



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN,
CAMPO 1

ESTUDIO TERMODINÁMICO DE SUPERFICIES PARA LECITINA, TWEEN 60 Y TWEEN 80

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERA EN ALIMENTOS
P R E S E N T A:
LIZBETH HEREDIA AGUIRRE

ASESOR: I. Q. GUADALUPE FRANCO RODRIGUEZ

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEXICO

2008



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

**PARA TRIUNFAR EN LA VIDA,
NO ES IMPORTANTE LLEGAR EL PRIMERO.
PARA TRIUNFAR SIMPLEMENTE HAY QUE LLEGAR,
LEVANTÁNDOSE CADA VEZ QUE SE CAE EN EL CAMINO**

Agradecimientos:

A Dios: Por permitirme llegar hasta donde estoy y acompañarme en mi vida dándome la fortaleza que necesito para superar los obstáculos, gracias también por la familia en la que crecí y por la familia que estoy formando, gracias por ser tan bondadoso conmigo.

A mi mamá María Elena Aguirre: por darme la vida, apoyarme aun cuando no entienda mis decisiones y ser un ejemplo de fortaleza, y por que aun con la falta de mi papa haz sabido guiarnos y mantener esta familia unida eres una gran mujer y madre, este logro también es tuyo, ya que no sólo tienes una licenciatura sino un doctorado en crianza y educación. Te Amo.

Querida mamá:

Mamá, el otro día, observando mi ombligo, me detuve a pensar qué pequeño y curioso testimonio de una conexión tan importante, ¡Una conexión que me recuerda cómo comenzó mi vida, cómo comencé a ser yo.

Hoy es difícil imaginar que alguna vez fuera tan pequeño, que dependía completamente de alguien, Y ese alguien eras tú, mamá.

Tú me mostraste mi primera mariposa y mi primer arco iris.

Estabas a mi lado cuando ensayé mis primeros pasos.

Fuiste la primera persona que me hizo reír y escuchaste que la primera palabra que dije fue: "Papá" (perdóname, mamá)

Me encanta que la gente diga que me parezco a ti, ¡porque es verdad!

Tenemos los mismos ojos, las mismas orejas y la misma nariz.

Y si los miras de cerca, verás que hasta los dedos de nuestros pies son parecidos.

Aunque, si lo piensas bien, no es tan sorprendente, siempre seré una parte de ti por que tú me creaste.

Has esculpido mi rostro con un millón de besos cariñosos.

Me has enseñado todas las cosas importantes de nuestro mundo y mi lugar en él

Todo lo aprendí de ti, mientras te escuchaba y te observaba.

Has compartido conmigo todos los valores que te hacen tan especial: la bondad, el perdón, la honestidad, la perseverancia, la consideración y principalmente, la paciencia.

También me enseñaste que, incluso el día más terrible, parece mejor con un vaso de leche tibia y galletas. (Tu serena filosofía de leche tibia y galletas, mamá, me ha ayudado a atravesar los momentos más difíciles, mucho más a menudo de lo que puedes imaginarte).

Lo que trato de decirte, mamá, es que eres la base sobre la que se ha formado mi personalidad. Y sólo me queda una palabra: ¡Gracias!

¡Gracias! por haberme colmado siempre de abrigo, de seguridad y de amor, por haberme dado todo lo que necesitaba para crecer y desarrollarme.

¡Gracias! por que siempre estabas dispuesta a llevarme a todos lados.

¡Gracias! por las exquisitas comidas de las que te ocupabas con tanto amor, día tras día, año tras año.

Y te agradezco especialmente, mamá, por aquel increíble aroma de pan recién tostado, por las mañanas.

¡Gracias!, por dejar a tu tesoro de dos años jugar con tus posesiones más valiosas y por no haber dicho: "Te lo dije, te lo dije", todas las veces que hubieras querido.

¡Gracias! por levantarme cada vez que necesitaba un abrazo o ver algo desde la mejor ubicación.

Lo que seguramente no ha sido nada bueno para tu espalda, mamá.

¡Gracias! por volar a rescatarme cada vez que me oías gritar: "¡Quiero a mi mamá!"
 Siempre has sabido qué decir o qué callar, para hacerme sentir mejor.
 ¡Gracias! por tantos cálidos y amorosos abrazos.
 Por que arreglabas juguetes y corazones rotos una y otra vez, gracias mamá.
 ¡Gracias! por alentarme a buscar la belleza dentro de mí y a mantenerme siempre en pie.
 ¡Gracias! por asegurarme que podría crecer y alcanzar el éxito en cualquier cosa que me propusiera, si creía en mí de la misma manera en que tú lo hacías.
 Pero mamá, los dos sabemos que aunque nuestra relación ha sido maravillosa, no siempre fue tranquila y perfecta.
 Por que yo, que soy la alegría de tus ojos no siempre te hice reír.
 ¡Perdóname! por las veces que te hice enojar, o por haber hecho que te preocuparas por mí, y por todas las noches de insomnio que te causé.
 ¡Perdóname! por haberme revolcado en el barro, después de que me hubieras puesto mi mejor ropa y mis zapatos nuevos y por preguntar: "¿Falta mucho?, ¡falta mucho? Cada vez que salíamos.
 Discúlpame por intentar huir tantas veces del baño y por ponerme difícil a la hora de ir al colegio o cuando no me dejaste hacerme aquel tatuaje.
 Me arrepiento de todas las ocasiones en que me puse insoportable, especialmente, en los mejores restaurantes.
 Hoy me siento mal por las veces que te desperté a las cinco de la mañana el día de mi cumpleaños o en Navidad y por todas aquellas noches en que no había manera de que me durmiera.
 Perdóname por no haberte dado más tiempo para tí misma. Aunque fueran unos pocos momentos tranquilos para pensar, para soñar.
 Ahora comprendo a cuántas cosas renunciaste por mí.
 Por que mi tiempo para jugar siempre estuvo primero que tu tiempo para descansar, mis comidas eran más importantes que las tuyas, y mi entrenamiento para dejar los pañales estaba absolutamente antes que nada.
 Cada vez que tratabas de relajarte, yo irrumpía en tu habitación exigiendo: "¡Mamá, me muero de hambre!"
 "¡Mamá me aburro!"
 "¡Mamá, no encuentro a mi mascota en ninguna parte. Levántate y ayúdame a buscarla ahora mismo!"
 Hoy comprendo cuántas cosas he logrado gracias a tí, mamá y quisiera tener más de una vida para devolverte todo lo que me has dado.
 Me mostraste un mundo lleno de amor y maravillas, me enseñaste a encontrar mi propio camino y me has hecho mucho más feliz de lo que puedas imaginar.
 Quiero que todo el mundo lo sepa: ¡Mi mamá es la mejor mamá del Universo!
 ¡Gracias! mamá. ¡Gracias por todo!

A mi padre Guillermo Heredia: Durante el ratito que Dios te presto con nosotros nos diste lo esencial que un padre puede dar cariño, amor, límites, perseverancia, me enseñaste a luchar por lo que anhelaba, que nunca es tarde para aprender y que con paciencia todos se puede lograr. Fuiste un padre ejemplar aunque no perfecto y doy gracias por eso, espero que en donde te encuentres estés orgulloso de mí y que veas que cumplí lo prometido. "Que Dios te tenga en su gloria"

Enseñarás a volar, pero no volarán tu vuelo...
 Enseñarás a soñar, pero no soñarán tu sueño...
 Enseñarás a vivir, pero no vivirán tu vida...

Sin embargo...
 En cada vuelo, en cada vida, en cada sueño...
 perdurará siempre la huella del camino enseñado.

— Madre Teresa de Calcuta

A mis Hermanos Magda, Oscar Guillermo y María Elena: Ustedes han estado conmigo en todos los momentos importantes de mi vida son mis mejores amigos, juntos estamos superando los obstáculos y los momentos tristes y aunque tenemos caracteres diferentes siempre sabremos que contamos unos con otros. Gracias por todos estos momentos.

Al resto de mi familia: Por estar al pendiente de nosotros aunque no nos veamos seguido, por sus consejos y alegrías gracias por estar hay en especial a mis tías Chema, Ene, Ali y Magos por su cariño, y a mis primos Aguirre Maru, Chon, Carmen, Chabela, Male, etc. (perdón pero si le sigo con este lado de la familia me llevo otra tesis, gracias por estar al pendiente de nosotros y de mi mamá).

A mi esposo Armando: Por tu perseverancia y paciencia, se que no siempre hemos estado de acuerdo, pero si que a pesar de todo contaremos el uno con el otro gracias por la hermosa familia que estamos formando, por exigirme siempre lo mejor de mi para no dejarme caer y superarme. ¡Te Amo!

Las piedras de la vida

Un experto asesor de empresas en Gestión del Tiempo quiso sorprender a los asistentes a su conferencia:

Sacó de debajo del escritorio un frasco grande de boca ancha. Lo colocó sobre la mesa, junto a una bandeja con piedras del tamaño de un puño y preguntó:

¿Cuántas piedras piensan que pueden caer en el frasco?

Después de que los asistentes hicieran sus cálculos, empezó a meter piedras hasta que llenó el frasco.

Luego preguntó: ¿Está lleno?

Todo el mundo lo miró y asintió.

Entonces sacó de debajo de la mesa un cubo con gravilla. Metió parte de la gravilla en el frasco y lo agitó. Las piedrecillas penetraron por los espacios que dejaban las piedras grandes.

El experto sonrió con ironía y repitió:

¿Está lleno?

Esta vez los oyentes dudaron: Tal vez no.

¡Bien!. Y puso en la mesa un cubo con arena que comenzó a volcar en el frasco. La arena se filtraba en los pequeños recovecos que dejaban las piedras y la grava.

¿Está lleno? preguntó de nuevo.

¡No!, exclamaron los asistentes.

Bien, dijo, y cogió una jarra de agua de un litro que comenzó a verter en el frasco. El frasco aún no rebosaba.

Bueno, ¿qué hemos demostrado?, preguntó.

Un alumno respondió: - Que no importa lo llena que está tu agenda, si lo intentas, siempre puedes hacer que quepan más cosas.

¡No!, concluyó el experto: lo que esta lección nos enseña es que si no colocas las piedras grandes primero, nunca podrás colocarlas después.

¿Cuáles son las grandes piedras en tu vida?. Tus hijos, tus padres, tus amigos, tus sueños, tu salud, la persona que amas.

Recuerda, pon las piedras grandes primero. El resto encontrará su lugar...

A mí nueva inspiración, mi pequeño Leonardo Nataniel: Mi amor espero que algún día cuando persigas tus sueños, los alcances sin importar cuantas veces te caigas, las adversidades que salgan a tu paso o que la gente piense que estas equivocado, este trabajo también es para ti y recuerda que no importa el tiempo que te tome, nunca es tarde para aprender y realizar aquello que anhelas ¡Te amo mi nano!

Serás un hombre, hijo mío (Sí...)

"Si puedes mantener intacta tu firmeza"

Cuando todos vacilan a tu alrededor, si cuando todos dudan, fías en tu valor y al mismo tiempo sabes exaltar su flaqueza.

Si sabes esperar y a tu afán poner brida.

O blanco de mentiras esgrimir la verdad.

O siendo odiado, al odio no le das cabida

y ni ensalzas tu juicio ni ostentas tu bondad.

Si sueñas, pero el sueño no se vuelve tu rey.

Si piensas y el pensar no mengua tus ardores.

Si el triunfo y el desastre no te imponen su ley

y los tratas lo mismo como dos impostores.

Si puedes soportar que tu frase sincera sea trampa de necios en boca de malvados.

O mirar hecha trizas tu adora quimera

y tornar a forjarla con útiles mellados.

Si todas tu ganancias poniendo en un montón las arriesgas osado en un golpe de azar y las pierdes, y luego con bravo corazón sin hablar de tus pérdidas,

vuelves a comenzar.

Si puedes mantener en la ruda pelea

álerta el pensamiento y el músculo tirante

para emplearlo cuando en tí todo flaquea

menos la voluntad que te dice adelante.

Si entre la turba das a la virtud abrigo

Si no pueden herirte ni amigo ni enemigo

Si marchando con reyes del orgullo has triunfado

Si eres bueno con todos pero no demasiado

Y si puedes llenar el preciso minuto

en sesenta segundos de un esfuerzo supremo

tuya es la tierra y todo lo que en ella habita

y lo que es más serás hombre hijo mío...

Rudyard Kipling

A mis hermanos del alma Cristina Gonzales y Carlos Serra: por que en ustedes he encontrado una mano sincera y un hombre para llorar en momentos difíciles, gracias por todos estos años compartidos y su amor fraternal.

A mis grandes amigos:

Rosy Olivares (IA. 22): eres una gran amiga y ejemplo de perseverancia.

Lorena Pelaez (IA. 21): por ser una persona alegre y que siempre me dijo mis verdades con una gran sonrisa.

Miguel Xurape (IA. 21): Eres la forma viviente de que a un libro no se le puede juzgar por la pasta.

Alfonzo Crispín, Mario Parada y Omar Niño (IA.22): ustedes fueron durante los primeros años mi primera familia de la universidad y aunque hemos tomado caminos diferentes los llevaré en mi corazón gracias por compartir este tramo de camino.

Diana G. Ortega (QFB 24): eres una gran amiga y me has demostrado apoyo aun cuando no siga mucho tus consejos, también has sido para mí ejemplo de fortaleza, gracias por dar alegría a los que te rodean.

Dulce M. González (QFB25): gracias por tu ternura y cariño eres como tu nombre "dulce".

Ana Carrouche, Emirete Calva, Alejandra, Adriana Rosas: Mi Otra mini familia de la FES gracias por los gratos momentos y por las peleas, cada una de ustedes me enseñó algo.

Elizabeth Jiménez y Francisco Castillo: No solo son mis compadres también los considero amigos con los que se pueda contar, sobre todo tu Liz que tenemos una historia juntas.

A mis compañeros de la generación 22 de Alimentos por que de alguna forma cada uno aportó algo para mi crecimiento.

Amigos Para Toda La Vida

La verdadera amistad no se ve

Con Los ojos; se siente con el corazón
Cuando existe confianza, comprensión,
Secretos, lealtad y momentos compartidos.

La amistad es un sentimiento que raramente

Se encuentra en la vida, pero cuando se
La halla causa un profundo impacto en
Nuestro bienestar, nuestra fortaleza
Y nuestro carácter.

Cuando dos personas han compartido

Sus sentimientos, sus sueños,
Pensamientos y temores;
Cuando han abierto sus
Corazones...

Cuando dos personas

Se conocen lo suficiente
Como para descubrir la tristeza
Oculta detrás de una sonrisa
O la felicidad
En el brillo de Los ojos...

Cuando han compartido tantas risas,

Y cuando el dolor del otro en Ocasiones provoca lágrimas; Cuando dos personas Crean una en la otra y Siempre son sinceras Entre sí.

Cuando ambas confían mutuamente

En la verdad siempre presente en ellas, Puedes tener la seguridad que comparten una amistad Para toda la vida.

A mis madres académicas:

Guadalupe Franco: por todo este tiempo de paciencia, cuidado, consejos y jalones de oreja, en estos ocho años ha sido una segunda madre para mí, gracias por todo lo que me ha enseñado y por levantarme el ánimo. Esta tesis no solo es mía también es suya. (siempre recordare que la noche es larga y los libros no muerden).

Leticia Zúñiga y Gloria Borjon: Aunque no las tuve como profesoras, las conocí como amigas y me han cuidado y dado cariño en el tiempo que he estado en la sección mil gracias por sus atenciones esta tesis también se las dedico.

¡Una Amistad Diferente!

La edad madura no solo trae arrugas, también trae experiencia, por eso para uno, es mas fácil hacer amigos verdaderos, sinceros y genuinos.

Para un adulto que empieza a relacionarse, cuentan mucho los gestos, las palabras, los silencios.

Para nosotros, por ejemplo, las lágrimas significan dolor, frustración, impotencia, etc., y nada mas. Jamás serán cadenas que sujeten nuestra amistad.

Menos las confidencias, las agradecemos como signo de confianza pero no permitimos que nos conviertan en cómplices.

La amistad mis queridos amigos, es una comunión de almas y espíritus, en la que se comparten confidencias, puntos de vista, autobiografías, y sentires, por el puro placer de compartir.

Siempre he recomendado que el joven tenga un amigo maduro y sabio, porque le transmitirá todos sus momentos vividos, con la intención de que aprenda.

La amistad tiene otra perspectiva para nosotros, amamos lo que hacemos y es muy raro que nos engañemos, por esa razón somos más selectivos a la hora de hacer amigos.

Y no porque queramos, sino que por la misma experiencia, encontramos a nuestros iguales, somos transparentes para los que son como nosotros.

Por eso el ciberespacio no nos limita, ya que sin querer damos con ellos.

La amistad es el primer paso de la convivencia, hacemos amigos desde nuestra niñez, y con el transcurso de los años, estos han compartido una parte de nuestra vida, y así junto con los nuevos años, viene nuevos amigos.

La amistad es el mejor remedio para la soledad, para la incomprensión, cuando estas aparecen en nuestra vida, por alguna razón.

Ya para finalizar, déjenme concluir con esta verdad, cuando se tienen amigos, jamás llegaremos a morir solos, porque muchos nos despedirán, y otro tanto nos estarán esperando

A los chicos de la sección de Físicoquímica (es divertido aprender con ustedes)

A mis profesores de la carrera: No siempre se esta de acuerdo con ellos pero en general siempre tenían la razón en el porque de la forma de su enseñanza.

Al personal de la FES:

Guillermo Guzmán B. (Don Memo del personal de la biblioteca gracias por atenderme siempre con una sonrisa)

Martha Guevara A. (secretaria de la sección de químico-biológicas sus abrazos siempre fueron cálidos y reconfortantes)

María Elena López (laboratorista de la sección de ciencias de la salud)

Desiderio Velázquez Arana (laboratorista de la sección de físicoquímica)

Claudia Rocío Antonio González y Martha Elba García Pacheco (secretarias de las coordinaciones de I. Alimento y QFB, gracias por la paciencia que tienen con los alumnos).

Soy la consecuencia

Sí soy la consecuencia de lo vivido, me quedo en paz con el origen y miro esperanzado la próxima encrucijada.

Sí mi vida me ha traído hasta este punto del camino, me tomo un descanso a su vera para observar los tres puntos de convergencia: el largo pasado de peregrino, el futuro que me espera, y este exacto lugar del presente que bendigo.

Y en la dicha solariega que hoy me regala mi camino, encuentro la fuerza que antes no tuviera.

Y en ese buscar de todos los días, he hallado algunas flaquezas y mezquindades.

Más no las reniego; si están aquí es porque las necesito para continuar en el sendero.

Y así... me hago cargo de logros y puntos no resueltos hasta ahora.

En paz con la convergencia del Tiempo en esta hora, disfrutando de los extremos y del presente con convicciones y algunas certidumbres que se cuelan con los hilos de luz entre las hojas.

Juan José Mes



Índice

Resumen	5
Introducción	6
CAPITULO I PROPIEDADES DE SUPERFICIE	
1. Tensión superficial	9
1.1 Definición	9
1.2 Método de medición de la tensión superficial	9
1.3 Tensión superficial en función de la temperatura y la concentración	12
1.3.1 Tensión superficial en función de la Temperatura	12
1.3.2 Tensión superficial en función de la concentración	14
1.3.3 Concentración micelar crítica CMC	15
1.3.4 Efecto de la Temperatura sobre la CMC	19
2. Propiedades termodinámicas de superficie	20
2.1 Energía de superficie y entropía de superficie	20
2.2 Exceso de soluto	23
2.3 Presión superficial	24
2.4 Trabajo de cohesión.	25
2.5 Trabajo de adhesión	26
CAPITULO II SURFACTANTES O TENSOACTIVOS	
3. Tensoactivos	28
3.1 Generalidades	28
3.1.1 Composición química	30
3.1.2 Balance hidrófilo-lipófilo (HLB)	37
4.2 Lecitina	39
4.2.1 Propiedades	39
4.2.2 Estructura	40
4.2.3 Usos	43
4.3 Tween's	45
4.3.1 Propiedades	45
4.3.2 Estructura del Tween 80 y el Tween 60	46
4.3.3 Usos	47
CAPITULO III DISEÑO EXPERIMENTAL	
4. Objetivo general	51
5. Objetivos particulares	51
6. Materiales	52
7. Diseño experimental y métodos	53
7.1 Actividades para evaluar el efecto de la concentración en las propiedades termodinámicas de superficie	54



7.2 Actividades para evaluar el efecto de la T° en las propiedades de superficie.	55
7.3 Limpieza y calibración del tensiómetro de Du-Noüy	55

CAPITULO IV ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

8. Tratamiento de datos	58
9. Análisis de resultados y discusión	59
10. Conclusiones	81
11. Bibliografía	83
Glosario	86
Anexo 1	87



Índice de tablas, gráficos y figuras

TABLA 1 EMULGENTES FORMADOS POR MEZCLAS DE MONO Y DICILGLICERIDOS	36
TABLA 2 VALORES DE LOS GRUPOS LIPÓFILO E HIDRÓFILOS PARA EL CALCULO DEL HLB	37
TABLA 3 PROPIEDADES DEL AGENTE TENSOACTIVO SEGÚN SU VALOR DE HLB.....	38
TABLA 4 AGENTES EMULSIFICANTES Y SUS VALORES DE HLB.....	39
TABLA 5 COMPOSICIÓN DE UNA LECITINA DE SOYA DESENGRASADA (EN % DE LOS PESOS DE LÍPIDOS ENCONTRADOS)	42
TABLA 6 COMPOSICIÓN EN ÁCIDOS GRASOS DE LOS PRINCIPALES CONSTITUYENTES DE LA LECITINA DE SOYA	43
TABLA 7 EJEMPLOS DE LA UTILIZACIÓN DE LECITINA.....	44
TABLA 8 EJEMPLOS DE LA UTILIZACIÓN DE LOS TWEEN'S 60 Y 80	49
TABLA 9 CONCENTRACIONES UTILIZADAS PARA LA PREPARACIÓN DE LAS DISPERSIONES.....	54
TABLA 10 VALORES DE γ DE ALGUNAS SUSTANCIAS A 20°C.	56
TABLA 11 PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DE SUPERFICIE DE LA LECITINA	60
TABLA 12 PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DE SUPERFICIE DEL TWEEN 60	61
TABLA 13 PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DE SUPERFICIE DEL TWEEN 80	61
TABLA 14 RESULTADOS DE VARIACIÓN DE TEMPERATURA PARA LECITINA CON RESPECTO A LA TESIÓ N SUPERFICIAL	71
TABLA 15 RESULTADOS DE VARIACIÓN DE TEMPERATURA PARA TWEEN 60 CON RESPECTO A LA TESIÓ N SUPERFICIAL	71
TABLA 16 RESULTADOS DE VARIACIÓN DE TEMPERATURA PARA TWEEN 80 CON RESPECTO A LA TESIÓ N SUPERFICIAL	71
TABLA 17 ENTALPIA DE SUPERFICIE PARA LA LECITINA EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA	77
TABLA 18 ENTALPIA DE SUPERFICIE PARA EL TWEEN 60 EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA.	77
TABLA 19 ENTALPIA DE SUPERFICIE PARA EL TWEEN 80 EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA.	78
GRÁFICO 2 TESIÓ N SUPERFICIAL DE LOS TWEEN'S EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓ N.....	59
GRÁFICO 3 TESIÓ N SUPERFICIAL DE LA LECITINA EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓ N.	60
GRÁFICO 4 PRESIÓ N SUPERFICIAL DE LOS TWEEN'S EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓ N	64
GRÁFICO 5 PRESIÓ N SUPERFICIAL DE LA LECITINA EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓ N	64
GRÁFICO 6 EXCESO DE SOLUTO DE LOS TENSOACTIVOS DE LECITINA, TWEEN 60 Y TWEEN 80 EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓ N.	66
GRÁFICO 7 TRABAJO DE COHESIÓ N W_c PARA LOS TENSOACTIVOS DE LECITINA TWEEN 60 Y TWEEN 80 EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓ N.	67
GRÁFICO 8 ENERGÍA DE GIBBS G^s PARA LOS TENSOACTIVOS TWEEN 60 Y TWEEN 80 EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓ N.	69
GRÁFICO 9 ENERGÍA DE GIBBS G^s PARA LA LECITINA EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓ N.	69
GRÁFICO 10 EFECTO DE LA VARIACIÓ N DE LA TEMPERATURA EN LA LECITINA A LAS CONCENTRACIONES DE 0.05%, 0.30% Y 1.20%.....	72
GRÁFICO 11 EFECTO DE LA VARIACIÓ N DE LA TEMPERATURA EN EL TWEEN 60 A LAS CONCENTRACIONES DE 0.05%, 0.50% Y 1.25%.....	72
GRÁFICO 12 EFECTO DE LA VARIACIÓ N DE LA TEMPERATURA EN EL TWEEN 60 A LAS CONCENTRACIONES DE 0.05%, 0.75%, 1.00% Y 1.25%	73
GRÁFICO 13 LINEALIZACIÓ N DE LA VARIACIÓ N DE LA TEMPERATURA PARA LECITINA A LAS CONCENTRACIONES DE 0.05%, 0.30% Y 1.20%.....	74
GRÁFICO 14 LINEALIZACIÓ N DE LA VARIACIÓ N DE LA TEMPERATURA PARA EL TWEEN 60 A LAS CONCENTRACIONES DE 0.05%, 0.50% Y 1.25%.....	74
GRÁFICO 15 LINEALIZACIÓ N DE LA VARIACIÓ N DE LA TEMPERATURA PARA EL TWEEN 80 A LAS CONCENTRACIONES DE 0.05%, 0.50%, 1.00% Y 1.25%	74
GRÁFICO 16 ENTROPÍA DE SUPERFICIE S^s PARA LA LECITINA	75
GRÁFICO 17 ENTROPÍA DE SUPERFICIE S^s PARA LA LECITINA	75
GRÁFICO 18 ENTALPIA DE SUPERFICIE H^s PARA LA LECITINA A DIFERENTES CONCENTRACIONES EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA.	77



