicerina	5.000
Ácido esteárico	3.400
Trietanolamina	1.520
Metilparabeno	0.200
Propilparabeno	0.050
Agua destilada	73.08

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

*Formulación de crema líquida con glicerina - mucilago como agente hidratante.*

Ingredientes		(%, p/p)
Alcohol cetílico		1.020
Aceite mineral		14.87
Lanolina		0.850
<b>Glicerina y Mucilago</b>	50.00	5.000
Ácido esteárico		3.400
Trietanolamina		1.520
Metilparabeno		0.200
Propilparabeno		0.050
Agua destilada		70.58

*Procedimiento general para la manufactura de las cremas de prueba:*

**Formulación con glicerina como agente humectante**

En el contenedor principal se adicionan los 73.085g. de agua, 0.2g. de metilparabeno y 5g. de glicerina,

**Formulación con mucilago y glicerina como agente humectante**

En el contenedor principal se adicionan los 73.085g. de agua, 0.2g. de metilparabeno y 5g. de mucilago-glicerina.

**Formulación con mucilago como agente humectante**

En el contenedor principal se adicionan los 73.085g. de agua, 0.2g. de metilparabeno y 5g. de mucilago 5%.

Calentar a 70-75 °C hasta la completa disolución. *Parte A*

Adicionar al contenedor auxiliar los 0.85g. de lanollina, 3.4g. de ácido esteárico, 14.875g. de aceite mineral, 1.02 g. de alcohol cetílico, 0.05g. de propilparabeno.

Calentar a 70-75 °C hasta la completa disolución. *Parte B*

Cuando ambas fases se encuentren a 70-75 °C apagar la parrilla y verter la fase oleosa (*parte B*) sobre la acuosa (*parte A*) agitando vigorosamente y previniendo la entrada de aire.

Adicionar los 1.52g. de trietanolamina (previamente disueltos en la mínima cantidad de agua), y continuar agitando hasta enfriar.

**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

## **II. Método de prueba para determinar efecto hidratante al nivel del estrato córneo.**

### *Fundamento:*

Por medio del método de capacitancia de la piel, un capacitor muestra los cambios de esta propiedad conforme al contenido de humedad de las muestras <sup>(44)</sup>. Esta medición es basada en la completa diferencia de la constante dieléctrica del agua y otras sustancias (en su mayor parte < 7). La humedad contenida en la piel aumenta la carga del circuito cuando este se cierra, esta carga adicional para el mismo voltaje a través de las placas aumenta la capacitancia, como lo determina la ecuación siguiente:

$$C \uparrow = Q \uparrow / V$$

El corneometro, mide la capacidad real de un producto cosmético para aumentar la humedad de la piel dentro del estrato córneo a profundidad de 30 a 40 micras. La prueba aplica para todo tipo de humectantes bajo condiciones de uso normal.

En la prueba de duración de cuatro horas, se demuestra que tan efectiva es la hidratación inicial por la aplicación del producto, y se puede observar cual es el valor más alto al que se puede llegar en una sola aplicación.

## **III. Método de prueba para determinar la medición de la pérdida de agua transepidermal.**

### *Fundamento:*

La medición de la pérdida de agua transepidermal es uno de los más importantes parámetros para la evaluación de la eficiencia de barrera de agua en la piel, es muchos mas usado en investigación y pruebas de efecto de productos cosméticos aplicados sobre la piel.

El tewametro, es un equipo para la medición de la evaporación de agua sobre la superficie de la piel basada en el principio de difusión de Fick:

$$dm / dt = -D \cdot A \cdot dc / dx$$

Donde la corriente de difusión  $dm/dt$  indica que la masa por  $cm^2$  esta siendo trasportada en un periodo de tiempo. Esto es proporcional al área A y al cambio de concentración por la distancia  $dc/dx$ . D es el coeficiente de difusión del vapor de agua en el aire. Este principio es únicamente valido dentro de una zona de difusión homogénea el cual es formado por un hueco cilíndrico. Los resultados son medidos indirectamente por dos pares de sensores (temperatura y humedad relativa) y es analizado por un microprocesador.

#### **IV. Protocolo de preparación de los panelistas de prueba.**

*Método de aplicación:* una sola aplicación del producto sobre piel en antebrazo de acuerdo a las condiciones normales de uso.