GRÁFICO 19 ENTALPÍA DE SUPERFICIE H^S PARA EL TWEEN 60 A DIFERENTES CONCENTRACIONES EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA.	78
GRÁFICO 20 ENTALPÍA DE SUPERFICIE H^S PARA EL TWEEN 80 A DIFERENTES CONCENTRACIONES EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA.	78
FIGURA 1 ÁNGULOS DE CONTACTO ENTRE UN LÍQUIDO Y UN TUBO CAPILAR DE VIDRIO.....	10
FIGURA 2 TENSÍOMETRO DE Du-NOÛY.....	11
FIGURA 3 DISTRIBUCIÓN DE LOS TENSOACTIVOS EN UNA DISPERSIÓN	14
FIGURA 4 MICELA ESFÉRICA	16
FIGURA 5 MICELA DE FORMA LAMINAR	17
FIGURA 7 REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LA ESTRUCTURA DE LAS MICELAS Y FASES DE CRISTAL LÍQUIDO.....	18
FIGURA 6 MICELA DE FORMA CILÍNDRICA	17
FIGURA 8 MESOFASES LIOTROPAS DE EMULGENTES. (A) HEXAGONAL I, (B) LAMELAR, (C) HEXAGONAL II, (D) CUBICO.	19
FIGURA 9 GROSOR DE SEPARACIÓN INTERFACIAL NO CONOCIDO	20
FIGURA 10 TRABAJO REQUERIDO PARA INCREMENTAR EL ÁREA DE SUPERFICIE.....	21
FIGURA 11 MODIFICACIÓN DE LA TENSIÓN SUPERFICIAL POR LA ADICIÓN DE SOLUTOS	24
FIGURA 12 REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LA BALANZA DE LANGMUIR PARA LA MEDICIÓN DE PRESIONES DE SUPERFICIE DE MONOCAPAS.	25
FIGURA 13 ESQUEMA DEL TRABAJO DE COHESIÓN	26
FIGURA 14 ESQUEMA DEL TRABAJO DE ADHESIÓN	26
FIGURA 15 EJEMPLO DE UN AGENTE TENSOACTIVO ANIÓNICO: ESTEAROIL-2-LACTILATO DE SODIO.....	28
FIGURA 16 EJEMPLO DE UN AGENTE TENSOACTIVO CATIONICO.....	29
FIGURA 17 EJEMPLO DE UN TENSOACTIVO NO-IÓNICO	29
FIGURA 18 EJEMPLO DE UN AGENTE TENSOACTIVO ANFÓTERO	30
FIGURA 19 REACCIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE UN TENSOACTIVO NO-IÓNICO	33
FIGURA 20 EJEMPLO DE TENSOACTIVO NO-IÓNICO LAURATO DE SORBITAN.....	34
FIGURA 21 MOLÉCULA DEL 2-LACTILATO DE ESTARILLO.....	36
FIGURA 22 ESTRUCTURA DE LOS PRINCIPALES COMPONENTES DE LA LECITINA	41
FIGURA 23 ESTRUCTURA BÁSICA DE LOS TWEEN`s.....	46
FIGURA 24 ÁCIDO GRASO PREDOMINANTE DEL TWEEN (80) (MONOLEATO DE SORBITAN POLIOXIETILENADO)	46
FIGURA 25 ÁCIDO GRASO PREDOMINANTE DEL TWEEN (60) (MONOESTEREATO DE SORBITAN POLIOXIETILENADO)	46



Resumen

En el trabajo que a continuación se presenta, se muestra el estudio termodinámico realizado a los tensoactivos Lecitina, Tween 60 y Tween 80, a partir de la medición de la tensión superficial de estos en solución; las propiedades termodinámicas, que se presentan, de obtuvieron a partir de las ecuaciones respectivas. Estas propiedades son: Trabajo de cohesión (W_c), Exceso de soluto (Γ), Presión de superficie (π), Energía libre de Gibbs de superficie (G^S), Entropía de superficie (S^S) y Entalpía de superficie (H^S).

Los tensoactivos utilizados para el presente estudio, se escogieron debido a su reciente utilización en la industria de los alimentos, como es el caso de los Tween's 60 y 80, y por su uso común y frecuente como lo es la Lecitina (la cual fue de soya), ellos se pueden utilizar en combinación o solos, principalmente para la estabilización de emulsiones, así como la estabilización y/o formación de otros sistemas coloidales.

Los Tween's, son tensoactivos no-iónicos, y la lecitina se encuentra dentro de los tensoactivos catiónicos, esto proporcionara diferentes propiedades para su disolución en el sistema, y su comportamiento en la monocapa de la solución será distinta, esto es debido a las interacciones que se presentaran entre las mismas moléculas del tensoactivo, con las del solvente, en el caso de la lecitina, debido a su polaridad no es posible hacer soluciones en agua, por lo cual se requirió de aceite de oliva para su estudio.

Dentro de los resultados obtenidos se puede ver que los tensoactivos no-iónicos presentan un mayor abatimiento de la tensión superficial al reducir la tensión superficial del agua de 71.9 din/cm hasta una tensión superficial de casi 38 din/cm, lo que sería aproximadamente 33 din/cm, y la lecitina bajo la tensión superficial del aceite de oliva en aproximadamente 3 din/cm. Sin embargo no solo se debe tomar en cuenta este parámetro si se requiere de escoger un tensoactivo para su utilización, se debe de contemplar la estabilidad que presenta en la monocapa, esto se puede saber en base a los parámetros termodinámicos determinados de presión de superficie, energía libre de Gibbs de superficie, entropía y entalpía de superficie, además de los componentes con los que puede interaccionar el tensoactivo en el sistema coloidal a formar.



Introducción

En el presente trabajo se estudiaron los fenómenos de superficie que presentan los tensoactivos o surfactantes utilizados en alimentos como la lecitina y los Tween's 80 y 60; en una superficie en equilibrio utilizando como variable la tensión superficial la cual se obtuvo por medio del tensiómetro de Du-Noüy, y a partir de esta propiedad termodinámica se evaluaron otras propiedades de superficie como son: energía libre de Gibbs, trabajo de cohesión, entropía de superficie, concentración micelar crítica, exceso de soluto y presión superficial.

La importancia de este estudio radica en la aplicación a los sistemas que se emplean en la industria alimentaria; ya que la mayoría de ellos son sistemas dispersos tales como emulsiones, espumas, geles, soles, entre otros, donde se tienen dos fases una fase dispersa y una dispersante. La utilización de surfactantes también llamados tensoactivos, para favorecer la formación y estabilización de algunos los sistemas dispersos antes mencionados requiere del estudio de las propiedades superficiales; en la actualidad la mayoría de estos sistemas y en especial las emulsiones, son formadas y estabilizadas por medio de proteínas, se ha visto que los tensoactivos o surfactantes pueden lograr la estabilización de estos sistemas, igual o mejor con una concentración menor que la utilizada con proteínas.

El uso de los tensoactivos ya ha sido probado, pero poco promovido de forma científica, en la industria alimentaria. Por ejemplo el uso de la lecitina de soya para la formación de la emulsión de la margarina, o los Tween's, los cuales ya son conocidos y muy utilizados en la industria farmacéutica, adquieren cada día una mayor en el ramo alimentario para la industria panadera y de chocolates, aunque estos no son los únicos usos de los tensoactivos o surfactantes, se utilizan también en alimentos como sopas instantáneas, botanas, productos con queso, pescado, panadería y suplementos alimenticios (como agentes estabilizadores de emulsiones, de humectación o de solubilidad).



En el presente estudio se tomo en cuenta para la experimentación las variables de concentración y de temperatura que afectan el comportamiento superficial de los tensoactivos en la superficie del sistema debido a que la concentración de los componentes tensoactivos será siempre superior en la interfase y la temperatura afecta a la agitación cinética de las moléculas y su tendencia a escapar a la superficie, así como su origen; en el caso de la lecitina es un tensoactivo catiónico y los Tween's son tensoactivos no-iónicos, y por tanto su forma de disolución.



CAPITULO I

PROPIEDADES DE SUPERFICIE



1. Tensión Superficial

1.1 Definición

Una propiedad común a todas las intercaras (interfase) líquido-gas es la tensión superficial o fuerza perpendicular a la superficie del líquido y dirigida hacia el seno de éste. Esta fuerza va a hacer que el líquido asuma el estado de energía mínima y como es un hecho observado que una gota de líquido en caída libre asume el área de superficie más pequeña correspondiente a la forma esférica; también se le conoce como la fuerza en dinas que actúa en dirección perpendicular sobre una toda la línea de 1cm de longitud en la superficie.¹

Otra forma de definir tensión superficial es como el trabajo necesario para aumentar, a temperatura constante y de modo reversible, el área de una superficie en una unidad.²

1.2 Métodos de medición de la tensión superficial

Existen varios métodos para determinar la tensión superficial; unos podrían ser estáticos o dinámicos, dependiendo del tiempo de permanencia de la superficie o también métodos basados en tubos capilares o superficies curvas.

ASCENSO CAPILAR.- Para medir la tensión superficial de interfases líquido-vapor y líquido-líquido. Según este método, se introduce un tubo capilar en el líquido, y la medida de la altura a la que asciende dentro del tubo permite calcular la tensión superficial γ . Probablemente se habrá observado que la interfase agua-aire de una disolución acuosa en un tubo de vidrio, es curva en vez de plana. La forma de la interfase depende de las magnitudes relativas de las fuerzas de adhesión entre el líquido y el vidrio y las fuerzas de cohesión dentro del líquido. Supongamos que el líquido forma un ángulo de contacto θ con el vidrio (figura 1). Cuando las fuerzas adhesivas superan las fuerzas cohesivas, θ está en la zona de $0^\circ \leq \theta < 90^\circ$ [figura 1 a)]; cuando las fuerzas cohesivas superan las adhesivas, se cumple $90^\circ < \theta < 180^\circ$ [figura 1 b)]³.

¹ Toral "Fisicoquímica de superficies y sistemas dispersos" 1973 pag17

² Adamson A. W. "Physical Chemistry of surfaces" 1981

³ Levine N. I. "Fisicoquímica" Vol 1 2004 pag. 473

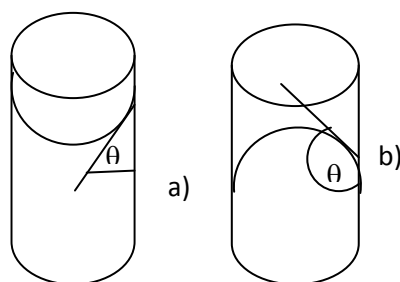


Figura 1 Ángulos de contacto entre un líquido y un tubo capilar de vidrio

MÉTODO DE DOBLE CAPILAR.- Con el propósito de tener mejores resultados, una variante del método es introducir un segundo capilar de diferente diámetro que el primero, así las alturas serán diferentes ya que resultan ser inversamente proporcionales a los radios de sus respectivos capilares. Aquí, lo importante es medir la diferencia de alturas entre el radio 1 (el tubo capilar de menor diámetro) y el radio 2 (tubo capilar de mayor diámetro)⁴.

MÉTODO DEL PESO Y DEL VOLUMEN DE LA GOTA.-Es un método muy conveniente para la medición de la tensión superficial en una interfase líquido-aire o la tensión interfacial líquido-líquido.

Consiste en conocer el peso o medir el volumen de las gotas de un líquido que se desprenden lentamente de la punta de un tubo estrecho o capilar montado verticalmente. El peso de la gota (y el volumen) se relaciona con la fuerza debida a la tensión superficial. El momento de desprendimiento de las gotas ocurre cuando su peso ya no está equilibrado por la tensión superficial que se ejerce a lo largo de la periferia exterior del extremo de la pipeta.

METODO DEL ESTALAGMOMETRO.-Es útil para determinar la tensión interfacial de dos líquidos; en este caso, se cuenta el número de gotas de un líquido en caída libre (N_1) y las gotas del mismo líquido formadas en el seno del segundo líquido (N_2). El fundamento es el mismo: al formarse lentamente una gota de líquido dentro de un capilar, la gota caerá cuando su peso sea mayor que la fuerza debida a la tensión superficial que sostiene a la gota adherida a la superficie.

OTROS METODOS.-Existen otros métodos como el de presión máxima de burbuja: una pequeña burbuja que se forma en la extremidad de un pequeño tubo

⁴ Adamson A. W. "Physical Chemistry of surfaces" 1981



inmerso en el líquido, al que se le aplica una presión, lo que hace que el radio de la burbuja aumente. Cuando la burbuja llega a ser un hemisferio de radio igual al radio del tubo, todo aumento ulterior de la presión provoca la desaparición de la burbuja ya que se dilata y luego se desprende⁵.

MÉTODO DEL LEVANTAMIENTO DEL ANILLO.

Tensiómetro de Du-Noüy.- Este método se basa en medir la fuerza necesaria para separar un anillo de la superficie, bien suspendido el anillo del brazo de una balanza, o utilizando un sistema de hilo de torsión⁶ (Ver fig. 2).

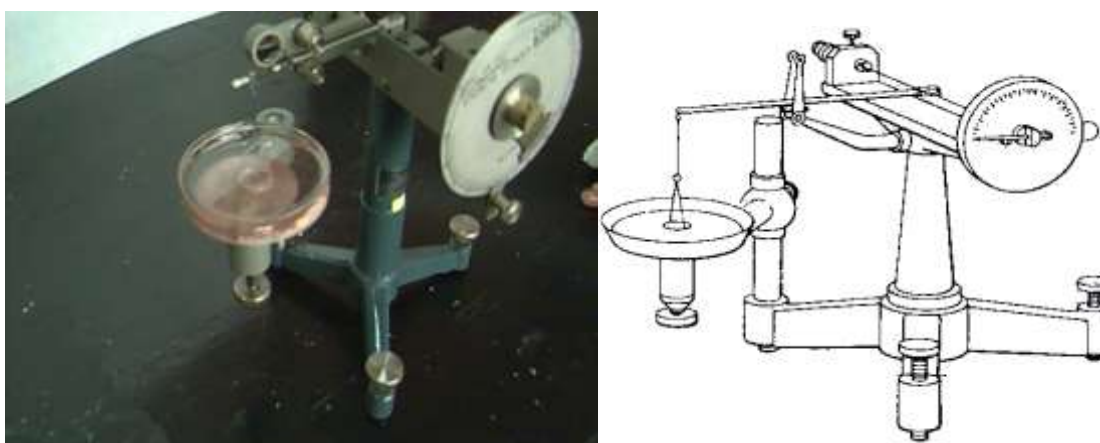


Figura 2 Tensiómetro de Du-Noüy

La fuerza para despegarlo está relacionada con la tensión superficial o interfacial por la expresión:

$$\gamma = \frac{\beta * f}{4 * \pi * r}$$

Ecuación 1

Donde γ es la tensión superficial; f es el empuje aplicado al anillo en dinas; r es el radio medio del anillo y β es un factor de corrección. Para tener un ángulo de contacto cero, se utilizan anillos de platino perfectamente limpios. Es esencial que el anillo repose totalmente plano sobre la superficie líquida.

Para medidas en interfases, el líquido inferior debe mojar bien el anillo.

La tensión superficial actúa sobre toda la circunferencia de este anillo, y la nueva superficie que se forma posee dos lados. Al momento de la ruptura, el peso del

⁵ Adamson A. W. "Physical Chemistry of surfaces" 1981

⁶ Toral "Fisicoquímica de superficies y sistemas dispersos" 1973



líquido desprendido será igual al producto de la tensión superficial por dos veces (la superficie externa y la superficie interna) el perímetro del círculo. Si m es la masa medida, se puede escribir:

$$p = m * g = 2p * d * g$$

Ecuación 2

$$\gamma = \frac{m * g}{2pd} = \frac{m * g}{4pr}$$

Ecuación 3

Donde p es el perímetro del círculo; g aceleración de la gravedad; d el diámetro del anillo y r el radio del anillo.

En realidad es necesario tomar en cuenta un factor de corrección el cual varía de 0.75 a 1.07 que depende de una pequeñísima porción de líquido que quedó adherido.

1.3 Tensión superficial en función de la temperatura y la concentración

1.3.1 Tensión superficial en función de la temperatura

La agitación cinética de las moléculas y la tendencia de estas a escapar hacia la superficie aumentan al subir la temperatura; por consiguiente, es de esperar que la tensión superficial disminuya al aumentar la temperatura, y de hecho, casi invariablemente, la tensión superficial se comporta de este modo con las únicas excepciones de unas cuantas sustancias (ciertos metales). A medida que se llega a la temperatura crítica, disminuye la fuerza ejercida sobre las moléculas de la superficie y, al llegar a la temperatura crítica, la tensión superficial se desvanece.⁷

Ley de Eötvös: La tensión superficial aumenta linealmente a medida que la temperatura desciende por debajo de cierta temperatura (que es alrededor de 6° más baja que la crítica) mientras la presión de un gas aumenta linealmente a

⁷ Toral "Fisicoquímica de superficies y sistemas dispersos" 1973 pag 31



medida que la temperatura sube desde el cero absoluto. La ecuación de *Ramsey* y *Shields* para la variación de la tensión superficial con la temperatura es:

$$\gamma(Mv)^{2/3} = \kappa(T_c - T - 6)$$

Ecuación 4

Mv es el volumen molecular; κ la constante de Eötvös; T es la temperatura experimental y T_c es la temperatura crítica.

Eötvös dedujo la ecuación (en la cual no restaban los 6° de la temperatura crítica) a base del examen de los estados correspondientes de líquidos de constitución molecular similar, bastante difíciles de considerar. Sin embargo, la base de su teoría es que las superficies han de compararse en cuanto al número de moléculas por unidad de área, el cual, si las moléculas son de forma similar y están empaquetadas simétricamente, ha de ser proporcional a $(Mv)^{2/3}$.

Con lo que nos quedaría la siguiente ecuación:

$$\frac{-d}{dT} [\gamma(Mv)^{2/3}] = \kappa$$

Ecuación 5

Relaciones empíricas entre la tensión superficial y la temperatura. Aunque no existe una sola ecuación que exprese la variación de la tensión superficial de todos los líquidos con la temperatura, hay, en muchos casos, ecuaciones que son lo bastante exactas para ser usadas para fines de interpolación.

La más sencilla es la expresión de la variación, casi lineal, de la tensión superficial con la temperatura.

$$\gamma = \gamma_o(1 - bT)$$

Ecuación 6

Donde γ es la tensión superficial; γ_o es la tensión superficial inicial b es una constante y T es la temperatura

Como la tensión superficial se desvanece al llegar a la temperatura crítica, la ecuación también puede escribirse como:



$$\gamma = \gamma_o \left(1 - \frac{T}{T_c} \right)$$

Ecuación 7

La exactitud de esta relación esta dentro del error experimental, en el caso de muchos líquidos, y, aunque en las proximidades de las temperaturas críticas es menos exacta, es usada teóricamente, pues no contiene ninguna constante arbitraria.

1.3.2 Tensión superficial en función de la concentración

Muchos componentes naturales de los alimentos muestran actividad superficial, por ejemplo alcoholes, ácidos grasos, fosfolípidos, proteínas y taninos.

La fuerte adsorción de estas sustancias sobre superficies o interfases, a menudo como capa monomolecular, se denomina tenso actividad. Los componentes tenso activos harán disminuir la tensión superficial del agua de modo considerable a bajas concentraciones, y la concentración de los componentes tenso activos será siempre superior en la interfase o superficie que en el resto de la dispersión (ver fig. 3).

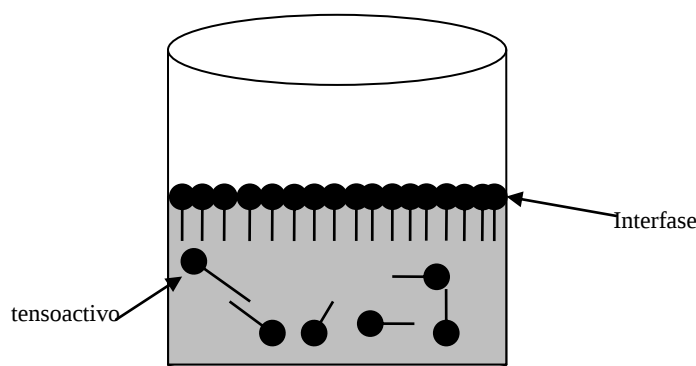


Figura 3 Distribución de los tensoactivos en una dispersión

Los agentes tenso activos o con actividad superficial son muy empleados como agentes emulsionantes y detergentes.

Según se va incorporando a una solución pequeñas cantidades de un componente, la tensión superficial disminuye hasta que se llega a un punto en que nuevas adiciones no tienen por resultado ulterior disminución. La concentración



correspondiente a este nivel se conoce como concentración micelar crítica. Para concentraciones por encima de la concentración micelar crítica las moléculas se agrupan entre sí formando micelas, las cuales actúan como un reservorio de moléculas. Las moléculas tienen libertad para separarse de la micela y moverse hacia la superficie de interés.

En ciertos casos la adición de algunos componentes en el agua incrementa su tensión superficial. Esto se conoce como adsorción negativa. Aquí las fuerzas de atracción soluto-superficie son mayores que las fuerzas de atracción disolvente-disolvente, y las moléculas del soluto tienden a emigrar desde la superficie hasta el interior del líquido. Estos compuestos se denominan tenso inactivos, ejemplo de ellos, el cloruro sódico y la sacarosa. En el caso de soluciones diluidas, existe una relación entre la tensión superficial γ , la concentración global C_b y la concentración de exceso en la superficie Γ :

$$\Gamma = \frac{C_b}{RT} \frac{d\gamma}{dC_b}$$

Ecuación 8

Donde R Es la constante de los gases ideales y T es la temperatura de la solución; esta ecuación es utilizada para calcular el exceso de soluto de una solución.

1.3.3 CONCENTRACIÓN MICELAR CRÍTICA

Formación de micelas: Las soluciones de surfactantes tienen propiedades físicas no usuales. En solución diluida se comportan como electrolitos normales pero a una concentración dada y bien definida ocurren cambios bruscos en su presión osmótica, conductividad eléctrica y tensión superficial. La concentración micelar crítica (CMC) es la concentración a la cual la formación de las micelas es apreciable, es en esta concentración donde ocurren cambios bruscos en las propiedades antes mencionadas.

Mc Bain(1950) explico este comportamiento anormal por la formación de micelas, agregados de los iones del surfactante, con las cadenas de hidrocarburo hacia dentro y los grupos hidrofílicos hacia fuera de la micela en contacto con el medio acuoso.



La micelización es otro mecanismo por el cual podría disminuir la tensión superficial. Una baja CMC estaría favorecida por los siguientes factores:

- ✱ Aumento de la longitud de la cola de las moléculas de surfactante (en una serie homóloga, cada grupo CH_2 más reduce la CMC a la mitad de su valor).
- ✱ Descenso de la temperatura (la CMC de LSNA en agua tiene un mínimo de 25°C).
- ✱ Adición de sales simples (KCl), que reduce la repulsión por efecto de pantalla.

Mc Bain en 1913, ya había dado cuenta de la existencia de micelas bien definidas, realizando estudios cuantitativos de las disoluciones jabonosas. Se encontró, que para disoluciones muy diluidas, la presión osmótica reproducía el número total de iones anfífilos tal como ocurre con la sal⁸.

Los primeros modelos propuestos para las estructuras de las micelas son tres

Micelas de forma esférica propuesto por Hartley (1936) gotitas líquidas dispersas con los grupos cargados en la superficie(ver fig. 4).

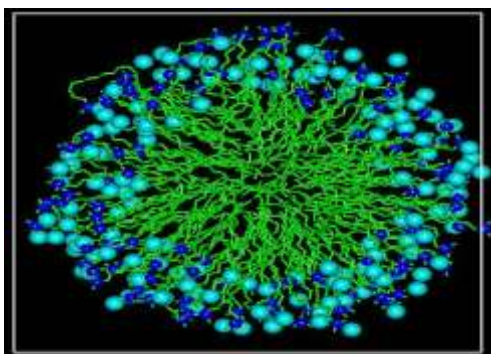


Figura 4 Micela esférica

⁸ http://es.wikipedia.org/wiki/Autoagregaci%C3%B3n_de_Anfifilos.



Micelas de forma laminar propuesta por Mc Bain (1950)[ver fig. 5].

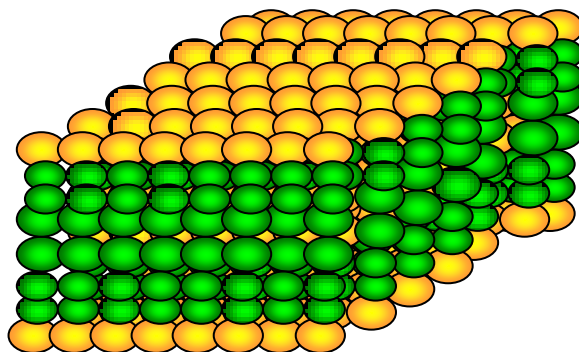


Figura 5 Micela de forma laminar

Micelas de forma cilíndrica propuestas por Harkins (1952)[ver fig. 6].

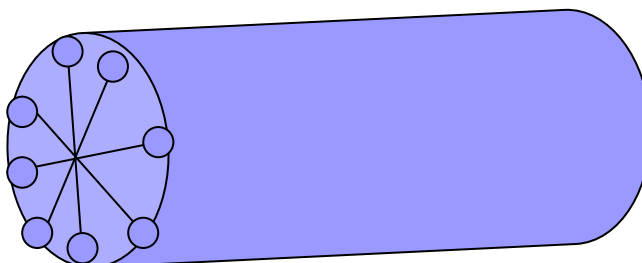


Figura 6 Micela de forma Cilíndrica

Originalmente Hartley propuso un modelo de gota o esférico de micelas donde el estado polar de las moléculas del surfactante se orientaba hacia el exterior, mientras que en el centro de la esfera se encontraban las cadenas de hidrocarburos. Esta estructura de la micela solo se lograba por determinado tiempo, mas tarde la micela presentaba características liquidas. Este modelo es el más apropiado para descripción termodinámica de las micelas, en el las contrapartes iónicas y aniónicas se acomodan de tal manera que forman una doble capa distribuyendo la difusividad eléctrica alrededor de la micela. Recientemente se ha sugerido que la estructura que forman los surfactantes es la de un bloque para el cual pasan por varios modelos (ver fig. 7) en los cuales las micelas consisten en pequeños cristales líquidos isométricos⁹.

⁹ Falbe J. "Surfactants in consumer Products Theory, technology and aplicación" 1987 pág. 166

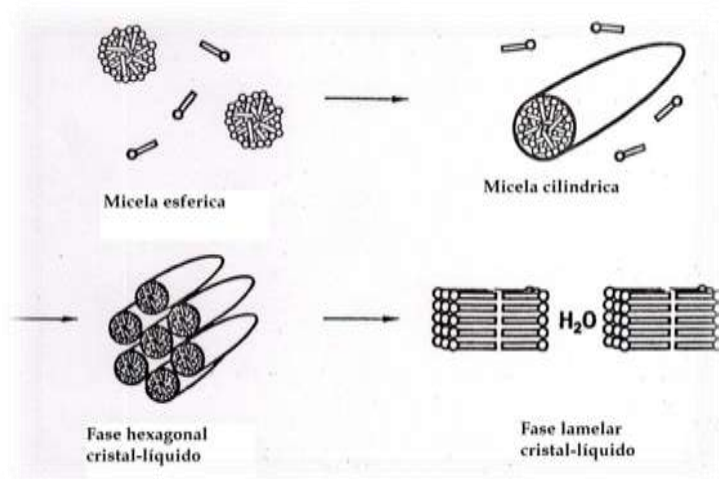


Figura 7 Representación esquemática de la estructura de las micelas y fases de cristal líquido¹⁰

En la actualidad a los emulgentes se les considera mesomorfos liotropos, es decir, dependiendo de la temperatura y del contenido acuoso forman una de las siguientes mesofases fluidas¹¹ (ver fig. 8):

- ✓ *Hexagonal I*: agregados cilíndricos de moléculas de emulgente; los grupos polares se orientan hacia la fase acuosa externa.
- ✓ *Lamelar*: bicapas de emulgentes, separadas por una zona acuosa.
- ✓ *Hexagonal II (invers hexagonal)*: agregados cilíndricos de moléculas de emulgente; los grupos polares se orientan hacia la fase acuosa interna.
- ✓ *Cubica*: agregados acuosos cúbicos centrados espacial y superficialmente en una matriz de moléculas de emulgente cuyos grupos polares se orientan hacia el agua.

La tensión superficial cesa de disminuir a causa de la asociación de las partículas en agregados micelares con lo cual disminuye el número de partículas reales en la solución.¹²

¹⁰ Falbe J. "Surfactants in consumer Products Theory, tecnology and aplication" 1987 pág. 167

¹¹ Belitz H. D. "Química de los alimentos" 1997 pág. 493-494

¹² Toral "Fisicoquímica de superficies y sistemas dispersos" 1973 pag 62-65

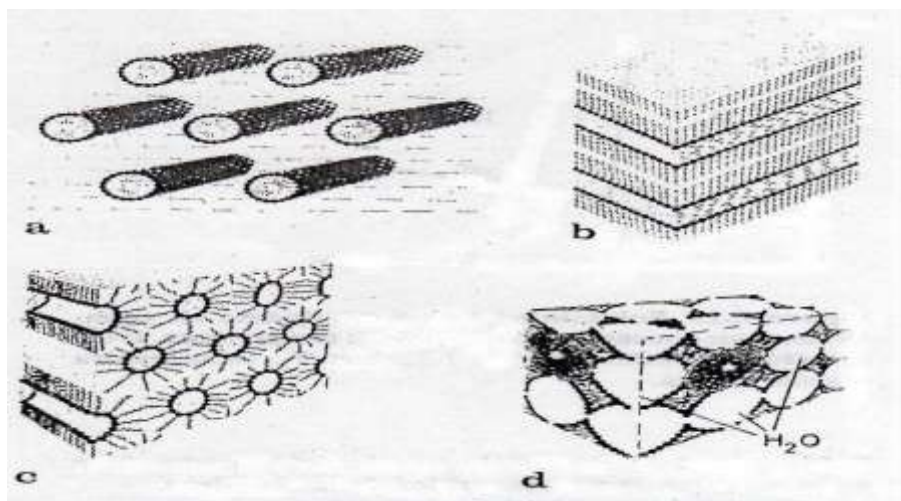


Figura 8 Mesofases liotropas de emulgentes. (a) Hexagonal I, (b) lamelar, (c) Hexagonal II, (d) cubico¹³.

1.3.4 Efecto de la temperatura sobre la CMC

Para surfactantes iónicos, la CMC en una solución agua-alcohol primero decrece y luego vuelve a crecer con la temperatura (Singh et al., 1979). Para surfactantes noiónicos, se observa un fenómeno semejante, con el mínimo cerca de 50°C (Crook, 1963). Los mismos autores discuten el porqué de la existencia de este mínimo de CMC en función de la temperatura.

El efecto se debe esencialmente a dos efectos opuestos. De un lado, un aumento de temperatura produce una reducción de hidratación del grupo hidrofílico. Este efecto es aquel que produce el punto de turbidez de los surfactantes no-iónicos y por lo tanto tiende a favorecer la micelización, es decir producir micelas a menor concentración (La CMC disminuye).

Por otra parte, un aumento de temperatura produce una desorganización creciente de las moléculas de agua que se encuentran cerca del grupo no polar; como consecuencia el desajuste agua-grupo no polar decrece, o en otros términos la compatibilidad aumenta, lo que desfavorece la formación de la micelas (CMC aumenta).¹⁴

¹³ Belitz H. D. "Química de los alimentos" 1997 pág. 494

¹⁴ Salager Jean Louis "Surfactantes en solución acuosa" 1993 pag 11



2. Propiedades termodinámicas de superficie

2.1 Energía de superficie y entropía

La energía libre por unidad de superficie, es el trabajo realizado para trasladar, desde el seno del líquido, las moléculas necesarias para formar la superficie renovada, contra la atracción de las moléculas que se encuentran por debajo de la superficie y que es ejercida sobre las moléculas de la superficie. Por tanto es una medida de intensidad de esta fuerza que actúa hacia el seno del líquido.

Para un sistema que consta de dos fases; existe una interfase de un grosor de separación interfacial que no es conocido (Ver fig.9).

La energía total del sistema estará dada por :

$$G = G^{\alpha} + G^{\beta} + G^S$$

Ecuación 9

Donde la energía libre de Gibbs total (G) es la sumatoria de la energía de las fases (G^{α} y G^{β}) y la interfase o superficie (G^S).

Para evaluar la energía tenemos que asumir que hay un perfil perfectamente definida en la interfase y una geometría hipotética (Ver fig.9).

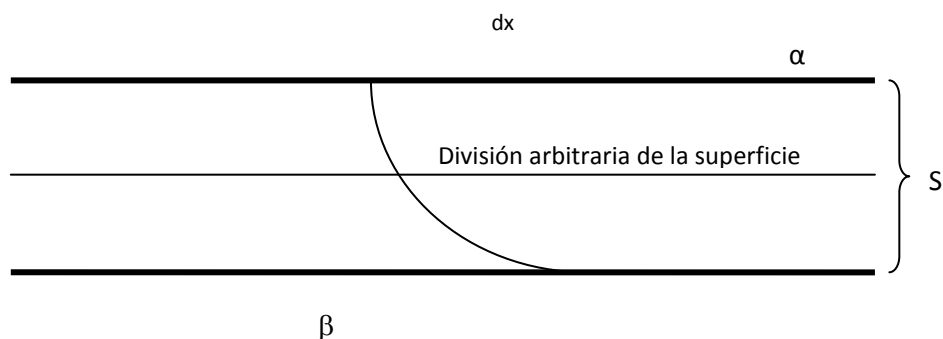


Figura 9 Grosor de separación interfacial no conocido

de forma diferencial:

$$dG = dG^{\alpha} + dG^{\beta} + dG^S$$

Ecuación 10



para las fases de líquido y aire homogéneas tenemos.

$$dG^{\alpha} = -S^{\alpha} dT + V^{\alpha} dP + \mu^{\alpha}_1 dn_1^{\alpha} + \mu^{\alpha}_2 dn_2^{\alpha} + \dots$$

Ecuación 11

$$dG^{\beta} = -S^{\beta} dT + V^{\beta} dP + \mu^{\beta}_1 dn_1^{\beta} + \mu^{\beta}_2 dn_2^{\beta} + \dots$$

Ecuación 12

Donde S es la entropía del componente; T la temperatura; V el volumen del componente; P la presión; μ potencial químico; n el número de moles.

La energía libre para la superficie debe incluir un término que es “el trabajo requerido para incrementar el área de la superficie” en una cantidad infinitesimal; en una cantidad dx a T^0 , P y composición constantes (ver fig.10).



Figura 10 Trabajo requerido para incrementar el área de superficie

Si la película se mueve un dx (distancia x) se requiere aplicar una fuerza (F) por lo tanto se realiza un trabajo (W):

$$W = Fdx$$

Ecuación 13

$F dx$ es igual a γdA (tensión superficial por la derivada del área) que es la fuerza que se opone por lo tanto:

$$W = Fdx = \gamma dA$$

Ecuación 14



El área del anillo será:

$$A = (2L)x$$

$$dA = (2L)dx$$

2L porque son dos veces las películas

Ecuación 15

$$\gamma dA = \gamma(2L)dx$$

$$W = Fdx = \gamma(2L)dx$$

$$Fdx = \gamma(2L)dx$$

$$F = (2L)\gamma = F/2L$$

Ecuación 16

Donde A es el área; L es la longitud de la circunferencia del anillo, x es la distancia.

Por lo tanto la energía libre de Gibbs en la superficie será:

$$dG^{\beta} = -S^{\beta}dT + \gamma dA + \mu_1^{\beta}dn_1^{\beta} + \mu_2^{\beta}dn_2^{\beta} \dots$$

Ecuación 17

la energía total del sistema será:

$$dG = dG^{\alpha} + dG^{\beta} + dG^s$$

$$dG = -S^{\alpha}dT + V^{\alpha}dP + \sum \mu^{\alpha}dn^{\alpha} - S^{\beta}dT + V^{\beta}dP + \sum \mu^{\beta}dn^{\beta} - S^s dT + V^s dP + \sum \mu^s dn^s + \gamma dA$$

Ecuación 18

A T, P y n constante¹⁵.

$$dG = \gamma dA$$

Ecuación 19

¹⁵ Toral "Fisicoquímica de superficies y sistemas dispersos" 1973 pag 62-65



$$\left(\frac{dG}{dA}\right)_{P,T,n} = \gamma = G^s$$

Ecuación 20

para obtener la entropía de superficie:

$$\left(\frac{dG}{dT}\right)_{P,T,n} = -S^s = \left(\frac{d\gamma}{dT}\right)_P$$

Ecuación 21

2.2 Exceso de soluto

La concentración de exceso en la superficie puede interpretarse como la masa de soluto adsorbida por unidad de superficie. La tendencia de los componentes tenso activos a concentrarse en una interfase favorece la expansión de la interfase; en el equilibrio, ello debe contrarrestar las fuerzas normales de tensión superficial¹⁶.

La tensión superficial se modifica por la adición de solutos de la siguiente forma:

Sí $\left(\frac{\partial \gamma}{\partial C}\right)$ es positivo entonces Γ es negativo, esto significa que la concentración de soluto en el seno de la solución es mayor que en la superficie del líquido. Este comportamiento se muestra en el caso de sustancias muy polares (ver fig. 11).

Sí $\left(\frac{\partial \gamma}{\partial C}\right)$ es cero entonces Γ es cero, esto significa que la concentración del soluto en el seno de la solución es igual a la concentración de soluto en la superficie. Este comportamiento es muy raro y se da principalmente en la sacarosa y los polisacáridos (ver fig. 11).

¹⁶ Lewis M. J. "Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado". 1993 pag 174-175



Sí $\left(\frac{\partial \gamma}{\partial C}\right)$ es negativo entonces Γ es positivo, esto significa que la concentración de soluto en el seno de la solución es menor que la concentración de soluto en la superficie, por tanto si hay absorción. Este comportamiento lo presentan sustancias muy poco polares generalmente tensoactivos (ver fig.11).

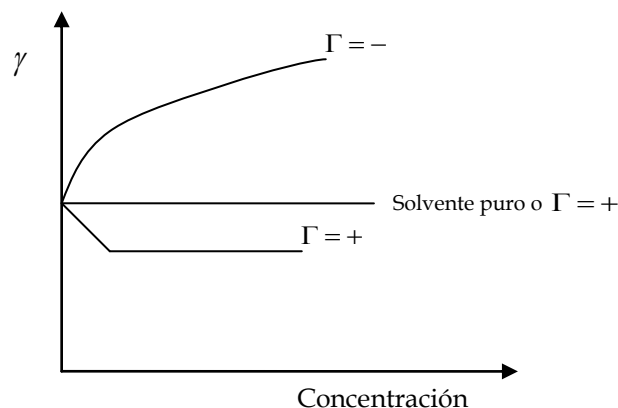


Figura 11 Modificación de la tensión superficial por la adición de solutos

2.3 Presión superficial

Hay una diferencia en la manera en que una fuerza superficial actúa sobre un fluido y un sólido, pero en el caso de una monocapa superficial compuesta por moléculas adsorbidas, estas fuerzas son las resultantes de todas las moléculas en la superficie, que compiten por un espacio en la misma.

Si π es la presión de superficie o de expansión de una capa adsorbida, entonces la tensión superficial descenderá hasta un valor γ_0 (tensión superficial inicial o del solvente puro), donde:

$$\pi = \gamma_0 - \gamma$$

Ecuación 22

Así pues, la presión de superficie de una monocapa es la reducción en la tensión superficial debida a la monocapa.

Por definición, el descenso de γ_0 de un líquido se debe a la presión de una monocapa en expansión que se opone a la concentración normal de la interfase libre.



La variación de π con el área disponible para la extensión de la sustancia se representa por las curvas $\pi - A$ (presión-área). El área se expresa, en general, en $\text{\AA}^2/\text{molécula}$ o en m^2/mg , cuando las moléculas son complejas. Se pueden considerar estas curvas como el equivalente bidimensional de las curvas $P-V$ en los gases. Para la obtención de las curvas puede utilizarse la balanza de Langmuir-Muir-Adam (ver fig.12).

La película se extiende entre una barrera móvil y un flotador unido a un sistema de alambre de torsión. Se mide π directamente por la fuerza horizontal que ejerce la película sobre el flotador y el área por la distancia de la barrera.

Para que la extensión sea uniforme, se disuelve la sustancia en un disolvente, normalmente al 0.1%.

Se agrega hasta completar 0.01 mm de espesor.

Se mide la fuerza que hay que aplicar al flotador para mantenerlo en una posición fija y se divide esta fuerza por la longitud del flotador.

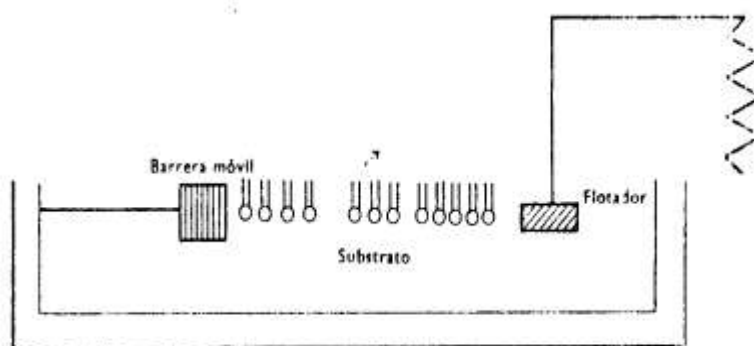


Figura 12 Representación esquemática de la balanza de Langmuir para la medición de presiones de superficie de monocapas¹⁷.

2.4 Trabajo de cohesión.

Para el caso de un sistema coloidal, podemos definir la cohesión como la fuerza que une las moléculas dispersas, la adherencia entre estas, resulta de las fuerzas de contacto entre las micelas y se opone a la separación entre ellas

El trabajo de cohesión para un líquido corresponde al trabajo necesario para dividir en dos una columna de líquido de 1 cm^2 de sección (ver fig. 13) y vale¹⁸:

$$W_c = 2\gamma$$

Ecuación 23

¹⁷ Toral "Fisicoquímica de superficies y sistemas dispersos" 1973 pag 49

¹⁸ Shaw "Introducción a la química de superficies y coloides" Alambra 1977 pag 90

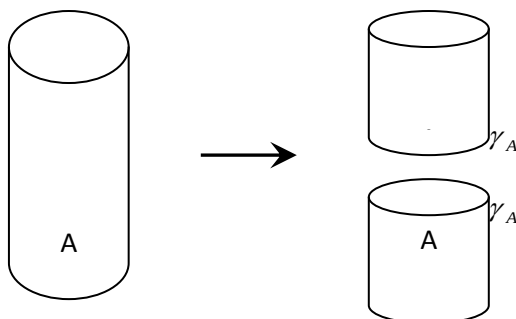


Figura 13 Esquema del trabajo de cohesión¹⁹

2.5 Trabajo de adhesión²⁰

El trabajo de adhesión W_{AB} entre dos líquidos inmiscibles corresponde al trabajo necesario para separar la unidad de área de la interfase líquido- líquido y formar dos interfases líquido aire separadas (ver fig. 14).

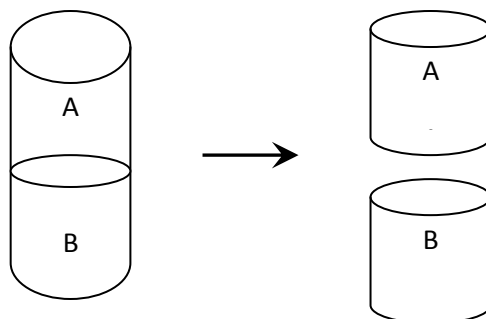


Figura 14 Esquema del trabajo de adhesión²¹

Puede considerarse que es igual al aumento de energía total del sistema, es decir, la energía final menos la energía inicial. Por consiguiente:

$$W_{AB} = \gamma_A + \gamma_B - \gamma_{AB}$$

Final Inicial

Ecuación 24

Donde W_{AB} es trabajo de adhesión, γ_A tensión superficial del líquido A, γ_B tensión superficial del líquido B y γ_{AB} es la tensión superficial de ambos sistemas al inicio.

Puede verse que el trabajo de adhesión aumentará en tanto disminuya la energía interfásica; cuando la energía interfásica llega a ser cero los dos líquidos son totalmente miscibles.

¹⁹ Lewis M. J. "Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado". 1993 pág. 187

²⁰ Lewis M. J. "Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado". 1993 pág. 186-187

²¹ Lewis M. J. "Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado". 1993 pág. 187



CAPITULO II

SURFACTANTES



3. Tensoactivos

3.1 Generalidades

Se conocen como tensoactivos o surfactantes a aquellas moléculas constituidas por un extremo no polar (hidrocarbonado), y un extremo polar; el extremo no polar se orienta hacia la fase oleosa y el extremo polar hacia la fase acuosa, por lo que el tensoactivo residirá en la interfase, lo cual reducirá la tensión superficial dando como resultado una estabilización de sistemas como emulsiones, suspensiones espumas, etcetera.