*Área empleada:* la cara frontal del antebrazo. Dado que la humectación puede variar en diferentes áreas. La región elegida se marca con violeta de genciana.

*Tamaño de los paneles de prueba.*

*Número de panelistas:* 5

*Criterio de aceptación:* hombres y mujeres que no estén embarazadas o en periodo de lactancia, ni tomando medicamento u hormonas, que no presenten enfermedades o alergias en la piel al momento de realizar la prueba.

*Perfil de los participantes en el estudio:*

<b>Iniciales</b>	<b>Edad</b>	<b>sexo</b>	<b>Padece enfermedades en la piel</b>	<b>Alergias u otras enfermedades</b>	<b>Toma medicamentos u hormonas</b>
<b>MCD</b>	26	F	NO	NO	NO
<b>CDR</b>	24	F	NO	NO	NO
<b>APM</b>	23	M	NO	NO	NO
<b>STS</b>	26	M	NO	NO	NO
<b>JRGR</b>	24	M	NO	NO	NO
<b>NOB</b>	24	F	NO	NO	NO
<b>EGR</b>	20	F	NO	NO	NO
<b>MGR</b>	16	F	NO	NO	NO
<b>FIR</b>	16	M	NO	NO	NO
<b>RGR*</b>	46	M	Dermatitis nerviosa	NO	NO

\* Se permitió su participación debido a que la afección se presentó solo en la cara frontal de las manos, (en los nudillos) sin tener alguna interferencia en la cara frontal de los antebrazos donde se aplicaron las muestras.

*Datos generales.*

- Ningún participante se ha sometido a procedimientos quirúrgicos en los últimos seis meses.
- Ningún participante está embarazada o en periodo de lactancia.
- Ningún participante ha sido parte de un estudio de este tipo en los últimos seis meses.
- Ningún participante reportó estar tomando anticonceptivos u otro medicamento.

*Cuestionario general para pruebas de productos cosméticos.*

Participante No. \_\_\_\_\_

Nombre: \_\_\_\_\_ Edad: \_\_\_\_\_ Sexo (M/F): \_\_\_\_\_

Por favor conteste "sí" o "no" a cada una de las siguientes preguntas:

1. ¿Ha padecido alguna vez?

	No	Si	¿Actualmente la padece?	Describa las afectadas
Psoriasis	_____	_____	_____	_____
Eczema	_____	_____	_____	_____
Otros problemas de la piel	_____	_____	_____	_____

2. ¿Padece usted asma severa? Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

3. ¿Ha padecido alguna vez cáncer en la piel? Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

¿Padece esta enfermedad actualmente? Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

4. ¿Ha visitado alguna vez a su medico con relación a alergias o algún problema específico en la piel? Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

¿Lo padece actualmente? \_\_\_\_\_ ¿Cuál fue/es su problema? \_\_\_\_\_

¿Se encuentra usted usando algún medicamento con esteroides (administrado oralmente o aplicado como crema sobre la piel) en el tratamiento por alergia por contacto o erupciones en la piel? Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

5. ¿Se le están administrando erupciones de insulina en el tratamiento de la diabetes?

Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

6. ¿Ha tenido usted algún trasplante de órgano que requiera el uso de medicamentos inmunodepresores? Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

7. ¿Esta usted recibiendo tratamiento para cualquier tipo de cáncer?

Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

8. ¿Padece usted algún tipo de enfermedad de inmunodeficiencia (lupus, tiroiditis, etc)?

Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

9. ¿Ha participado usted alguna vez en una prueba de producto cosmético?

Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_ ¿Dónde? \_\_\_\_\_ ¿Cuándo? \_\_\_\_\_

10. ¿Es usted alérgico a alguno de los siguientes productos?

	Si	No	Mencione el nombre del producto
Shampoos	_____	_____	_____
Jabones de tocador	_____	_____	_____
Cremas de belleza	_____	_____	_____
Perfumes	_____	_____	_____
Lociones	_____	_____	_____
Desodorantes/antitranspirantes	_____	_____	_____
Sombras para los ojos	_____	_____	_____
Bronceadores	_____	_____	_____
Depiladores	_____	_____	_____
Otros productos cosméticos	_____	_____	_____

11. ¿Se le han extirpado nódulos linfáticos axilares? Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

12. ¿Se le han practicado mastectomía? Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

Si, lado derecho \_\_\_\_\_ Si, lado izquierdo \_\_\_\_\_ Si, ambos lados \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

Para ser contestada solamente por MUJERES:

13. ¿Esta usted actualmente tomando pastillas anticonceptivas? Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

14. ¿Esta usted esperando bebe? Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

15. ¿Esta usted en periodo de lactancia? Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

16. ¿Tiene usted antecedentes de trastornos mentales? Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

Firma \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_

Para ser llenado exclusivamente por el evaluador del cuestionario.