Los tensoactivos están clasificados en cuatro grupos de acuerdo con sus propiedades fisicoquímicas¹:

Agentes tensoactivos aniónicos.- Son aquellos que en solución se ionizan, pero teniendo en cuenta el comportamiento de sus miembros en solución, el grupo hidrófobo queda cargado negativamente (ver fig. 15).

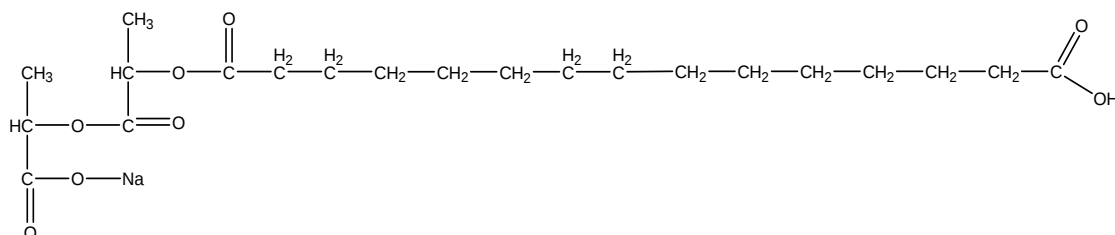
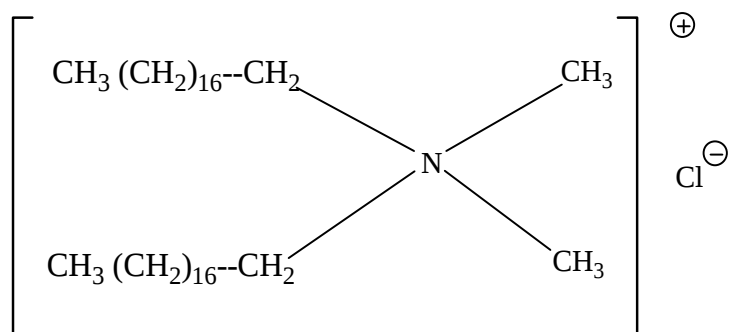


Figura 1 Ejemplo de un agente tensoactivo aniónico: Estearoil-2-lactilato de sodio²

Agentes tensoactivos catiónicos.- Son aquellos que en solución forman iones, resultando cargados positivamente el grupo hidrófobo de la molécula (ver fig. 16).

¹ Sociedad Química de México. “Tensoactivos y su aplicación en la industria”. 1978

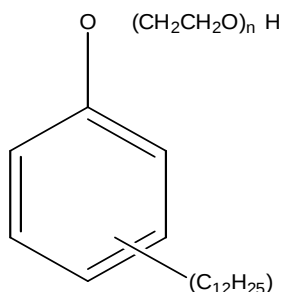
² Belitz H. D. “Química de los alimentos” 1997 pág. 498



CLORURO DE DIOCTADECIL DIMETIL AMONIO

Figura 2 Ejemplo de un agente tensoactivo catiónico.

Agentes tensoactivos no-iónicos.- son Aquellos que sin ionizarse, se solubilizan mediante un efecto combinado de un cierto número de grupos solubilizantes débiles (hidrófilos), tales como enlaces tipo éter o grupos hidroxilos en sus moléculas(ver fig.17).

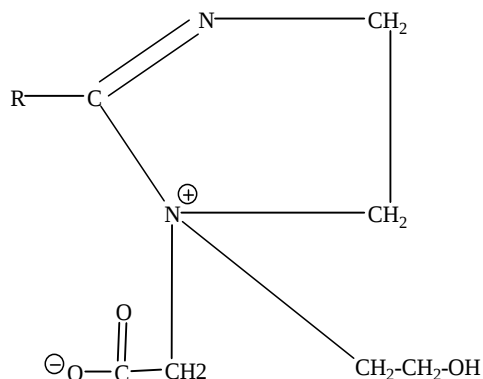


DODECILFENOL POLIOXIETILINEADO

Figura 3 Ejemplo de un tensoactivo no-iónico

Agentes tensoactivos anfóteros o anfólitos.- Estos materiales presentan en su molécula grupos aniónicos y cationicos(ver fig.18). Su comportamiento iónico será de acuerdo al medio de disolución, según sea este ácido o alcalino³.

³ Sociedad Química de México. "Tensoactivos y su aplicación en la industria". 1978



MONOCARBOXILATO ANFOTERICO

Figura 4 Ejemplo de un agente tensoactivo anfótero

3.1.1 Composición química.

Todos los agentes de superficie activa o tensoactivos contienen en su molécula, uno o varios grupos hidrofílicos, de tipo iónico y no iónico y generalmente una estructura hidrocarbonada lipofílica no polar⁴.

Es importante examinar algunos de los tipos más usuales de los grupos lipofílicos e hidrofílicos que intervienen en la mayoría de los agentes tensoactivos comerciales.

GRUPOS LIPOFÍLICOS: La parte lipofílica de la molécula puede estar constituida por estructuras alifáticas o alifático-aromáticas, puesto que las materias primas utilizadas en su preparación son hidrocarburos alifáticos saturados o insaturados, ramificados o lineales e hidrocarburos aromáticos formados por anillos simples o condensados. Dentro de estos grupos alquílicos, los de mayor uso en la industria de tensoactivos, son los de cadena ramificada ya que tienen la ventaja de ser biodegradables lo que no ocurre con los lineales.

1. Cadenas alquílicas lineales de C₈ a C₁₈ derivados de ácidos grasos naturales. Estos se pueden usar como tal, o como intermediarios de síntesis de agentes tensoactivos.
2. Cadenas alquílicas de C₃ a Carbono frecuentemente unidos a núcleos aromáticos como benceno o naftaleno.
3. Cadenas alquílicas olefínicas de C₈ a C₁₈ o más, obtenidas por polimerización de propeno, isobuteno e isómeros de penteno y hexeno. Estas olefinas se utilizan ampliamente en la alquilación de fenol y benceno.

⁴ Myers D. "Surfactant science and technology" VCH Weinheim. 1988.



4. Hidrocarburos lipofílicos derivados del petróleo, en el rango de C_8 a C_{20} o más, a partir de fracciones de querosina, aceites ligeros y ceras de parafina.
5. Obtención de alcoholes de alto peso molecular, por el proceso "OXO".

GRUPOS HIDROFILO; Los grupos hidrófilos pueden estar cargados eléctricamente, debido a la presencia de un par de iones de carga opuesta, o presentar cargas residuales, positivas o negativas que ponen de manifiesto la presencia de un grupo dipolar. Es importante tomar en consideración los grupos hidrofílicos no-iónicos, conteniendo uniones etéreas, hidroxilos etc.

a) Grupos ácidos, como carboxilos, monoéster sulfúrico, sulfónicos, fosfatos.

b) Grupos básicos, como aminas primarias, secundarias, terciarias, derivados de amonio cuaternario.

c) Grupos no-iónicos : $-\text{COO}-$; $-\text{CONH}-$; $-\text{NH}-$; $-\text{O}-$; $-\text{CH}(\text{OH})-$

AGENTES TENSOACTIVOS ANIONICOS⁵:

Están caracterizados por la existencia en su molécula de cationes orgánicos e inorgánicos (Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Ba^{++} , Mg^{++} , NH_4^+) y una parte hidrofílica que contiene los grupos aniónicos ($-\text{COO}-$, $-\text{SO}_3^-$, $-\text{O}-$, PO_3^{2-} etc) unido a la fracción orgánica.

Dentro de esta clasificación, exceptuando los jabones, los alquil lunaril sulfatos y alcoholes sulfatados son de mayor importancia por su empleo en la formulación de detergentes de uso doméstico e industrial

Además de los productos anteriores, podemos citar otros agentes de superficie activa aniónica :

- ✓ Tipo sulfonato - $\text{SO}_3^{(-)}$ ejemplos : Alquil bencensulfonato de sodio, Alquil sulfonato de sodio, Alfa olefin sulfonato de sodio.
- ✓ Tipo sulfato - $\text{O} - \text{SO}_3^{(-)}$ ejemplos: Alquil sulfato de sodio, Alquil etersulfato de sodio, Monoglicérido sulfato de sodio, Nonilfenileter sulfato de sodio.
- ✓ Tipo fosfato - $\text{O} - \text{P} - \text{O}_3^{(2-)}$ ejemplos : Alquil fosfato de sódio, Ácido oleileter fosfórico, Alquil eter fosfato de sodio.
- ✓ Tipo sulfosuccinatos - $\text{C O} - \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{SO}_3^{(-)} - \text{CO}_3^{(-)}$. ejemplos: Alquileter sulfosuccinato de sódio, Alquilmonoetanolamidasulfosuccinato disódico, Dialquilsulfosuccinato de sodio.
- ✓ Tipo sulfoacetato ejemplo: Lauril sulfoacetato de sodio $[\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_n - \text{CH}_2 - \text{O} - \text{CO} - \text{CH}_2 - \text{SO}_3^{(-)} \text{Na}^{(+)}]$
- ✓ Tipo derivados de aminoácidos ejemplo: n- Lauril sarcocinato de sodio, Alquilamidopoliipeptidato de sodio.

⁵ Myers D. "Surfactan science and tecnology" VCH Weinheim. 1988.



AGENTES TENSOACTIVOS CATIONICOS⁶:

El término "surfactante catiónico" se refiere a los compuestos que contienen por lo menos una cadena de 8 a 25 átomos de carbono, derivada de un ácido graso o de un derivado petroquímico y un nitrógeno cargado positivamente, el anión suele ser un $\text{Cl}^{(-)}$, $\text{Br}^{(-)}$, $\text{OH}^{(-)}$ ó $\text{SO}_4^{(-2)}$.

La mayoría de los agentes catiónicos están constituidos por una cadena larga de sales de amonio cuaternarios o sales de alquilaminas. La cadena larga constituye el grupo hidrofóbico, en tanto que el hidrofílico pequeño y altamente ionizado, lo constituye el nitrógeno tetravalente, en forma de sales de amonio cuaternario. Estos surfactantes son de menor interés que los agentes aniónicos y no-iónicos pero reside su importancia por su eficiencia bactericida, germicida, algicida etc.

En el catión, el radical R, representa la cadena larga (grupos alquílicos o arílicos); los otros radicales pueden estar reemplazados por átomos de hidrógeno u otros radicales alquílicos. Como ejemplos podemos citar al Cloruro de alquil dimetilbencilamonio y al cloruro de cetil trietil amonio

AGENTES TENSOACTIVOS NO-IONICOS⁷:

El término "surfactante no-iónico" se refiere principalmente a los derivados polioxietilenados y polioxipropilenados, también se incluyen en esta categoría los derivados de anhídridos del sorbitán y las alcanolamidas grasas etc.

Los surfactantes no-iónicos tienen la ventaja de que son estables con la mayoría de los productos químicos en las concentraciones usuales de empleo. Al no ionizarse en agua, no forman sales con los iones metálicos y son igualmente efectivos en aguas blandas y duras. Su naturaleza química los hace compatible con otros tensoactivos aniónicos, catiónicos y coloides cargados positiva y negativamente. Estas características, los hacen valiosos como materia prima para la formulación de diversos productos industriales como:

- ☞ Agricultura: concentrados emulsionables y polvos humectables.
- ☞ Látex: emulsionantes primarios y coemulsionantes.
- ☞ Curtido: desengrase, teñido, engrasado.
- ☞ Textiles: mercerizado, blanqueado, teñido, descrude.
- ☞ Procesos de metales: limpiadores alcalinos.
- ☞ Pinturas en emulsión: humectación y dispersión de pigmentos.
- ☞ Petróleo: tratamiento de pozos de gas, aditivos para lodos de perforación.
- ☞ Pulpa y papel: lavado de pulpa, desentintado de papel, humectantes y suavizantes.
- ☞ Química: intermediario de síntesis de otros surfactantes aniónicos y catiónicos.

⁶ Myers D. "Surfactant science and technology" VCH Weinheim. 1988.

⁷ Myers D. "Surfactant science and technology" VCH Weinheim. 1988.



- ☞ Limpiadores en general: limpiadores de pisos, detergentes de lavandería combinados en pequeña proporción con los tensoactivos aniónicos.

En los agentes no-iónicos el grupo hidrofóbico está formado por una cadena larga que contienen una serie de grupos débilmente solubilizantes (hidrofílicos) tales como enlaces etéreos o grupos hidroxilos en sus moléculas. La repetición de estas unidades débiles tiene el mismo efecto que un hidrófilo fuerte, pero no hay ninguna ionización.

Los primeros tensoactivos no-iónicos se obtuvieron en Alemania en 1930, por reacción de alcoholes grasos o alquifenoles sustituidos con óxido de etileno en presencia de catalizadores básicos.

La longitud de la cadena se puede variar controlando la reacción de óxido de etileno a alquifenol sustituido como se indica en la siguiente reacción (ver fig. 19):

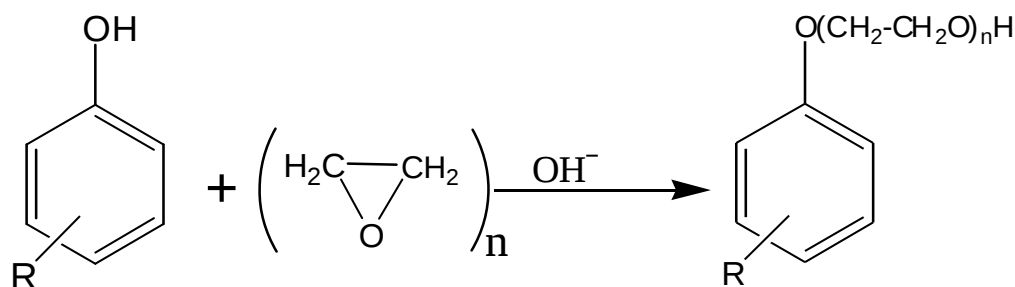


Figura 5 Reacción para la obtención de un tensoactivo no-iónico⁸

"n" puede ser de 1.5 a 30 o más. Esto hace posible una variedad de productos de diferentes propiedades y aplicaciones como humectante, detergente, emulsionante, dispersante etc. Prácticamente, cualquier compuesto hidrofóbico que contenga un su estructura grupos hidrofílicos, hidroxilos, aminos, o aminos con un hidrógeno lábil puede reaccionar con óxido de etileno para formar tensoactivos no-iónicos.

Como ejemplo de ellos pueden ser:

- ☞ Alcoholes grasos polioxietilenados: alcohol laúrico etoxilado, alcohol oleílico.
- ☞ Alquil fenol polioxietilenados: nonilfenol etoxilado.
- ☞ Ácidos grasos polioxietilenados: ácido oleico etoxilado.
- ☞ Derivados de óxidos de etileno y propileno: alcohol graso etoxilado ó propoxilado
- ☞ Amidas de ácidos grasos polioxietilenados: lauril dietanolamida polioxietilenada.

⁸ M. C. Teresa Unda C. <http://depa.pquim.unam.mx/~tunda/metodosdets.htm>



- γ Aminas grasas polioxietilenadas : laurilamina polioxietilenada.
- γ Esteres de ácidos grasos: monoestearato de etilenglicol.
- γ Alcanolamidas: lauril monoetanolamida.
- γ Derivados de azúcar: monolaurato de sacarosa.
- γ Esteres de ácidos grasos derivados del sorbitol: laurato de sorbitán(ver fig. 20)

Fórmula:

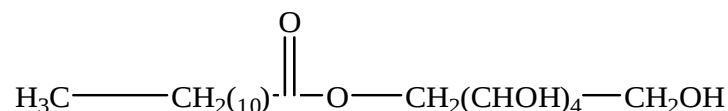


Figura 6 Ejemplo de tensoactivo no-iónico Laurato de sorbitan⁹

AGENTES TENSOACTIVOS ANFOTERICOS:

Presentan en su molécula a grupos aniónicos y catiónicos, constituidos por una cadena grasa y un nitrógeno cuaternario conteniendo un radical aniónico, son productos completamente estables en sistemas ácidos y alcalinos, son importantes en el área cosmética por su inocuidad a la piel, también tienen aplicación en inhibidores de la corrosión y en neutralización de cargas.

Ejemplo de ellos son las betaínas y derivados de imidazolinas: alquil dimetil betaína, alquil amida propil dimetil betaína.

Finalmente cabe mencionar otra clasificación elaborada por el comité internacional de la detergencia en base decimal, que considera los siguientes aspectos:

- ★ Grupo hidrófilo determinante.
- ★ Grupo hidrófobo determinante.
- ★ Caracteres complementarios de la parte hidrófoba.
- ★ Caracteres complementarios del grupo hidrófilo determinante.

Los agentes Tensoactivos más utilizados en la industria de los alimentos son de constitución catiónica y no-iónica, a continuación se muestra una lista de aquellos tensoactivos que se utilizan para la formación y/o estabilización de emulsiones¹⁰:

- E322 - Lecitinas
- E400 - Ácido Algínico
- E401 - Alginato De Sodio

⁹ M. C. Teresa Unda C. <http://depa.pquim.unam.mx/~tunda/metodosdets.htm>

¹⁰ <http://www.aditivosalimentarios.com/index.php/tipo/5/emulgentes-estabilizadores-espesantes-y-gelificantes>



- E402 - Alginato De Potasio
- E403 - Alginato De Amonio
- E404 - Alginato De Calcio
- E432 - Monolaurato De Polioxietileno Sorbitán
- E433 - Monooleato De Polioxietileno Sorbitán
- E434 - Monopalmitato De Polioxietileno Sorbitán
- E435 - Monoestearato De Polioxietileno Sorbitán
- E436 - Triestearato De Polioxietileno Sorbitán
- E440i - Pectina
- E440ii - Pectina Amidada
- E442 - Fosfátidos De Amonio
- E470a - Sales De Sodio, De Potasio Y De Calcio D
- E470b - Sales Magnésicas De Ácidos Grasos
- E471 - Mono- Y Diglicéridos De Ácidos Grasos
- E472a - Ésteres Acéticos De Los Mono- Y Diglicér
- E472b - Ésteres Lácticos De Los Mono- Y Diglicér
- E472c - Ésteres Cítricos De Los Mono- Y Diglicér
- E472d - Ésteres Tartáricos De Los Mono- Y Diglic
- E472e - Ésteres Monoacetiltartárico Y Diacetiltila
- E472f - Ésteres Mixtos Acéticos Y Tartáricos De
- E473 - Sucroésteres De Ácidos Grasos
- E474 - Sucroglicéridos
- E475 - Ésteres Poliglicéricos De Ácidos Grasos
- E476 - Polirricinoleato De Poliglicerol
- E477 - Ésteres De Propano-1,2-Diol De Ácidos Gr
- E481 - Estearoil-2-Lactilato De Sodio
- E482 - Estearoil-2-Lactilato De Calcio
- E483 - Tartrato De Estearilo
- E491 - Monoestearato De Sorbitán
- E492 - Triestearato De Sorbitán
- E493 - Monolaurato De Sorbitán
- E494 - Monooleato De Sorbitán
- E495 - Monopalmitato De Sorbitán¹¹

En la actualidad muchos de los tensoactivos utilizados son sintéticos. En todo el mundo se producen de 150,000 a 200,000 tipos de tensoactivos. Los mono y diacilglicéridos y sus derivados suponen aproximadamente el 75% del total de estos, dentro de los tensoactivos sintéticos se encuentran una serie de compuestos no-iónicos. En ellos, y a y a diferencia de los compuestos iónicos, no existe el peligro de que la capacidad tensoactiva disminuya debido a la formación de sales con componentes del alimento. Los siguientes compuestos se utilizan universalmente¹²:

¹¹ <http://www.aditivosalimentarios.com/index.php/tipo/5/emulgentes-estabilizadores-espesantes-y-gelificantes>

¹² Belitz H. D. "Química de los alimentos" 1997 pág. 497



Los mono y diacilglicérols que normalmente se utilizan mezclados. A partir de ellos (ver Tabla 1) se obtienen otros emulgentes con acciones especiales. Como consecuencia de la multiplicidad de posibilidades de reacción de composición compleja, un ejemplo es la síntesis del diacetiltartaricomonoglicérido¹³.

Tabla 1 EMULGENTES FORMADOS POR MEZCLAS DE MONO Y DICILGLICERIDOS¹⁴

Nombre			Preparación por reacción con mezclas de mono y diacilglicérols con
Mono y diacilglicérols esterificados con			
Ácido acético (mono y diacilglicérols acetilados)	Acetemo	E 472a	Anhídrido acético
Ácido láctico	Lactemo	E 472b	Ácido láctico
Ácido Cítrico	Citremo	E 472c	Ácido Cítrico
Ácido tartárico mono y diacetilado	Datemo	E 472e	Ácido tartárico y cítrico

Ésteres de azúcares, se obtienen, entre otros procedimientos, por transesterificación de los ésteres metílicos de ácidos grasos 14:0, 16:0, 18:0 y/o 18:1 con sacarosa o bien lactosa, los mono y diésteres inodoros e insípidos que se obtienen cubren un amplio abanico de valores de HLB (7-13) [ver apartado 4.1.2] dependiendo de su estructura y se utilizan para estabilizar las emulsiones aceite/agua y solubilizar polvos instantáneos.

Ésteres de ácidos grasos y sorbitan (spans) se utilizan entre otras cosas para estabilizar emulsiones agua/aceite.

Ésteres de ácidos grasos con sorbitan y polioxietileno, para aumentar sus propiedades hidrófilas el sorbitan se transforma con óxido de etileno en los correspondientes derivados polioxiétilénicos y a continuación se esterifica con ácidos grasos, estos se utilizan para estabilizar emulsiones aceite/agua¹⁵.

2-lactilato de estearilo, la esterificación del ácido esteárico con ácido láctico en presencia de hidróxido sódico o cálcico da lugar a una mezcla de lactatos de estearilo (sales de Na o Ca), el componente principal es 2- lactilato de estearilo (ver fig 21)

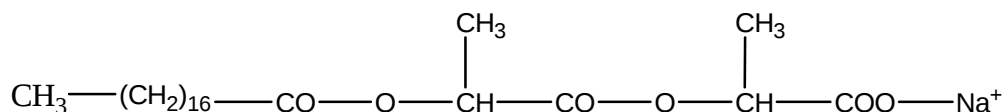


Figura 7 Molécula del 2-lactilato de estearilo¹⁶

El ácido libre actúa como emulgente agua/aceite y las sales como emulgente aceite/agua. El valor de HLB de la sal sódica es de 8-9 y el de la sal cálcica 6-7 la

¹³ Belitz H. D. "Química de los alimentos" 1997 pág. 497

¹⁴ Belitz H. D. "Química de los alimentos" 1997 pág. 497

¹⁵ Belitz H. D. "Química de los alimentos" 1997 pág. 497

¹⁶ Belitz H. D. "Química de los alimentos" 1997 pág. 498



primera sal estabiliza, por ejemplo, las emulsiones aceite/agua que vayan a sufrir varios ciclos de congelación/descongelación.

3.1.2 Balance Hidrófilo-Lipófilo (HLB)

En 1949 Griffin propuso una escala de medidas de la fuerza relativa de la parte hidrófila y lipófila llamada "balance hidrófilo-lipófilo". Este nombre empírico puede ser ligado a la naturaleza química del emulsificante dándole un valor a los grupos funcionales de los tensoactivos. Números de 0 a 20 han sido atribuidos a una serie de tensoactivos¹⁷.

La relación propuesta es:

$$HLB = VGH - VGL + 7$$

VGH : valor de los grupos hidrófilos (suma de los valores)

VGL : valor de los grupos lipófilos (suma de los valores).

Los valores de estos grupos fueron obtenidos de forma experimental y se encuentran en la siguiente tabla en la siguiente tabla (Tabla 2):

Tabla 2 VALORES DE LOS GRUPOS LIPÓFILO E HIDRÓFILOS PARA EL CALCULO DEL HLB¹⁸

Grupo hidrófilo	VGH	Grupo lipófilo	VGL
—OSO ₃ ⁻ , Na ⁺	38.7	I	
—SO ₃ ⁻ , Na ⁺	37.4	—CH—	0.475
—COO ⁻ , Na ⁺	21.1	—CH ₂	0.475
—COO ⁻ , K ⁺	19.1	—CH ₃	0.475
Anillo de sorbitano	6.8	=CH—	0.475
Éster	2.4	—CH ₂ —CH ₂ —O—	0.15
—COOH	2.1	I	
		CH ₃	
—OH (libre)	1.9		
—O—	1.3	Anillo de benceno	1.662
—(CH ₂ —CH ₂ —O)—	0.33		

Un valor pequeño de HLB (3-6) dará una emulsión agua en aceite.

Un valor elevado de HLB (8-18) dará una emulsión aceite en agua.

¹⁷ Griffing W.C. "Emulsions" Atlas Chemicals Industries, Inc.

¹⁸ Belitz H. D. "Química de los alimentos" 1997 pág. 495



Muchas propiedades pueden ser correlacionadas con el HLB. Sin embargo esta escala no se aplica más que a los tensoactivos no-iónicos que pertenecen a una familia de productos de condensación de alcoholes de cadena larga con el polioxietileno.

La siguiente Tabla indica la correspondencia y las propiedades de los agentes:

Tabla 3 PROPIEDADES DEL AGENTE TENSOACTIVO SEGÚN SU VALOR DE HLB¹⁹

COEFICIENTE HLB	PROPIEDADES DEL AGENTE
4 a 6	Emulsificante tipo agua en aceite.
7 a 9	Agentes humectantes.
8 a 13	Emulsificante tipo aceite en agua.
13 a 15	Detergentes
15 a 18	Solubilizantes.

Muchas de las propiedades pueden ser correlacionadas con el HLB : el calor de hidratación, la micelización, la constante dieléctrica, el coeficiente de esparcimiento. Se sabe también que la longitud de la cadena afecta la concentración micelar crítica, (CMC). Esto puede ser debido a que la energía libre de transferencia del hidrocarburo, hacia el medio acuoso resulta ser una función lineal de la longitud de la cadena.

A continuación veremos algunos agentes emulsificantes y su valor de HLB (Tabla 4):

¹⁹ Lewis M. J. "Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado". 1993 pág. 190



Tabla 4 AGENTES EMULSIFICANTES Y SUS VALORES DE HLB²⁰

<i>Iónico</i>	<i>Valor de HLB</i>	<i>No Iónico</i>	<i>Valor de HLB</i>
<i>Emulsificantes Generales</i>			
Sales de ácido oleico		Esteres de glicerol	2.8
Por ej., potasio	20	Esteres de poliglicerol	
Por ej., sodio	18	Esteres de polipropilenglicol-ácido graso	3.4
Estearoil-2-lactilato			
Fosfolípido		Esteres de sorbitol-ácido graso	4.7
Por ej., lecitina			
Próteína		Ácidos grasos de polioxietilen-sorbitol	14.9; 15.9
Por ej., gelatina			
Por ej., albúmina de huevo			
<i>Hidrocoloides</i>			
Pectina		Guar	
Alginatos		Carboximetil-celulosa	
Xantana		Hidroxipropil-celulosa	
Tragacanto		Metil-celulosa	10.5
Agar			
Carragenina	11.9		
Goma arábica			

3.2 Lecitina

3.2.1 Propiedades

La lecitina es un fosfolípido muy conocido por su uso como emulgente para la formación y estabilización de mezclas de aceite en agua. Las lecitinas se extraen generalmente, por disolventes del aceite de soya que las contienen en proporción elevada (2 a 3%). Esta operación denominada desmucilagínación, consiste en

²⁰ Lewis M. J. "Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado". 1993 pág. 189



disminuir la solubilidad de los fosfolípidos presentes en el aceite añadiendo del 1 al 3% en volumen de agua.

Los principales componentes de la lecitina son la fosfatidilcolina (PC), la fosfatidiletanolamina (PE) y el fosfatidilinositol (PI). La fosfatidilcolina tiene propiedades estabilizadoras de las emulsiones aceite/agua, mientras que la fosfatidiletanolamina y en menor grado el fosfatidilinositol, tienen propiedades emulgentes agua/aceite. De hecho el antagonismo hace que la mezcla tenga propiedades emulgentes relativamente limitadas.

Para mejorar las propiedades tecnológicas de las lecitinas es necesario un enriquecimiento con ciertos constituyentes. Así se preparan las lecitinas fraccionadas en el etanol. Son separadas dos fracciones, una soluble en alcohol con predominio de fosfatidilcolina y otra insoluble en alcohol con predominio de fosfatidilinositol y la fosfatidiletanolamina se reparte entre las dos fracciones. Se puede igualmente proceder a modificaciones con ayuda de enzimas específicas. La fosfolipasa A₂ permite aumentar el contenido en lisofosfolípidos de las lecitinas, compuestos que tienen un poder emulgente superior a las moléculas diaciladas correspondientes. La fosfolipasa D posee una actividad de transfosfatidilación interesante para el enriquecimiento de las lecitinas comerciales en ciertas clases de fosfolípidos.²¹

Debido a su elevada insaturación, las lecitinas se oxidan fácilmente y son los iniciadores del deterioro de muchas grasas animales y vegetales, aunque en algunos casos funcionan como antioxidantes naturales. Por lo tanto dependiendo de su concentración pueden actuar como antioxidantes o prooxidantes de los lípidos (en general a partir de una concentración mayor al 1.2% p/p actúan como prooxidantes de los lípidos)²².

3.2.2 Estructura

Las lecitinas son mezclas complejas en las que la fosfatidilcolina (PC), la fosfatidiletanolamina (PE) y el fosfatidilinositol (PI) son los principales fosfolípidos presentes en proporciones aproximadamente iguales (Ver fig.22).

²¹ Multon Jean Louis “Aditivos auxiliares de fabricación en las industrias agroalimentarias” 2000 pag. 428

²² PLM “Diccionario de especialidades para la industria alimentaria” 2004

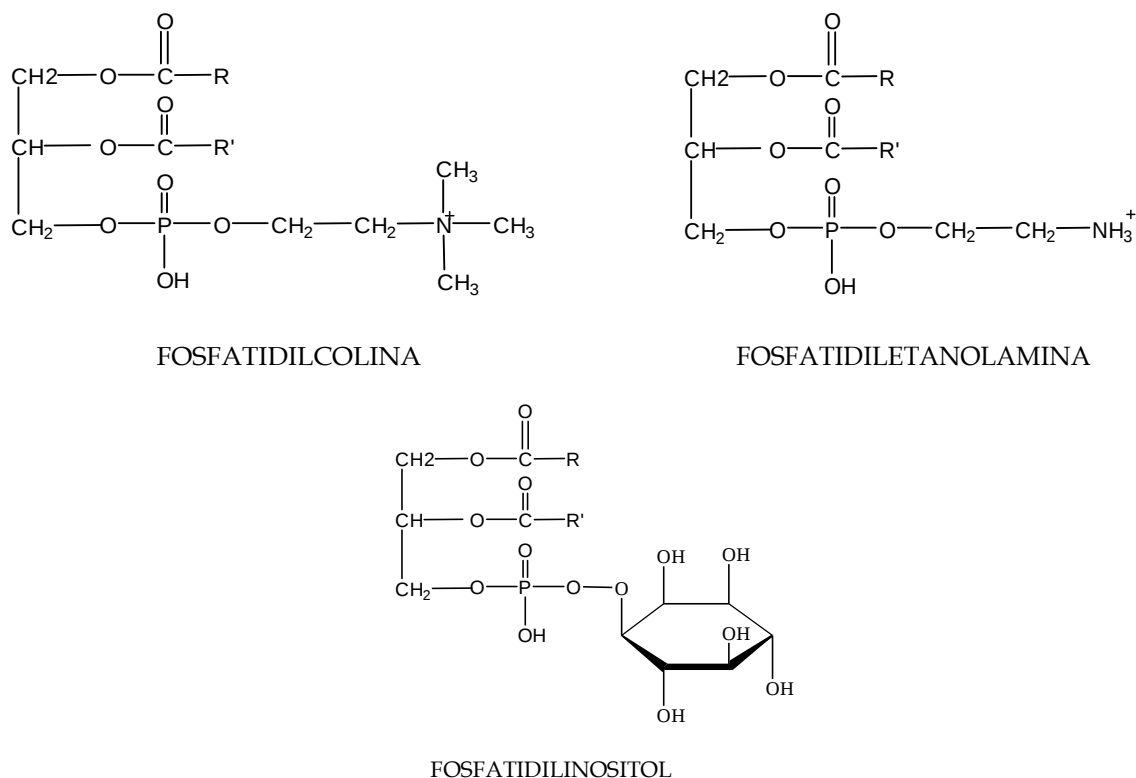


Figura 8 ESTRUCTURA DE LOS PRINCIPALES COMPONENTES DE LA LECITINA²³

Además, en la Lecitina de soya se encuentran otros fosfolípidos como el ácido fosfatídico, la fosfatidilserina, la *N*-acilfosfatidiletanolamina y los derivados de los fosfolípidos (lisofosfatidilcolina, lisofosfatidiletanolamina, lisofosfadilmonositol y la *N*-acil lisofosfatidiletanolamina). La fracción glicolípidica está constituida de esteroides glicosilados, de mono y digalactosildiglicéridos y de glicolípidos más complejos, ricos en azúcar de los cuales no han sido aún determinadas todas sus estructuras; cadenas grasas que en el caso de la soya están compuestas principalmente de ácido palmítico, oleico, linoleico y linolénico. La composición de ácidos grasos caracteriza a cada una de las clases de fosfolípidos (ver Tablas 5 y 6).

²³ Charalanmbous G. Food Emulsifiers Chemistry technology, functional properties and applications 1989



Tabla 5 **COMPOSICIÓN DE UNA LECITINA DE SOYA DESENGRASADA (EN % DE LOS PESOS DE LÍPIDOS ENCONTRADOS²⁴)**

Componente	%
Éster de esteroil glicosilado	4.3
Monogalactosildiglicérido	0.8
Digalactosildiglicérido	3.0
Otros glicolípidos	6.4
N-acilfosfatidiletanolamina	2.2
N-acil-lisofosfatidiletanolamina	10.4
Fosfatidiletanolamina	14.1
Fosfatidilglicerol	1.0
Fosfatidilcolina	33.0
Fosfatidilinositol	16.8
Ácido Fosfatídico	6.4
Fosfatidilserina	0.4
Lisofosfatidiletanolamina	0.2
Lisofosfatidilcolina	0.9

²⁴ Multon Jean Louis “Aditivos auxiliares de fabricación en las industrias agroalimentarias” 2000



Tabla 6 COMPOSICIÓN EN ÁCIDOS GRASOS DE LOS PRINCIPALES CONSTITUYENTES DE LA LECITINA DE SOYA²⁵

Lípido	16:0	18:0	18:1	18:2	18:3
Monogalactosildiglicérido	23.8	5.4	16.9	46.0	7.9
Digalactosildiglicérido	15.7	4.8	10.2	47.7	21.6
Fosfatidiletanolamina	23.2	2.6	11.6	57.1	5.5
Fosfatidilcolina	15.5	4.0	14.5	60.3	5.6
fosfatidilinositol	35.5	6.9	7.8	44.3	3.4

3.2.3 Usos

Los usos alimentarios de las lecitinas son muy diversas: productos de panadería, chocolatería, productos instantáneos, a base de margarina, etcétera. En el caso del chocolate es muy conocida la adición de lecitina que permite modificar las características reológicas del chocolate fundido como la viscosidad y de economizar otras materias grasas costosas, como la manteca de cacao. Además, estos productos se consideran antioxidantes, propiedad que se debe a las trazas de tocoferol presentes en el aceite soporte. Se debe señalar que hay ciertos inconvenientes, especialmente, por el desarrollo de un sabor desagradable durante la conservación del chocolate con leche. En el caso de productos de panadería, es muy frecuente que se añada lecitina con otros emulgentes, como los monoglicéridos. Se logra el efecto de mejorar las características de extensibilidad de la masa y de aumentar el tiempo de conservación. En el caso de alimentos infantiles es el único surfactante permitido por la legislación vigente en México²⁶ (ejemplos de la utilización de la lecitina se pueden ver en la Tabla 7).

²⁵ Multon Jean Louis “Aditivos auxiliares de fabricación en las industrias agroalimentarias” 2000

²⁶ Multon Jean Louis “Aditivos auxiliares de fabricación en las industrias agroalimentarias” 2000



Tabla 7 EJEMPLOS DE LA UTILIZACIÓN DE LECITINA²⁷

<i>Utilizaciones</i>	<i>Usos y aplicaciones</i>	<i>Concentración</i>	<i>Propiedades</i>
Margarina	Emulgente Agua en aceite Agente antisalpicante Agente antipardeante	0.12 a 0.5%	La concentración de pende de las exigencias desde el punto de estabilidad de la emulsión y del tipo de la Lecitina utilizada.
hocolatería	Reducir la viscosidad por mezclado y dispersión	0.3 a 0.5%	Más eficaz y más barato que la manteca de cacao.
Productos de panadería y pastelería	Modifica las características del gluten de la harina Agente mezclante Emulgente y antioxidante	0.1 a 0.3% en relación con la harina	Existen harinas con lecitinas. La lecitina estabiliza la masa para pan y le da una mayor vida de anaquel.
Productos de confitería	Agente mezclante y antioxidante	Variable	Utilizado en la industria de caramelos y gomas de mascar. Facilita la mezcla de azúcar, grasas y agua.
Alimentación animal	Agente emulgente Antioxidante Nutriente	Variable	Usada en alimentos de ganado (aves). Leches reconstituidas (terneras).

²⁷ Multon Jean Louis “Aditivos auxiliares de fabricación en las industrias agroalimentarias” 2000



3.3 Tween`s

3.3.1 *Propiedades*

Dentro de los tensoactivos sintéticos No-iónicos más utilizados en la industria encontramos a los Span`s y los Tween`s (o polisorbatos), los cuales son muy similares y uno puede llevar al otro por medio de una reacción química. Los Span`s son ésteres de los ácidos grasos más comunes en las grasas alimentarias y el sorbitan, un derivado del sorbitol. Se obtienen por calentamiento del sorbitol con el ácido graso correspondiente.

Los ésteres de sorbitan y de polioxoetileno(ver fig. 23) reciben el nombre de polisorbatos y se conocen bajo la marca comercial de Tween; son mezclas de esteres de ácidos grasos con sorbitol y su anhídrido y se obtienen condensando 20 moles de oxido de etileno por mol de sorbitol. Los productos comerciales generalmente tienen un ácido graso que domina (Ver fig. 24 y 25) y otros que se presentan como impurezas.²⁸

En general estos compuestos forman cristales líquidos de estructura hexagonal I y en el agua pueden solubilizar pequeñas cantidades de triacilgliceridos. Sin embargo con grandes cantidades de triacilgliceridos forman cristales líquidos de estructura laminar. La capacidad de estos emulsionantes para solubilizar es importante a la hora de formar una fase en equilibrio en la interfase de la emulsión²⁹.

²⁸ Badui Jergal Salvador "Química de alimentos" Pág. 474-475

²⁹ Fennema R. Owen "Química de alimentos" Pag. 195-197.



3.3.2 Estructura

ESTRUCTURA BÁSICA DE LOS TWEENS

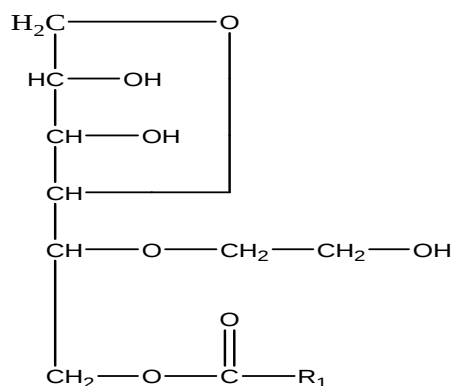
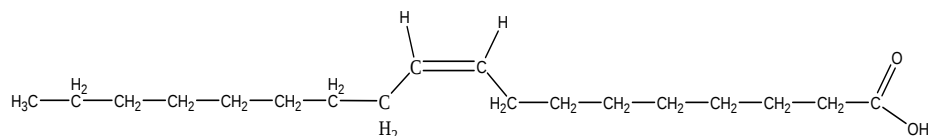


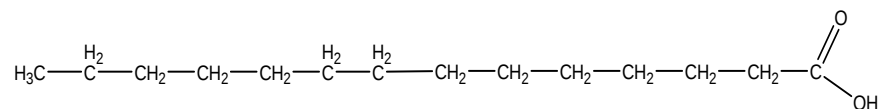
Figura 9 Estructura básica de los Tween's³⁰

Donde R₁ es la posición en la cual se encuentra el ácido graso



Acido Oleico

Figura 10 Ácido graso predominante del Tween (80) (monoleato de Sorbitan polioxietilenado)³¹



Acido Estearico

Figura 11 Ácido graso predominante del Tween (60) (monoestereato de Sorbitan polioxietilenado)³²

³⁰ Charalanmbous G. Food Emulsifiers Chemistry technology, functional properties and applications 1989

³¹ Badui Jergal Salvador "Química de alimentos" Pág. 474-475

³² Badui Jergal Salvador "Química de alimentos" Pág. 474-475



3.3.3 Usos

Se utilizan como emulsionantes en pastelería, bollería, repostería y fabricación de galletas en una concentración máxima, en España, del 0,5% del peso seco del producto. La ingestión diaria admisible es de hasta 25 mg/kg de peso corporal. En México no existe una legislación que marque la concentración máxima permitida de estos tensoactivos en los alimentos.

Los tween's y otros tensoactivos tienen diversos usos además de la emulsificación como³³:

❖ **Modificación de la masa para la elaboración de pan.**

Mejoran el comportamiento ante el fenómeno de la retrogradación del almidón (la fracción de amilasa con mayor tendencia a la retrogradación, forma un complejo con la cadena del ácido graso del Tween evitando así el endurecimiento y resecamiento prematuro del pan).

Aumenta la capacidad de retención del gas de la red formada por el gluten durante la fermentación de las masas. Los emulsionantes reaccionan con las proteínas del gluten proporcionando una mayor retención del volumen de la masa, ya que la red que retienen el anhídrido carbónico adquiere mejores características visco-elásticas, obtenido así una masa de textura ligera y de costra más suave una vez cocida.

❖ **Estabilización de espuma y control de aireación.**

Productos como mousses, crema batida, merengues, etc. consisten en una emulsión líquida posteriormente batida y aireada. Lo importante en estos productos, es retener el aire incorporado para proporcionar una textura característica y ligera, y un aumento del volumen final del producto u "overrun" (cantidad de aire incorporado).

En este tipo de productos los tween's juegan dos papeles, el de formar la emulsión, y el de proporcionar buena estabilidad a la red que retiene el aire capturado durante el batido.

³³ N. Cubero "Aditivos alimentarios" 2002 pag172-173



❖ **Control de viscosidad.**

En la industria del chocolate estos emulsionantes tienen una gran importancia como controladores de la viscosidad durante el proceso de fabricación. Su función se basa en variar las características físicas del chocolate fundido, formando una cobertura sobre los cristales de azúcar y reduciendo la viscosidad que puedan dar. De esta manera se pueden variar las características de extensibilidad del chocolate fundido, permitiendo el recubrimiento en capas muy finas.

❖ **Efecto antiaglutinante.**

Otra función es la dispersar productos pulverulentos de características grasas, tipo cacao, en el seno de un líquido acuoso o en base acuosa sin la formación de grumos como es en el caso de leches con sabor, aguas y algunos colorantes.

Otros ejemplos de la utilización dentro de los alimentos del Tween 60 y 80 se pueden ver en la Tabla 8.



Tabla 8 EJEMPLOS DE LA UTILIZACIÓN DE LOS TWEEN'S 60 Y 80³⁴

<i>Utilizaciones</i>	<i>Usos, acciones y efectos</i>	<i>Concentración</i>
Complementos Alimenticios	Emulgentes Aceite en agua	0.5%
Goma de mascar	Retención de humedad Solubilizador de saborizantes	0.5%
Helados	Emulgente Estabilizador de espuma y aireación	0.1%
Panes Bollería fina Galletería	Emulgente Modificador de la masa para el pan	0.3%
Productos para alimentación especial en adultos	Emulgente e instantaneizador	0.1%
Postres	Emulgente Estabilizador de espuma y aereación Solubilizador de saborizantes	0.3%
Productos de confitería	Retención de humedad Emulgente Solubilizante de saborizantes y colorantes	0.1%
Salsas Emulsionadas	Emulgentes	0.5%

³⁴ Madrid A. Vicente “Los aditivos en los alimentos” 1992



CAPITULO III

DISEÑO EXPERIMENTAL



4. Objetivo general

A partir de la medición de la tensión superficial de tres diferentes tensoactivos, utilizando el tensiómetro de Du-Noüy, variando las concentraciones y las temperaturas; se determinara la energía libre de Gibbs, el trabajo de cohesión, la entropía de superficie, la entalpía de superficie, la presión de superficie, el exceso de soluto, y la concentración micelar crítica en una superficie en equilibrio; para con ello determinar que tensoactivo presenta una mayor estabilidad en la interfase

5. Objetivos particulares

- * Evaluar experimentalmente el efecto de la concentración de tensoactivos en la tensión superficial de las dispersiones Tween 60/agua, Tween 80/agua y Lecitina/aceite a presión P y temperatura T° constante.
- * Evaluar experimentalmente el efecto de la temperatura de los sistemas Tween 60/agua, Tween 80/agua y Lecitina/aceite en la tensión superficial a concentración y presión constante.
 - * Analizar el exceso de soluto superficial en los sistemas Tween 60/agua, Tween 80/agua y Lecitina/aceite.
 - * Analizar el efecto de la concentración del tensoactivo en la presión superficial en los sistemas Tween 60/agua, Tween 80/agua y Lecitina/aceite.
 - * Analizar el efecto de la concentración del tensoactivo en el trabajo de cohesión en los sistemas Tween 60/agua, Tween 80/agua y Lecitina/aceite.
 - * Analizar el efecto de la concentración del tensoactivo en la energía libre de Gibbs en los sistemas Tween 60/agua, Tween 80/agua y Lecitina/aceite.
 - * Analizar el efecto de la temperatura sobre la entropía de los sistemas Tween 60/agua, Tween 80/agua y Lecitina/aceite.
 - * Analizar el efecto de la temperatura sobre la entalpía de los sistemas Tween 60/agua, Tween 80/agua y Lecitina/aceite.