¿Esta persona es elegible para ser utilizada en la prueba? Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

Razones \_\_\_\_\_

Comentarios \_\_\_\_\_

Nombre del evaluador \_\_\_\_\_

Firma \_\_\_\_\_

Fecha \_\_\_\_\_

#### V. Hipótesis de comparación de pendientes para la prueba de retención de agua.

Las siguientes tablas son de los porcentajes obtenidos de cada una de las muestras sometidas a diferentes condiciones de humedad.

<b>TIEMPO (días)</b>	<b>Mucítago</b>	<b>Glicerina</b>	<b>Transcutol</b>	<b>Propilenglicol</b>
1	2.680	6.060	2.630	2.830
2	5.150	6.460	5.090	5.280
3	10.44	10.28	10.40	10.53
4	17.31	15.26	14.44	15.51
5	20.36	20.08	20.24	20.47
6	23.20	22.85	23.10	23.46
7	31.18	30.81	31.14	31.42
8	33.40	32.94	32.24	33.56
9	40.78	40.24	40.42	40.87
10	46.20	45.31	40.50	46.04

Porcentaje de peso perdido del extracto y de los humectantes comerciales en solución al 1%, expuestos a 20% de humedad relativa.

<b>TIEMPO (días)</b>	<b>Mucilago</b>	<b>Glicerina</b>	<b>Transcutol</b>	<b>Propilenglicol</b>
1	1.270	1.040	0.970	1.010
2	2.340	2.030	1.980	2.000
3	4.580	4.060	4.040	4.160
4	6.680	6.070	6.030	6.250
5	8.660	7.860	7.900	8.200
6	9.800	8.920	8.980	9.300
7	13.03	12.06	12.17	12.51
8	13.89	12.85	13.00	13.34
9	16.96	15.52	15.80	16.02
10	18.92	17.42	18.10	17.79

Porcentaje de peso perdido del extracto y de los humectantes comerciales en solución al 1%, expuestos a 74% de humedad relativa.

<b>TIEMPO (días)</b>	<b>Mucilago</b>	<b>Glicerina</b>	<b>Transcutol</b>	<b>Propilenglicol</b>
1	0.07	0.29	0.35	0.30
2	0.14	0.31	0.39	0.38
3	0.24	0.33	0.43	0.43
4	0.35	0.39	0.48	0.50
5	0.39	0.36	0.48	0.48
6	0.46	0.41	0.52	0.50
7	0.56	0.41	0.57	0.59
8	0.57	0.44	0.60	0.60
9	0.65	0.40	0.60	0.60
10	0.69	0.43	0.61	0.62

Porcentaje de peso perdido del extracto y de los humectantes comerciales en solución al 1%, expuestos a 87% de humedad relativa.

Hipótesis planteadas en el estudio de capacidad de retención de agua a las humedades relativas de 20, 74 y 87%.

**Ho:** La velocidad de pérdida de agua del patrón de comparación es igual a la velocidad de pérdida de agua del extracto estudiado.

**Ha:** La velocidad de pérdida de agua del patrón de comparación es diferente a la velocidad de pérdida de agua del extracto estudiado.

Se rechaza la hipótesis nula si el valor de t calculada es mayor al valor de t tablas de la distribución t de Student con un nivel de significancia 0.005 y n-2 grados de libertad.

RELACIÓN	HR 20%		HR 74%		HR 87%	
	t. cal	t. tab	t. cal	t. tab	t. cal	t. tab
M-G	0.024	2.8784	0.790	2.8784	0.221	2.8784
M-T	0.637		0.676		0.535	
M-P	0.043		0.524		0.506	

Valores de t obtenidos en la prueba de hipótesis de comparación de pendientes

#### DECISIÓN:

Se concluye que el porcentaje de peso perdido entre las soluciones del mucílago y los humectantes comerciales a las tres condiciones de deshidratación, son estadísticamente iguales.