6. Materiales

Materiales:

Agua destilada (FES Cuautitlan)

Aceite de oliva extra virgen marca Member's Mark

Tween 80: Cedrocsa (ver hoja de especificación anexo 1)

Tween 60: Cedrocsa (ver hoja de especificación anexo 1)

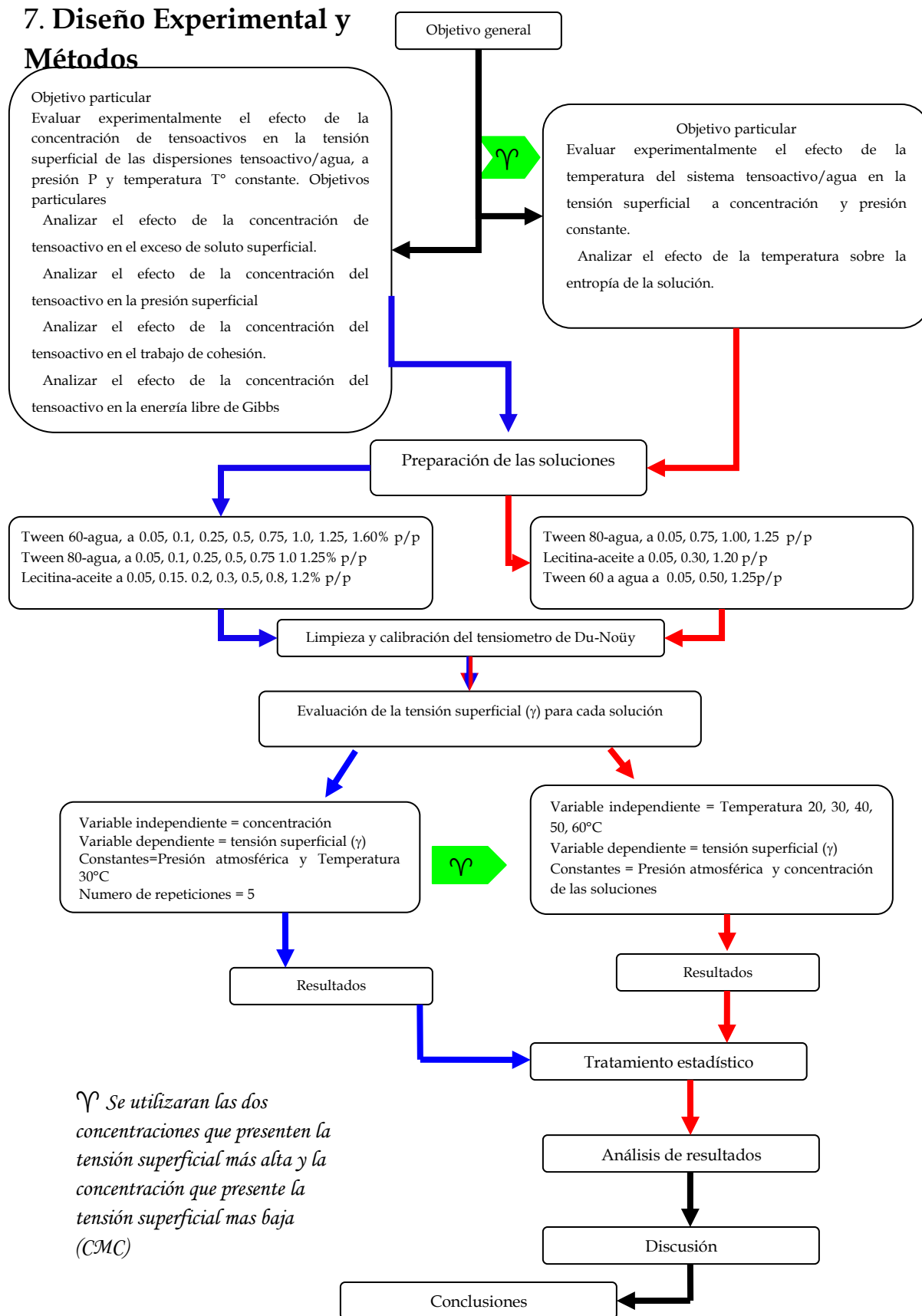
Lecitina: Cosmopolita (ver hoja de especificación anexo 1)

Equipos:

- ✓ Tensiómetro de Du Noüy -CENCO Inventarió UNAM 1786545
- ✓ Balanza analítica Explorer OHAUS
- ✓ Parrilla con agitación magnética SIBRON/termo line



7. Diseño Experimental y Métodos





7.1 Actividades para evaluar el efecto de la concentración en las propiedades termodinámicas de superficie

Tabla 1 CONCENTRACIONES UTILIZADAS PARA LA PREPARACIÓN DE LAS DISPERSIONES

Tensoactivo	Tween 80	Tween 60	Lecitina
C	0.05%p/p	0.05% p/p	0.05% p/p
O	0.10% p/p	0.10% p/p	0.15% p/p
N	0.25% p/p	0.25% p/p	0.20% p/p
C	0.50% p/p	0.50% p/p	0.30% p/p
E	0.75% p/p	0.75% p/p	0.50% p/p
N	1.00% p/p	1.00% p/p	0.80% p/p
T	1.25% p/p	1.25% p/p	1.20% p/p
R			
A			
C			
I			
O			
N			

- I. Se preparan las soluciones de acuerdo a las concentraciones propuestas en la Tabla 9 y se dispersan con ayuda de un agitador magnético para homogeneizar la solución.
- I. Se lleva a cabo la limpieza y la calibración del tensiómetro de Du-Noüy. Una vez calibrado el equipo se realiza la limpieza del anillo y recipiente entre cada determinación (Ver el apartado 8.3) .
- II. Para determinar la tensión superficial se llevan las dispersiones a la temperatura requerida de acuerdo a la etapa de la experimentación, para la primera etapa se trabajara a una temperatura de 30°C, esto con ayuda de una parrilla eléctrica, una vez alcanzada la temperatura requerida se mantiene constante.



- III. Se determina la tensión superficial γ , por quintuplicado para cada una de las dispersiones manteniendo la temperatura constante (30 ° C) utilizando la parrilla con agitación magnética.
- IV. Se lleva a cabo el tratamiento de datos.
- V. De los datos obtenidos de tensión superficial se calculan: G^s , W_c , π y Γ para cada tensoactivo, utilizando las ecuaciones teóricas para cada propiedad.
- VI. Se analiza el comportamiento de cada gráfico.

7.2 Actividades para evaluar el efecto de la T° en las propiedades de superficie.

- II. Se preparan dispersiones al (0.05, 0.5 y 1.25) %; para el tween60 y (0.05, 0.75, 1.00, 1.25)% para el tween 80. Y al (0.05, 0.3 y 1.2)% para la lecitina
- III. Se ajustan las dispersiones a diferentes temperaturas, (20, 30, 40, 50, 60°C) manteniendo constantes las concentraciones
- IV. Limpieza y calibración del tensiómetro de Du Noüy. Una vez calibrado el equipo se realiza la limpieza del anillo y recipiente entre cada determinación.
- V. Se determina la tensión superficial γ para cada una de las dispersiones.
- VI. Graficamos γ vs T° . Para cada tensoactivo y su respectiva concentración.
- VII. De los datos obtenidos de tensión superficial con variación de temperatura se calculan: S^s para cada tensoactivo.
- VIII. Se analiza el comportamiento de cada gráfico.

7.3 Limpieza y calibración del tensiómetro de Du Noüy.

La limpieza se realiza básicamente en el anillo de platino-iridio sumergiéndolo en agua destilada, después benceno y por último en acetona, cada sustancia a temperatura ambiente (aprox. 25 °C) .Todo esto con el fin de dejar libre de toda sustancia el anillo. Al final de la jornada el anillo se quema y se limpia con acetona. El tensiómetro se calibra utilizando agua destilada, después acetona y



por último etanol, la calibración se realiza ajustando la escala hasta alcanzar los valores bibliográficos [ver Tabla 10] (interpolados a 25 °C) de tensión superficial para cada sustancia.

Tabla 2 VALORES DE γ DE ALGUNAS SUSTANCIAS A 20°C.

	γ (intercara líquido-aire) a 20 °C (dinas/cm)
Agua	72.73
Benceno	28.88
Acetona	23.22
Etanol	22.27

Una vez calibrado el tensiómetro se realiza la limpieza del anillo y recipiente entre cada determinación empleando agua destilada, benceno y acetona para tal efecto



CAPITULO IV

ANALISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES



8. Tratamiento de datos

SECUENCIA DE CÁLCULO.

Para el cálculo del exceso de soluto (Γ), partimos de la ecuación de Gibbs:

$$\Gamma = \frac{-C}{RT} \left(\frac{d\gamma}{dc} \right)_T$$

Ecuación 8

donde:

C = % p/p

R = 2 cal/mol °K

T = Temperatura en °K.

γ = dinas/cm.

Por lo tanto:

$$\Gamma = \text{mol/cm}^2$$

Los valores de Γ se obtienen por el método algebraico de la pendiente.¹

Para calcular la presión superficial (π) partimos de la siguiente ecuación:

$$\pi = \gamma^0 - \gamma$$

Ecuación 22

donde:

γ^0 = Tensión superficial experimental del solvente puro.

Para las soluciones de Tween se utilizó agua a 30°C (±1) siendo su tensión superficial 71.9 din/cm.

Para las soluciones de lecitina se utilizó aceite de oliva a 30°C (±1) siendo su tensión superficial 35.34 din/cm.

γ = Tensión superficial experimental de la solución a 30 °C ±1.

El cálculo del trabajo de cohesión (W_c) consta de sustituir los valores experimentales en la siguiente ecuación:

$$W_c = 2 \gamma.$$

Ecuación 23

Donde:

γ = Tensión superficial experimental de la solución a 30 °C ±1.

¹ Villagómez Zavala, Franco R, Pedroza Islas, Valdivia A. Propiedades termodinámicas de superficie de tres polisacáridos k-carragenina, goma de mezquite, alginato de sodio y un concentrado proteico de suero de leche. UNAM. 2004



9. Análisis de resultados y discusión

A continuación se presentan las graficas con las que se analiza el comportamiento de los tensoactivos Lecitina, Tween 60 y Tween 80 para la cual se midió la tensión superficial en la interfase aire/agua en equilibrio, a diferentes concentraciones y a diferentes temperaturas a presión constante.

Las gráficas de la 1 a la 9 nos mostraran el comportamiento de las propiedades de superficie de los tensoactivos mencionados en cuanto: a la tensión superficial (γ) (graficas 1 y 2), la presión superficial (π) (graficas 3 y 4), El exceso de soluto (Γ) (grafica 5), Trabajo de cohesión (W_c) (graficas 6 y 7), y la energía de superficie (G^S) (gráficos 8 y 9) manteniendo para este caso una temperatura de $30\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 1$ y una presión ambiental de 585 mmHg (presión en Cuautitlan Izcalli); y los gráficos del 10 al 18 se tiene el comportamiento de los tres tensoactivos al variar la temperatura para los parámetros de tensión superficial (gráficas 10, 11 y 12), entropía de superficie (S^S) (graficas 13, 14 y 15) y la entalpía de superficie (H^S) (gráficas 16, 17 y 18).

Tensión superficial en función de la concentración.

Para observar la actividad superficial que presentan los tensoactivos Lecitina, Tween 60 y Tween 80, se preparan soluciones a diferentes concentraciones, se determino la tensión superficial en la interfase aire/agua en equilibrio a presión y temperaturas constantes, obteniendo los resultados que se presentan en las siguientes graficas (1 y 2):

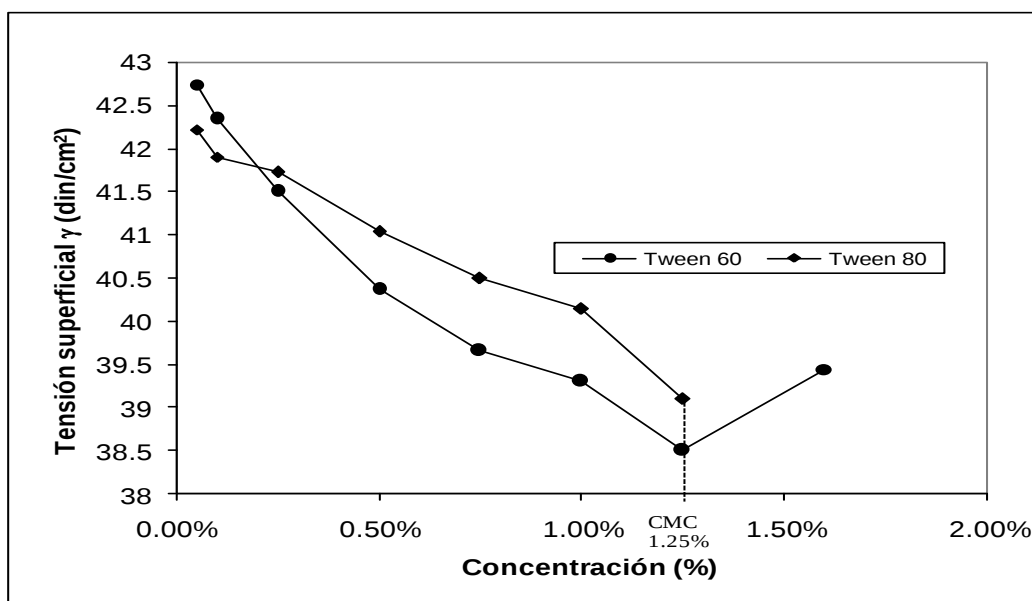


Gráfico 1 Tensión superficial de los Tween's en función de la concentración

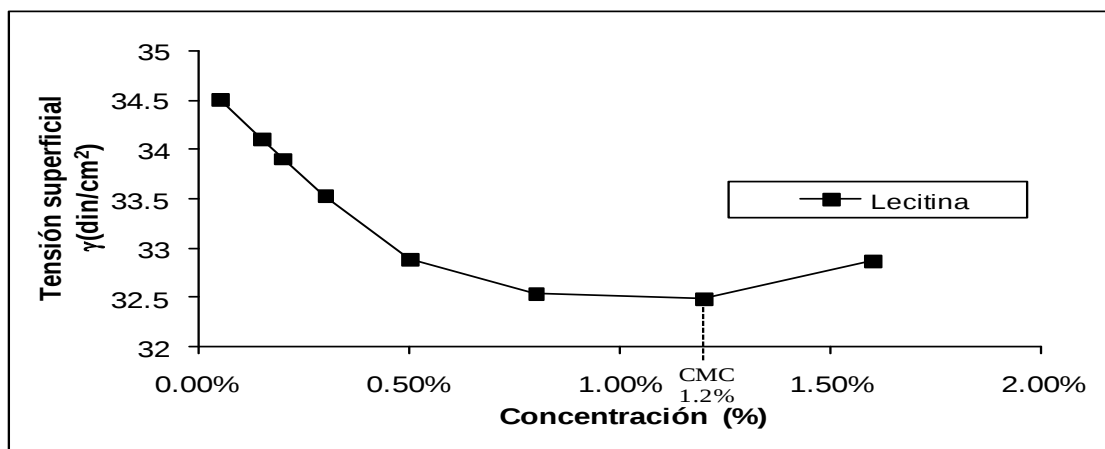


Gráfico 2 Tensión superficial de la lecitina en función de la concentración.

De las graficas 1 y 2, se puede ver que el Tween 80, el Tween 60 y la Lecitina muestran una actividad superficial positiva, al mostrar en la grafica una pendiente negativa $-\left(\frac{\partial \gamma}{\partial C}\right)_{T,P}$, de acuerdo a la teoría que predice el comportamiento de este fenómeno, se tiene, que a medida que aumenta la concentración disminuye la tensión superficial; esto es debido a la interacción entre las moléculas de los tensoactivos y el medio de dilución (agua para los Tween`s y aceite de oliva para la Lecitina), presentando el fenómeno de adsorción positiva².

Con esto se procede al cálculo de las propiedades termodinámicas que a continuación se presentan:

Tabla 1 PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DE SUPERFICIE DE LA LECITINA

VARIACION DE LA CONCENTRACION DE LECITINA					
[C] (%)	γ (din/cm)	Wc (din/cm)	π (din/cm)	Γ (mol/cm²)	$G^S(x10^{-7})/cm^2$
0.05	34.50	69.00	0.84	3.29E-4	34.50
0.15	34.10	68.20	1.24	9.89 E-4	34.10
0.20	33.90	67.80	1.44	12.53 E-4	33.90
0.30	33.50	67.04	1.82	15.83 E-4	33.50
0.50	32.88	65.76	2.46	9.34 E-4	32.88
0.80	32.54	65.08	2.80	14.95 E-4	32.54
1.20	32.48	64.96	2.86	2.96 E-4	32.48

² Lewis M. J. "Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas procesados" 1993 pag 174-175



Tabla 2 PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DE SUPERFICIE DEL TWEEN 60

VARIACION DE LA CONCENTRACION DE TWEEN 60					
[C] (%)	γ (din/cm)	Wc (din/cm)	π (din/cm)	Γ (mol/cm ²)	G ^s (x10 ⁻⁷ J/cm ²)
0.05	42.74	85.48	29.76	6.59 E ⁻⁴	42.74
0.10	42.34	84.68	30.16	9.23 E ⁻⁴	42.34
0.25	41.50	83.00	31.00	18.80 E ⁻⁴	41.50
0.50	40.36	80.72	32.14	23.09 E ⁻⁴	40.36
0.75	39.66	79.32	32.84	17.81 E ⁻⁴	39.66
1.00	39.30	78.60	33.20	32.98 E ⁻⁴	39.30
1.25	38.80	77.60	33.70	41.23 E ⁻⁴	38.80
1.60	39.44	78.88	33.06	48.25 E ⁻⁴	39.44

Tabla 3 PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DE SUPERFICIE DEL TWEEN 80

VARIACION DE LA CONCENTRACION DE TWEEN 80					
[C] (%)	γ (din/cm)	Wc (din/cm)	π (din/cm)	Γ (mol/cm ²)	G ^s (x10 ⁻⁷ J/cm ²)
0.05	43.76	84.44	30.28	5.27E ⁻⁴	43.76
0.10	41.88	83.80	30.60	1.97 E ⁻⁴	41.88
0.25	40.80	83.44	30.78	11.21 E ⁻⁴	40.80
0.50	40.04	82.08	31.46	17.81 E ⁻⁴	40.04
0.75	39.00	81.00	32.00	17.81 E ⁻⁴	39.00
1.00	40.14	80.28	32.36	68.61 E ⁻⁴	40.14
1.25	39.10	78.20	33.40	85.76 E ⁻⁴	39.10

Al utilizar la concentración de 0.05% el Tween 60 disminuye la tensión superficial (γ) del agua hasta 42.74 din/cm² [ver Tabla 12] y el Tween 80 para la misma concentración hasta 43.76 din/cm [ver Tabla 13]. Por lo tanto de los dos Tween's a los que se le realizó el estudio de la γ en función de la concentración a presión atmosférica y temperatura constante de 30 °C, el que presenta una mayor actividad superficial es el Tween 60.

Dentro de las mismas graficas se puede determinar el valor de la concentración micelar crítica (CMC); esta es la concentración a la cual la formación de micelas se lleva a cabo en la solución y la representa el punto en el cual el abatimiento de la tensión superficial se detiene o se mantiene constante; para la lecitina se considera que el punto de la concentración micelar crítica se da a una concentración del 0.80% [ver grafico 2 y Tabla 10], ya que no hay un cambio significativo en la tensión superficial al aumentar a otra concentración; en el caso del Tween 60 y Tween 80 este punto se puede observar en la concentración de



1.25% [ver Tablas 12 y 113] para ambos casos, ya que como se puede ver en la grafica 1 la siguiente concentración muestra un incremento en la tensión superficial de la interfase aire/agua.

El abatimiento que presentan los Tween's en el valor de la tensión superficial se puede explicar porque estos tensoactivos se encuentran clasificados dentro de los surfactantes no iónicos, los cuales están conformados por una larga cadena que actúa como grupo hidrófobo (sorbitol polioxietilenizado), que tiene una serie de grupos débilmente solubilizantes (hidrófilos), que son ácidos grasos, estos dan el efecto de un grupo hidrófilo fuerte, pero sin la reacción de ionización; tomando en cuenta lo anterior y que el balance hidrófilo lipófilo (HLB) reportado por los fabricantes de los Tween's el cual es de 16.61 para el Tween 60 y de 15.37 para el Tween 80, se deduce que el Tween 60 tiene un mayor número de grupos hidrófilos débiles dentro de su cadena, con lo cual a pesar de presentar la cadena más corta de carbonos reduce más la tensión superficial que el Tween 80³.

Para los tensoactivos de Tween 60 y Tween 80 se utilizaron las mismas concentraciones de solución; tomando como referencia que la tensión superficial experimental del agua destilada fue de 71.9 din/cm a una temperatura de 30°C, se observa que el Tween 60 abate la tensión superficial del agua en 3.9 din/cm y el Tween 80 4.6 din/cm. En la tabla 12 se muestra una concentración adicional de 1.60% la cual nos ayudo a demostrar en donde se encontraba la concentración micelar critica al aumentar la tensión superficial. (ver grafico 1)

Para la Lecitina se manejaron las concentraciones de 0.05% a 1.2% (rango permitido para la utilización de esta substancia en alimentos por la Organización Mundial de la Salud), teniendo un descenso máximo de la tensión superficial en el aceite de Oliva de 2.86 din/cm (en la concentración de 1.2%); tomando en cuenta que el aceite de oliva utilizado tenía una tensión superficial experimental a 30° C de 35.34 din/cm.

La Lecitina se encuentra dentro de los tensoactivos cationicos, con la característica de que tiene una parte hidrófoba grande, debido a que sus componentes mayoritarios son ácidos grasos así como amonio, La parte hidrófila la componen los grupos anionicos de fosfato, es por ello que es prácticamente insoluble en agua y muy soluble en aceites⁴.

Estos datos permiten tener una visión más amplia de las propiedades de los tensoactivos, necesarias al momento de elegir, tomando en cuenta el medio en el

³ Ver certificado de análisis apéndice A

⁴ N. Rubing D. et. al. "Cationic surfactants" 1991



cual se va a requerir su acción y determinar la fase a la cual se va el tensoactivo; ejemplo de ello son las emulsiones, donde se requerirá de un tensoactivo que sea fácil de disolver en agua, cuando se trate de una emulsión aceite/agua y en caso contrario otro que tenga una parte hidrófoba grande pero que su parte hidrófila sea lo suficientemente fuerte para estabilizar una emulsión agua/aceite.

Al comparar los tensoactivos usados se observa que el Tween 60 abate más la tensión superficial de la interfase aire/agua, que el Tween 80, esto se debe a que la reacción de esterificación con óxido de etileno que se lleva a cabo para su formación consigue una molécula más hidrófila, alcanzando estos un valor alto de HLB. En cambio la Lecitina por su naturaleza estructural es insoluble en agua, aunque, hidrata y forma emulsiones debido a su carácter bipolar y la capacidad de esta depende del tratamiento dado para su modificación, por lo cual el abatimiento de la tensión superficial se lleva a cabo en una interfase aire/aceite⁵.

Presión de superficie en función de la concentración

Para entender el comportamiento termodinámico de los fenómenos de superficie, es necesario evaluar cuantitativamente el equilibrio termodinámico en la interfase, esto se hace reportando la capa absorbida de cada uno de los tensoactivos en la interfase aire/agua para el caso de los Tween's y la interfase aire/aceite para la lecitina; a través del cálculo cuantitativo de la presión superficial (π), exceso de soluto (Γ), el trabajo de cohesión (W_c) y la energía de superficie (G^s), cada una de estas propiedades termodinámicas da información sobre los cambios cuantitativos asociados con la adsorción de los tensoactivos en la superficie. La ecuación que nos relaciona la tensión superficial con la presión de superficie es⁶:

$$\pi = \gamma_o - \gamma$$

Ecuación 22

Donde γ_o es la tensión superficial experimental del agua a 30°C (71.9 din/cm) para las soluciones de Tween y la tensión superficial experimental del aceite de oliva a 30°C (35.34 din/cm); γ es la tensión superficial de la solución a una concentración dada. Los resultados se presentan en los gráficos 3 y 4:

⁵ Fennema R Owen "Química de alimentos" 1985 pag 195-197

⁶ Toral "Fisicoquímica de superficies y sistemas dispersos" 1973 pag 49

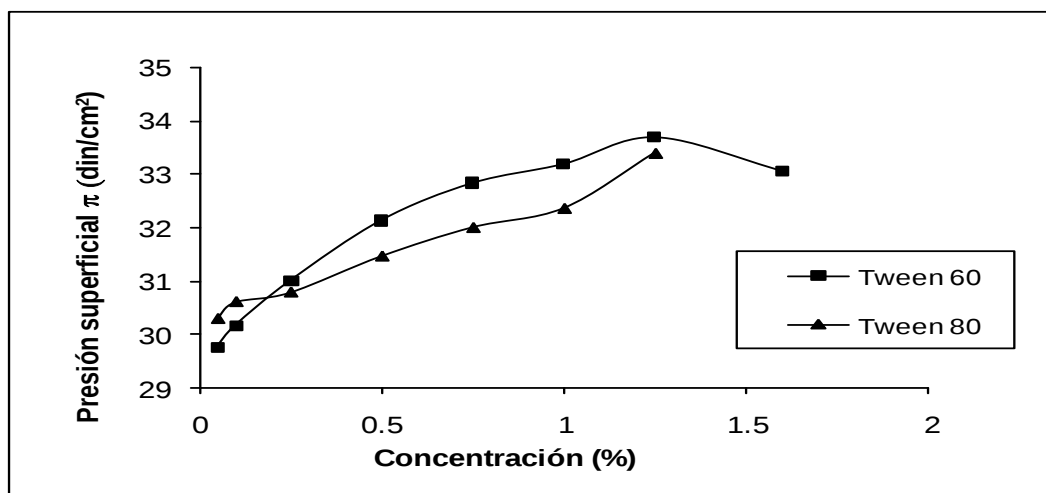


Gráfico 3 Presión superficial de los Tween's en función de la concentración

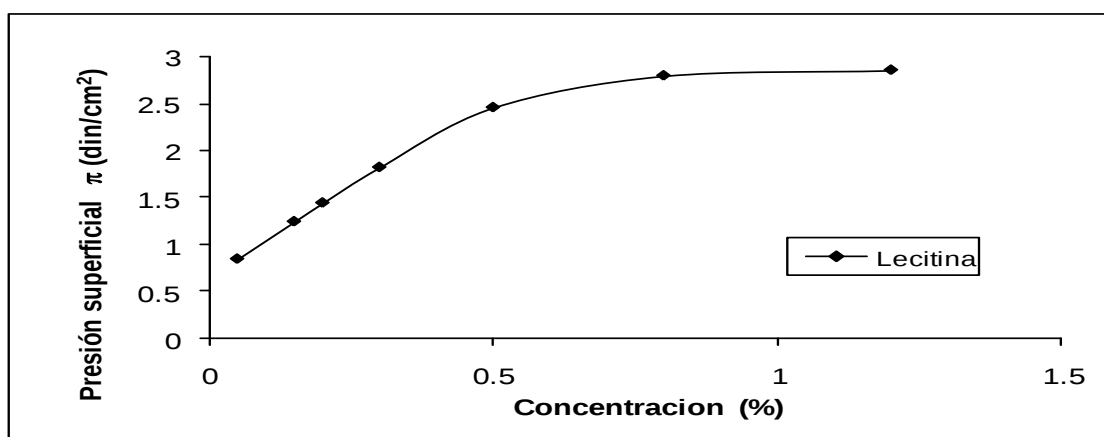


Gráfico 4 Presión superficial de la Lecitina en función de la concentración

Al observar las graficas 3 y 4 se puede apreciar que la presión superficial se incrementa conforme aumenta la concentración; esto es un comportamiento natural si se toma en cuenta que la interacción entre las partículas del tensoactivo es mayor en la superficie del liquido, debido al aumento de la concentración de las moléculas de los tensoactivos en la interfase creando con ello un aumento en la presión de superficie del sistema y llevando a la monocapa una inestabilidad de la misma.

El Tween 80 tiene un valor de 30.28 din/cm en la presión de superficie π en el primer punto de concentración (0.05%)[ver Tabla 13]; sin embargo la diferencia de la presión con el Tween 60 en el mismo punto es de 0.42 din/cm al registrar el Tween 60 una π de 29.76 din/cm [ver Tabla 12], esta diferencia se debe a la



interacción de los grupos hidrófilos e hidrófobos de los tensoactivos. Para Lecitina a la concentración de 0.05% presenta una presión superficial de 0.84 din/cm [ver tabla 9], siendo esta la presión más pequeña registrada de los tres tensoactivos esto se puede esperar si se toma en cuenta que también es menor la magnitud en el decremento de la tensión superficial en la lecitina.

Se puede observar un comportamiento similar entre el Tween 60 y el Tween 80 al incrementar su presión superficial en función de la concentración, sin embargo el incremento presentado a partir de la concentración de 0.25% es menor para el Tween 80 comparado con el Tween 60 (grafica 3).

Analizando el grafico 4 de la Lecitina se puede observar un incremento en la presión de superficie directamente proporcional a la concentración, sin embargo la presión superficial presentada es mucho menor con respecto a la que se observo en los Tween's.

Sí se considera que a altas presiones de superficie aumenta la inestabilidad de la superficie lo que puede provocar la precipitación de partículas; que muy bajas presiones indican la ausencia de partículas en la superficie y con ello que el espacio entre las moléculas de la superficie es tanto que no permite la cohesión ni la interacción entre las moléculas de tensoactivo. Tomando esto en cuenta de debe elegir un tensoactivo que no aumente demasiado la presión de superficie (π) y que disminuya lo más posible la tensión superficial (γ); así se observa que el Tween 80 es el que nos daría este comportamiento⁷.

Exceso de soluto en función de la concentración.

Otra propiedad termodinámica que ayudara a comprender el comportamiento de estos tensoactivos es la ecuación que relaciona el exceso de soluto superficial con los resultados obtenidos es la ecuación de adsorción de Gibbs⁸:

$$\Gamma = \frac{C_b}{RT} \frac{d\gamma}{dC_b}$$

Ecuación 8

Al aplicar esta ecuación a los resultados experimentales obtenidos, tenemos al siguiente grafico:

⁷ Mickie y colaboradores "Orogenic Displacement of Protein from the Air/Waterr interfase by Competitive Adsorption". pag 157-166, 1999

⁸ Hayami y Motomura "Adsorption of 1 – Monoglycerides at the Hexane/water interfase", pag, 173 -178, 1999

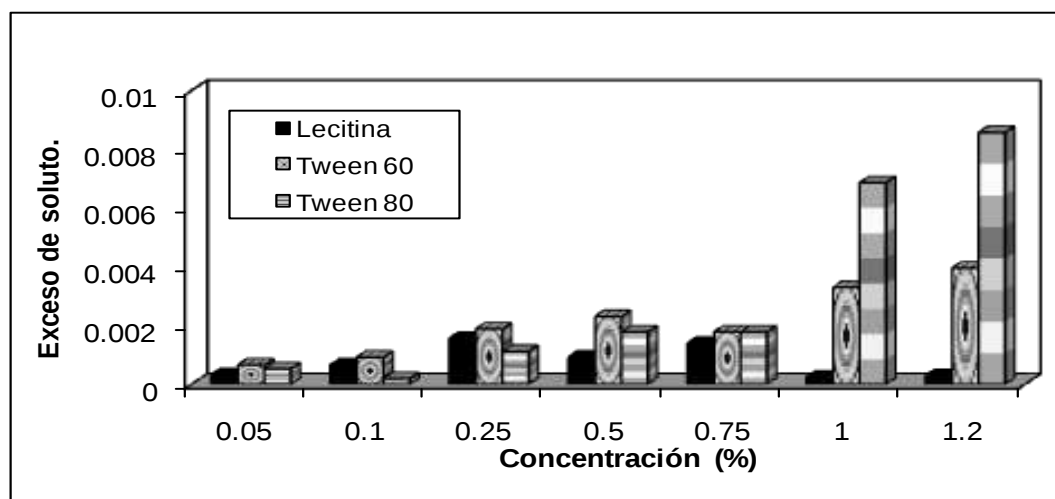


Gráfico 5 Exceso de soluto de los tensoactivos de Lecitina, Tween 60 y Tween 80 en función de la concentración.

Con respecto al exceso de soluto (Γ) la teoría dice que: “la concentración de exceso en la superficie puede interpretarse como la masa de soluto adsorbida por unidad de superficie.”⁹

El grafico 5 muestra el comportamiento de estos tres tensoactivos con respecto de esta característica termodinámica. El comportamiento que se esperaba para esta parte de la experimentación era que al aumentar la concentración aumentara el exceso de soluto Γ , sin embargo, las graficas muestran puntos en dónde el exceso de soluto baja, este comportamiento puede ser resultado de las interacciones entre las moléculas del tensoactivo debido a su estructura y componentes. Habrá que recordar, que en el caso de los Tween's se tiene la misma estructura base de sorbitol y etileno, y el ácido graso es diferente¹⁰, teniendo el Tween 60 como ácido graso al ácido Esteárico y para el Tween 80 el ácido Oleico dando como resultado una interacción diferente entre las moléculas del tensoactivo y el solvente, en este caso agua¹¹.

El Tween 60 presenta un comportamiento ascendente en el exceso de soluto de superficie, a excepción de la concentración del 75% el cual muestra un descenso de 6 unidades con respecto del valor en la concentración anterior, quedando con un valor de 17.81×10^{-4} mol/cm [ver Tabla 12]; este mismo valor de exceso de soluto superficial 17.81×10^{-4} mol/cm [ver Tabla 13] lo presenta el Tween 80 en las concentraciones de 0.50% y la 0.75%. Tomando este dato y los valores obtenidos

⁹ Shaw D. “Introducción a la química de superficies y coloides” 1977 pág. 80-81

¹⁰ Charalambous, Doxastakis “Food emulsifiers Chemistry, technology, functional properties and applications” 1989 pag. anexo

¹¹ Badui J. S. “Química de alimentos” pág. 474-475



de presión superficial para estos mismos puntos se tiene que el Tween 80 sería la mejor opción de los dos Tween's presentados.

Analizando el comportamiento mostrado por la lecitina se ve que el exceso de soluto se comporta de forma errática; esto también concuerda al retomar el comportamiento que tuvo la lecitina en respecto a la π la cual aumento bruscamente mostrando un desorden en la organización de las moléculas del tensoactivo en la monocapa o interfase.

Trabajo de cohesión en función de la concentración.

Se sabe que el trabajo de cohesión (W_c) en un líquido se define como “el trabajo necesario para dividir en dos una columna de líquido de 1 cm^2 de área”¹²; entonces para el caso de un sistema de dos fases será la fuerza necesaria que se tiene que vencer para romper las interacciones formadas entre las moléculas tensoactivo/tensoactivo, tensoactivo/ agua y agua/agua.

Este trabajo de cohesión se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$W_c = 2\gamma$$

Ecuación 23

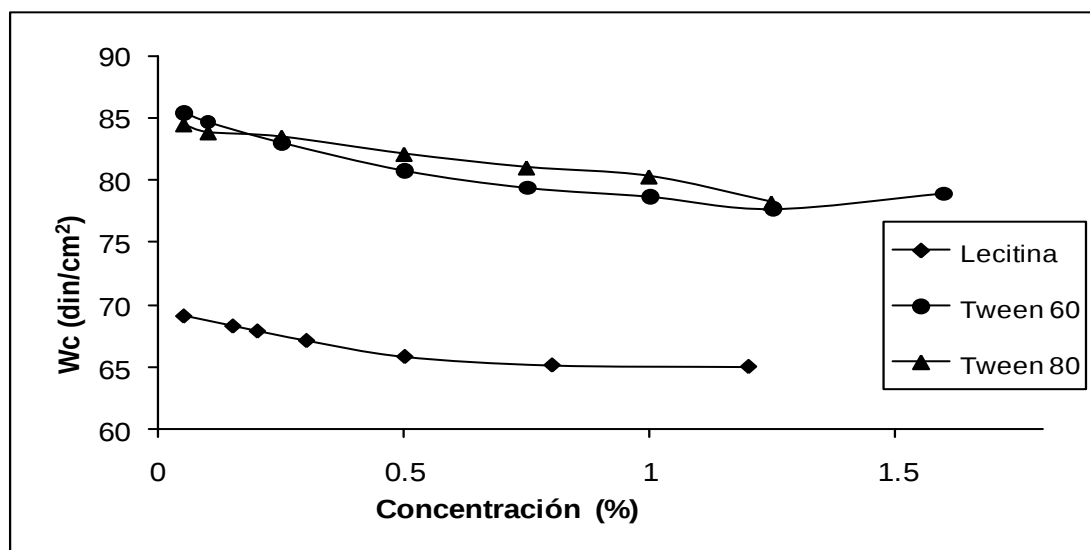


Gráfico 6 Trabajo de cohesión W_c para los Tensoactivos de Lecitina Tween 60 y Tween 80 en función de la concentración.

El gráfico 6 muestra un comportamiento en el cual al aumentar la concentración el trabajo de cohesión W_c disminuye esto es debido a que las interacciones entre las

¹² Shaw “Introducción a la química de superficies y coloides” 1977 pág. 90



partículas son débiles este comportamiento podrá ayudar a determinar el tipo de tensoactivo y concentración que más nos convenga de acuerdo al sistema disperso que nos interese formar, así como la estabilidad que se busca para el sistema en el cual requiramos al tensoactivo.

Del grafico 6 se observa un comportamiento inversamente proporcional a la presión de superficie, Tween 80 es el que muestra una mayor estabilidad al descender 6.24 unidades en comparación con el Tween 60 que descendió 6.6 unidades. Sin embargo, de los tres tensoactivos presentados, la Lecitina mostro un descenso menor en el trabajo de cohesión al tener un descenso de solo 4.04 unidades de cohesión. El intervalo donde se observa el menor descenso para el caso de los Tween's es el comprendido entre las concentraciones 0.10 y 0.25%. Para el caso de la Lecitina la menor diferencia en el trabajo de cohesión se encuentra entre las concentraciones de 0.8 y 1.20%; aunque en general la disminución en cada uno de los intervalos es menor a 1.

Sí se considera que la disminución del trabajo de cohesión W_c indica que las interacciones intramoleculares se debilitan, se puede asegurar que el sistema que presenta las interacciones más débiles y constantes es el formado por la Lecitina ya que la grafica nos muestra que un comportamiento de disminución constante del trabajo de cohesión de las moléculas que se encuentran en la interfase aire/aceite, dando como resultado el requerimiento de un menor trabajo de cohesión para mantener la estabilidad de la monocapa. Con ello se puede elegir el tensoactivo dependiendo del sistema, por ejemplo si se requiere estabilizar una emulsión, el trabajo de cohesión que conviene es el de la lecitina ya que presento una leve disminución a al ir incrementando la concentración, dando, con ello una mayor estabilidad a la interfase.

Energía libre de Gibbs en función de la concentración.

La energía de superficie es el trabajo realizado para trasladar, desde el seno de líquido, las moléculas necesarias para formar la superficie renovada, contra la atracción de las moléculas que se encuentran por debajo de la superficie y que es ejercida por las moléculas de superficie, lo anterior se representa por la ecuación¹³:

$$G^S = \gamma$$

Ecuación 20

¹³ Hiemenz, P., Rajagopalan Raj "Principles of colloid and Surface Chemistry" 1997 pág. 256-257



En las graficas 8 y 9 se presenta el comportamiento de la energía se superficie, también conocida como la energía libre de Gibbs de superficie al variar la concentración del tensoactivo:

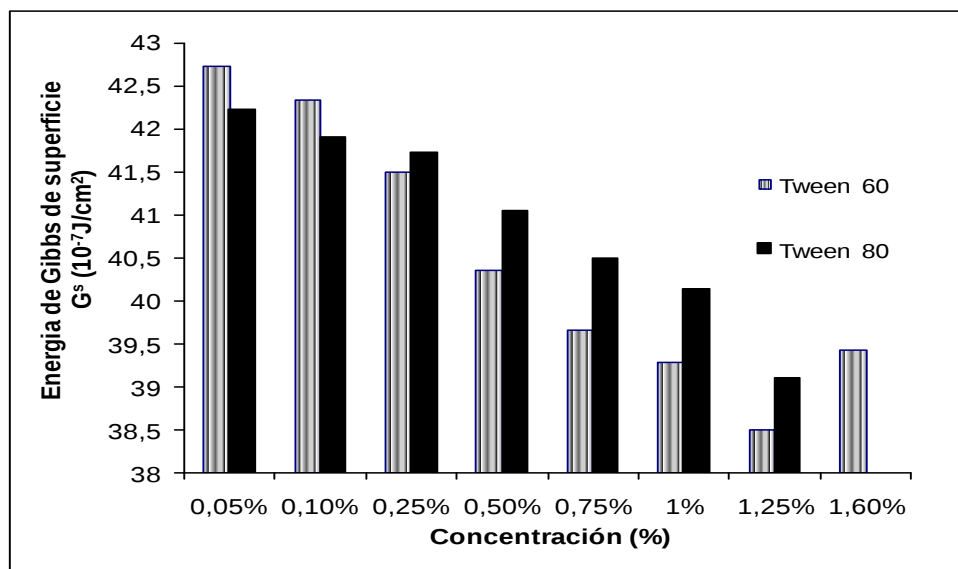


Gráfico 7 Energía de Gibbs G^S para los tensoactivos Tween 60 y Tween 80 en función de la concentración.

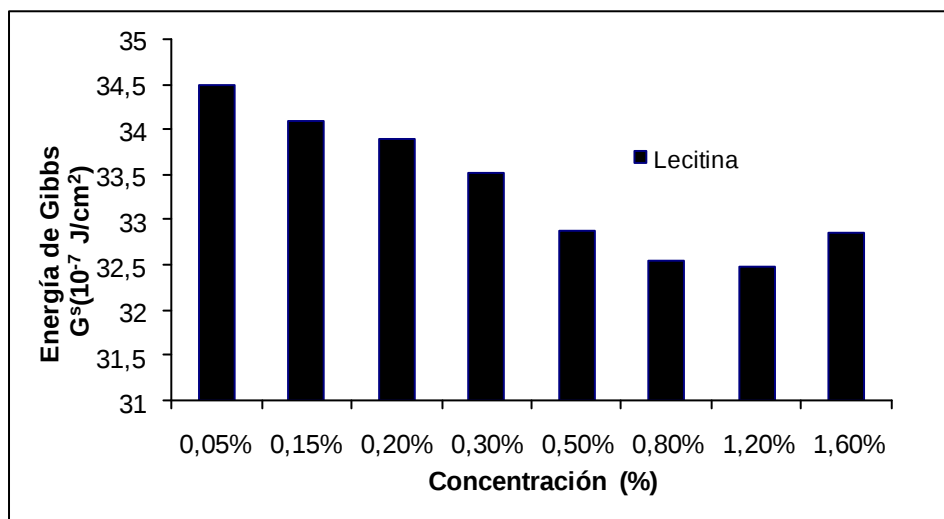


Gráfico 8 Energía de Gibbs G^S para la Lecitina en función de la concentración.

Como se puede observar en las graficas 8 y 9 conforme aumenta la concentración la energía que se necesita para formar la nueva superficie en menor. En el caso de la lecitina baja de forma constante en donde la concentración de 1.20% requiere una energía de superficie de $32,48 \times 10^{-7} \text{ J/cm}^2$ [ver Tabla 11] hasta llegar a la concentración de 1.60% donde se eleva a $32,86 \times 10^{-7} \text{ J/cm}^2$ [ver Tabla 11].



Para el caso de los Tween's, se puede observar (ver graficas 8 y 9) que en las primeras dos concentraciones, el Tween 80 es el que requiere una menor energía de superficie $42.22 \times 10^{-7} \text{ J/cm}^2$ y $41.90 \times 10^{-7} \text{ J/cm}^2$ para una concentración de 0.05 y 0.10% respectivamente [ver Tablas 12 y 13]; en la concentración de 0.25% se observa que el Tween 60 requiere una energía de superficie de $41.5 \times 10^{-7} \text{ J/cm}^2$ [ver Tabla 10] que es menor que la que requiere en Tween 80 que es de $41.72 \times 10^{-7} \text{ J/cm}^2$ [ver Tabla 13], a partir de este momento el Tween 60 muestra una tendencia al descenso mayor que en el caso del Tween 80, llegando a requerir una energía de $38.5 \times 10^{-7} \text{ J/cm}^2$ para una concentración de 1.25% [ver Tabla 12]; mientras que el Tween 80 requiere una energía de $39.10 \times 10^{-7} \text{ J/cm}^2$ para la misma concentración [ver Tabla 13].

Para este comportamiento se afirma que los tres tensoactivos presentan una tendencia decreciente de la energía de Gibbs necesaria para formar la nueva superficie con la adición de las moléculas de los tensoactivos en el disolvente. Para el caso de los Tween's como se puede observar, el Tween 60 presenta una mayor estabilidad que el Tween 80, esto a partir de la concentración de 0.25% se requiere menor energía, esto dice que la interacción entre las moléculas de tensoactivo/tensoactivo, tensoactivo/agua y agua/ agua es débil permitiendo un fácil traslado de las moléculas del seno de la solución a la interfase o superficie.

En el caso de la lecitina, esta muestra la misma tendencia de decrecimiento de la energía, aunque menos marcado que para los Tween's y marcando un incremento al pasar a la última concentración de 1.60% esto debido a una fuerte interacción de las moléculas Lecitina/Lecitina, Lecitina/Aceite y Aceite/Aceite de las cuales la mas importante es la que se forma entre la lecitina y el aceite.

Análisis del efecto de la temperatura en la tensión superficial γ

Para esta parte de la experimentación se eligieron tres concentraciones diferentes la más alta, la de en medio y la menor o concentración micelar critica (CMC), para observar el efecto de la temperatura en las propiedades termodinámicas de tensión superficial γ , entropía de superficie S^s y entalpía de superficie H^s . Las concentraciones fueron las siguientes: 0.05% y 1.20% para la lecitina; de 0.05% y 1.25% para los Tween's. La tercera concentración fue la que presentara la menor tensión superficial o la llamada CMC (Concentración Micelar Crítica) que para el caso de la lecitina fue la concentración de 0.30%, para el Tween 60 la de 0.50% y para el Tween 80 de 0.75%. Para tal efecto se vario la temperatura en intervalos de 10 °C comenzando en una temperatura de 20 °C y hasta llegar a la temperatura de 60 °C, este intervalo de temperaturas es en el que se trabajan la mayoría de los alimentos ya sea para su conservación o su procesamiento.



Tabla 4 RESULTADOS DE VARIACIÓN DE TEMPERATURA PARA LECITINA CON RESPECTO A LA TESIÓ N SUPERFICIAL

LECITINA	γ (din/cm)		
T (°C)	[C] (%)		
	0.05	0.30	1.20
20	35.10	34.38	32.92
30	34.50	33.52	32.48
40	33.52	33.00	32.26
50	32.62	32.38	31.90
60	32.24	31.98	31.44
$S \times 10^{-7} (J^{\circ}C/cm^2)$	0.07	0.05	0.03

Tabla 5 RESULTADOS DE VARIACIÓN DE TEMPERATURA PARA TWEEN 60 CON RESPECTO A LA TESIÓ N SUPERFICIAL

TWEEN 60	γ (din/cm)		
T (°C)	[C] (%)		
	0.05	0.50	1.25
20	45.72	42.98	41.00
30	42.74	40.36	38.80
40	41.16	38.70	37.72
50	39.30	37.22	36.48
60	37.50	35.78	35.20
$S \times 10^{-7} (J^{\circ}C/cm^2)$	0.19	0.17	0.13

Tabla 6 RESULTADOS DE VARIACIÓN DE TEMPERATURA PARA TWEEN 80 CON RESPECTO A LA TESIÓ N SUPERFICIAL

TWEEN 80	γ (din/cm)			
T (°C)	[C] (%)			
	0.05	0.75	1.00	1.25
20	43.86	42.90	42.54	40.80
30	42.22	40.50	40.14	39.10
40	40.48	39.14	38.50	37.06
50	39.28	37.48	36.50	35.96
60	37.86	36.00	34.80	34.48
$S \times 10^{-7} (J^{\circ}C/cm^2)$	0.14	0.11	0.19	0.15



El comportamiento presentado en las graficas 10, 11 y 12 es el decremento en la tensión superficial conforme aumenta la temperatura, como se menciona en el marco teórico, donde, el comportamiento que muestra la tensión superficial con respecto de la temperatura $\gamma = f(T^\circ)$, donde se menciona claramente que la agitación cinética y la tendencia de las moléculas a escapar de la superficie aumenta al subir la temperatura, por consiguiente la tensión superficial disminuye¹⁴.

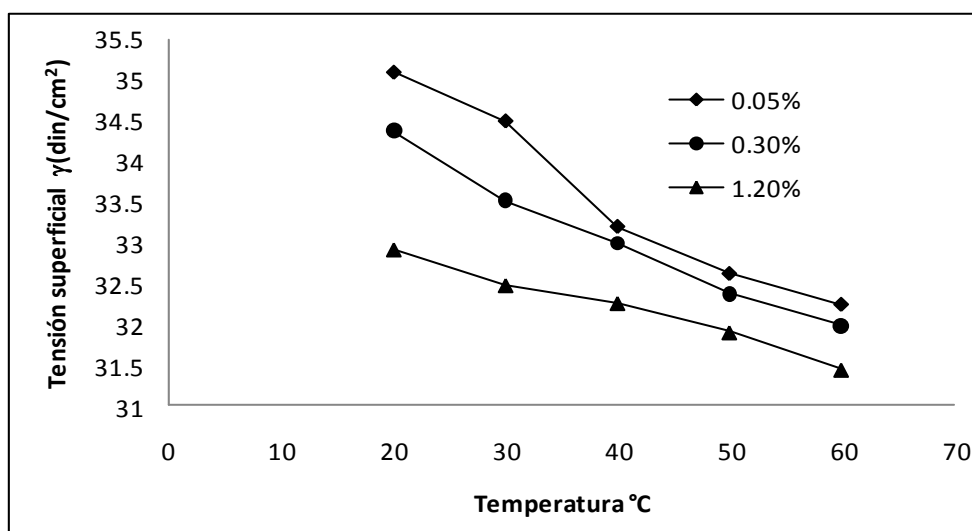


Gráfico 9 Efecto de la variación de la temperatura en la Lecitina a las concentraciones de 0.05%, 0.30% y 1.20%

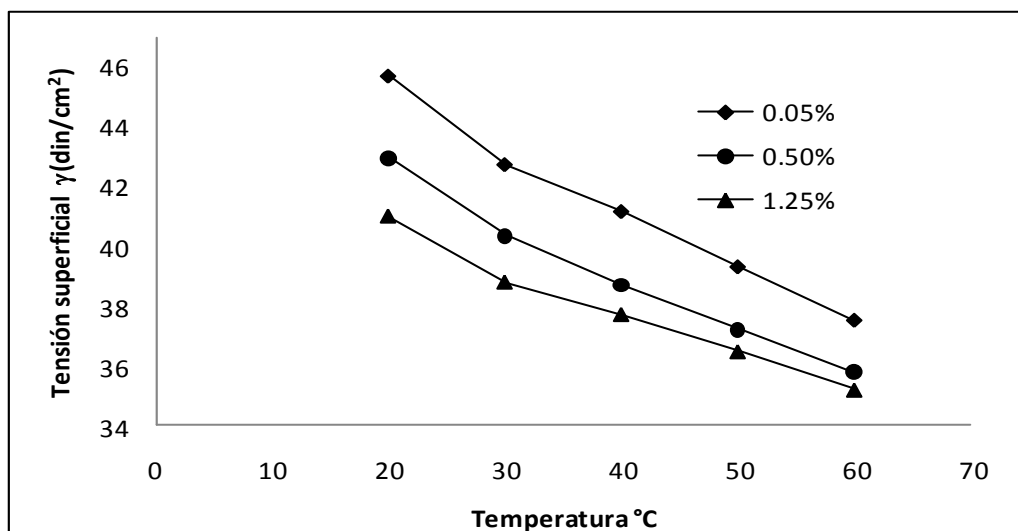


Gráfico 10 Efecto de la variación de la temperatura en el Tween 60 a las concentraciones de 0.05%, 0.50% y 1.25%

¹⁴ Toral "Fisicoquímica de superficies y sistemas dispersos" 1973 pág. 31

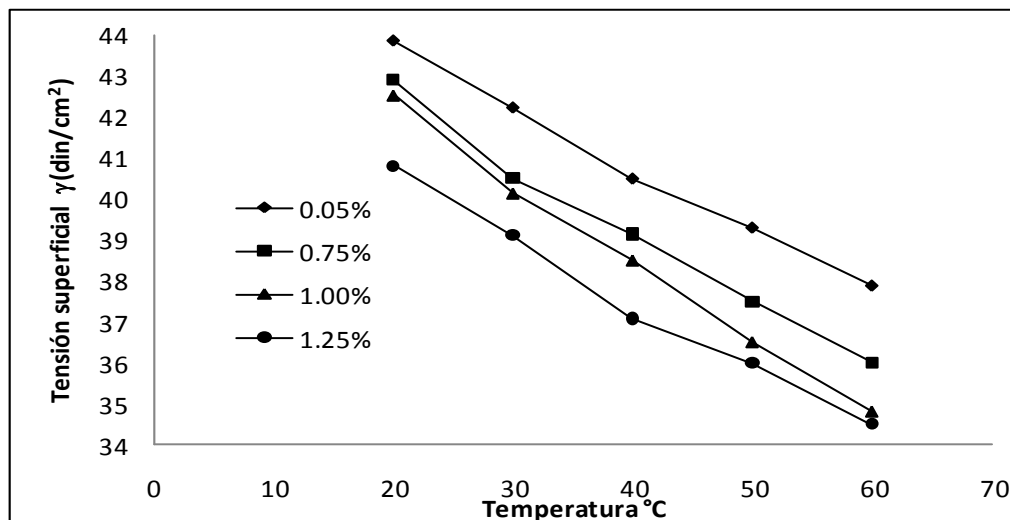


Gráfico 11 Efecto de la variación de la temperatura en el Tween 60 a las concentraciones de 0.05%, 0.75%, 1.00% y 1.25%

Utilizando la ecuación¹⁵ que nos dice que:

$$\left(\frac{dG}{dT}\right)_{P,T,n} = -S^s = \left(\frac{d\gamma}{dT}\right)_P$$

Ecuación 21

$$-S^s = \left(\frac{d\gamma}{dT}\right)_P$$

Integrando obtenemos la ecuación de la línea recta, que queda de la siguiente forma:

$$\gamma = -S^s T + \gamma^0$$

Ecuación 1

Donde γ (tensión superficial) es la y, la x es la T (temperatura).

Al revisar las gráficas 13, 14 y 15 se puede asumir un comportamiento lineal y por tanto que la pendiente corresponde a la entropía de superficie, a continuación se muestra la linealización de los datos obtenidos en las graficas para cada uno de los tensoactivos, donde se obtuvo una correlación (R^2) mayor a 0.9 (ver graficas 13, 14 y 15) con lo cual se puede decir que tienen un comportamiento muy cercano a la línea recta y que la variación se debe a que los datos son experimentales (con una desviación estándar 0.04 y 0.09), por lo tanto se asume que la pendiente es la entropía de superficie¹⁶:

¹⁵ Hiemenz p., Rajegopala R "Principles of colloid and surface chemistry" 1997 pág. 257

¹⁶ Hiemenz p., Rajegopala R "Principles of colloid and surface chemistry" 1997 pág. 257

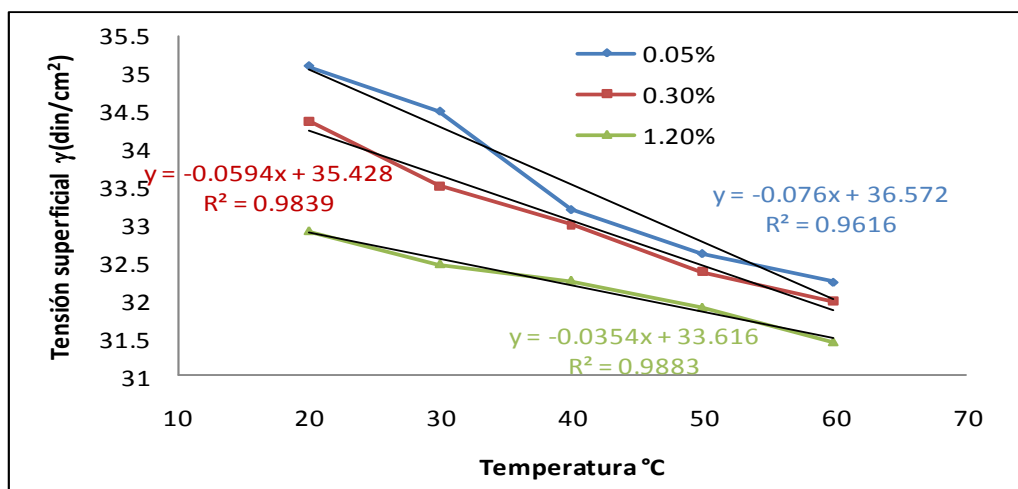


Gráfico 12 Linealización de la variación de la temperatura para Lecitina a las concentraciones de 0.05%, 0.30% y 1.20%

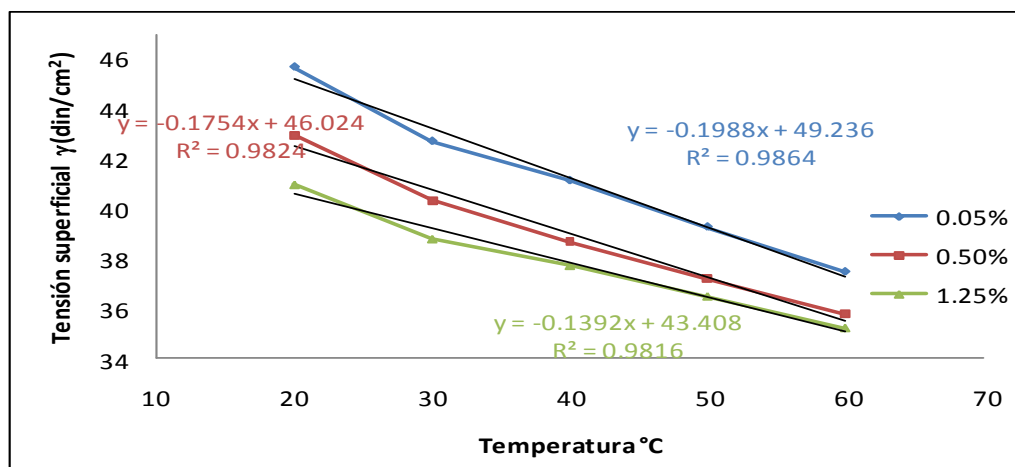


Gráfico 13 Linealización de la variación de la temperatura para el Tween 60 a las concentraciones de 0.05%, 0.50% y 1.25%

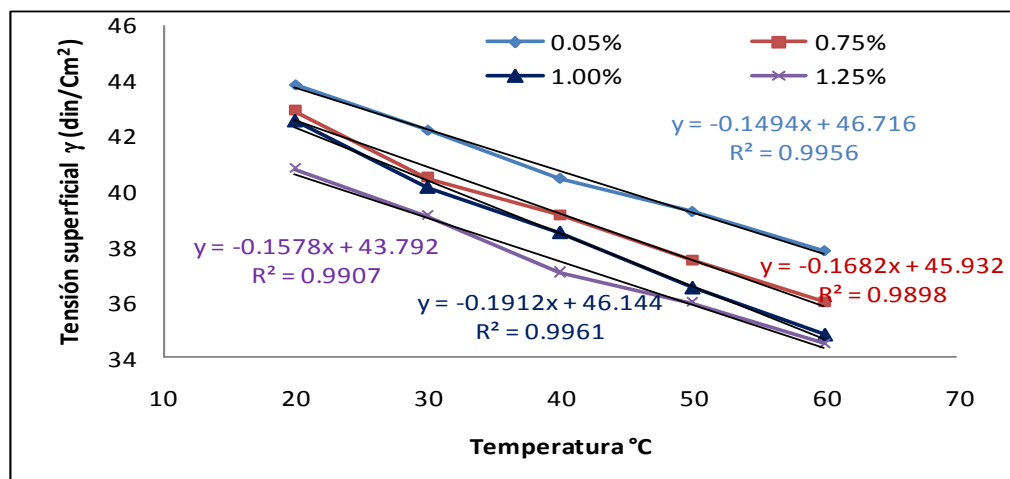


Gráfico 14 Linealización de la variación de la temperatura para el Tween 80 a las concentraciones de 0.05%, 0.50%, 1.00% y 1.25%

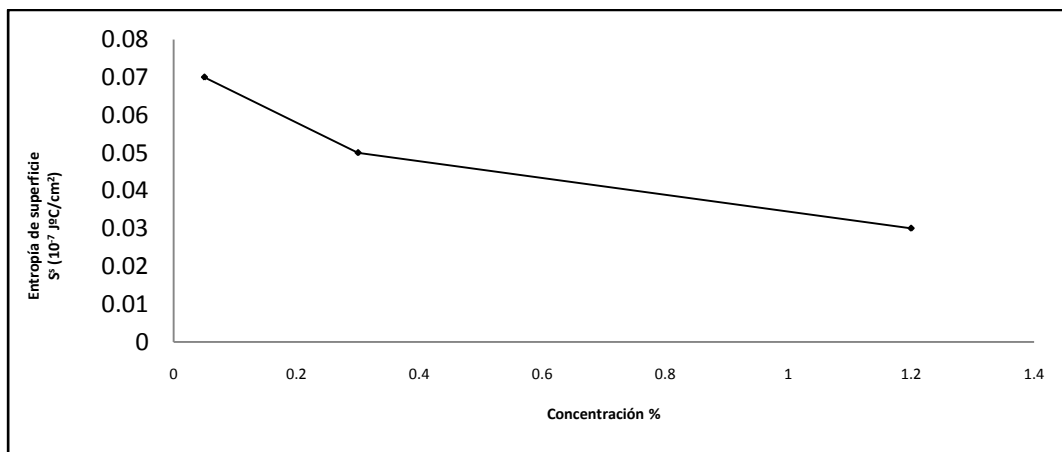


Gráfico 15 Entropía de superficie S^s para la Lecitina

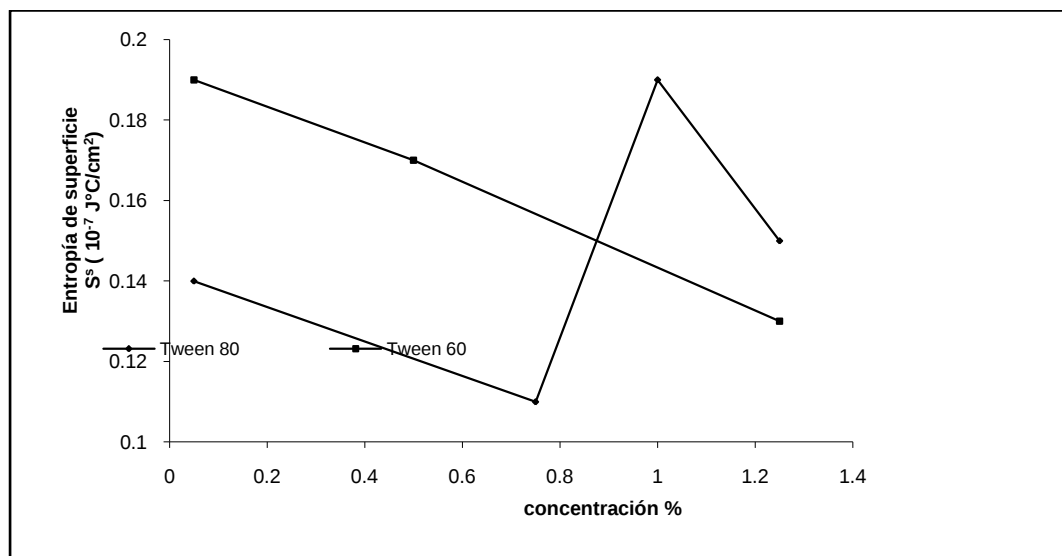


Gráfico 16 Entropía de superficie S^s para la Lecitina

Tomando a la entropía¹⁷ como la interacción de movimiento entre las moléculas y que a una mayor magnitud en la entropía indica que el movimiento de las moléculas en el sistema y la monocapa es mayor, al observar la grafica 16 se puede decir que el sistema Lecitina/aceite presenta un menor movimiento de moléculas en la monocapa y por lo tanto las interacciones entre las mismas moléculas debe ser fuerte para que el movimiento sea mínimo ya que presenta una entropía máxima de $0.07 \times 10^{-7} \text{ J}^\circ\text{C}/\text{cm}^2$ a una concentración de 0.05% (Ver Tabla 15) y como se observa en la grafica esta disminuye conforme se aumenta la concentración lo que nos indica un menor movimiento de las moléculas en la monocapa.

¹⁷ Hiemenz p., Rajegopala R “Principles of colloid and surface chemistry” 1997 pág. 256-257



En el caso de los Tween's, como se puede observar en la grafica 17 el sistema que presenta una mayor inestabilidad es el sistema Tween 80/agua ya que demuestra un comportamiento errático al elevar su movimiento de moléculas después de una concentración de 0.75; esto nos indica que en concentraciones mayores de esta y con incremento de temperatura las interacciones entre las moléculas (tensoactivo/tensoactivo, tensoactivo/agua y agua/agua) se tornan débiles provocando con ello un incremento en el movimiento de las moléculas en el sistema¹⁸. El sistema formado por Tween 60/agua presenta una mayor estabilidad, observándose una tendencia de la entropía a decrecer, sin embargo el movimiento de moléculas que presenta es mayor comparado con el sistema de Tween 80/agua mostrando con ello interacciones débiles entre las moléculas. Cabe recordar que entre menor movimiento haya y más fuertes sean las interacciones (estas dependen de los tipos de enlaces que formen) es menor el abatimiento de la tensión superficial en el sistema.

Una vez obtenidas las entropías de superficie, se utilizara estos datos para obtener las entalpias de superficie H^S (estas propiedades termodinámicas ayudaran a verificar la estabilidad del sistema), utilizando las siguientes ecuaciones¹⁹:

$$G^S = H^S - TS^S$$

Ecuación 2

$$H^S = G^S + TS^S$$

Sí $G^S = \gamma$ y $S^S = \left(\frac{d\gamma}{dT}\right)_P$

Ecuación 19 y 21

Entonces $H^S = \gamma + \left(\frac{d\gamma}{dT}\right)_P T$

Ecuación 3

Al llevar a cabo el tratamiento de los datos con las ecuaciones mencionadas se tienen los siguientes datos y gráficos:

¹⁸ D. Kristensen, et.al., Rheology and Surface Tension of Selected Processes Dairy Fluids: Influence of Temperature, Journal of Dairy Science, 1997.

¹⁹ Hiemenz p., Rajegopala R "Principles of colloid and surface chemistry" 1997 pág. 256-257



Tabla 7 ENTALPIA DE SUPERFICIE PARA LA LECITINA EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA

Entalpía de superficie H^s (10^{-7} J/cm ²) para la Lecitina				
0.05%	0.30%	1.20%	[C]	T°C
36.50	35.38	33.52		20
36.60	35.02	33.38		30
36.00	35.00	33.46		40
36.12	34.88	33.40		50
36.44	34.98	33.24		60

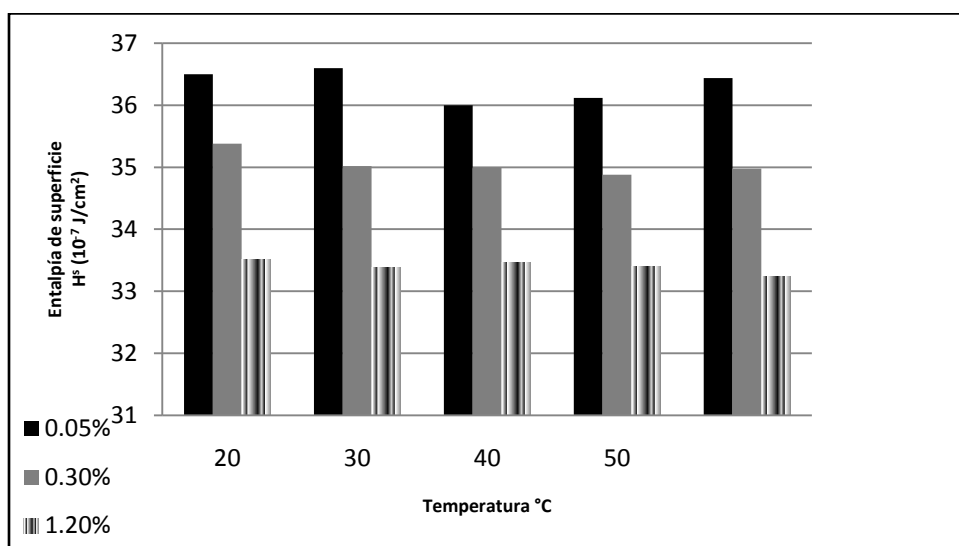


Gráfico 17 Entalpía de superficie H^s para la Lecitina a diferentes concentraciones en función de la temperatura.

Tabla 8 ENTALPÍA DE SUPERFICIE PARA EL TWEEN 60 EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA.

Entalpía de superficie H^s (10^{-7} J/cm ²) para el Tween 60				
0.05%	0.50%	1.25%	[C]	T°C
49.52	46.38	43.60		20
48.44	45.46	42.70		30
48.76	45.50	42.92		40
48.80	45.72	42.98		50
48.90	45.98	43.00		60

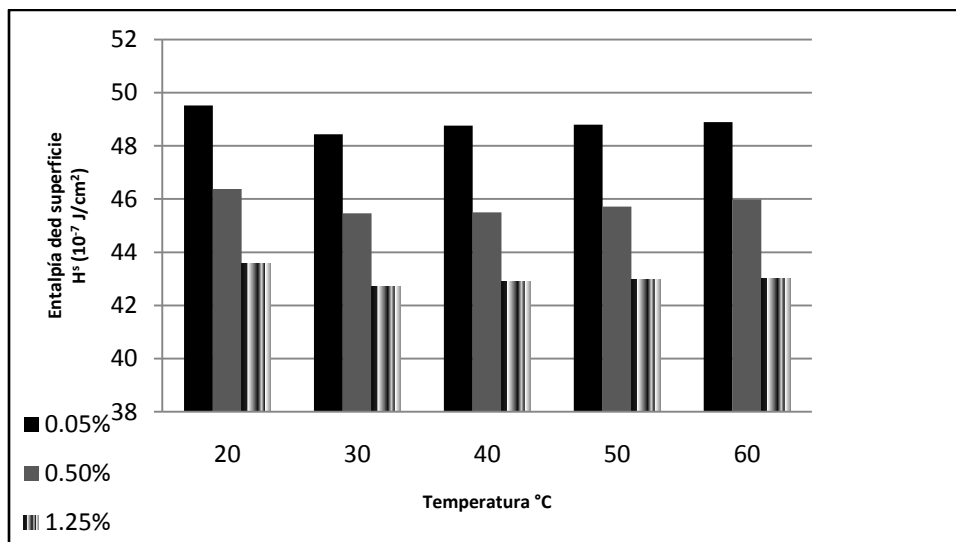


Gráfico 18 Entalpía de superficie H^S para el Tween 60 a diferentes concentraciones en función de la temperatura.

Tabla 9 ENTALPÍA DE SUPERFICIE PARA EL TWEEN 80 EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA.

Entalpía de superficie H^S (10^{-7} J/cm 2) para el Tween 80					
0.05%	0.75%	1.00%	1.25%	[C]	T°C
46.66	46.10	46.34	43.80		20
46.42	45.30	45.84	43.60		30
46.08	45.54	46.10	43.06		40
46.28	45.48	46.00	43.46		50
46.26	45.60	46.20	43.48		60

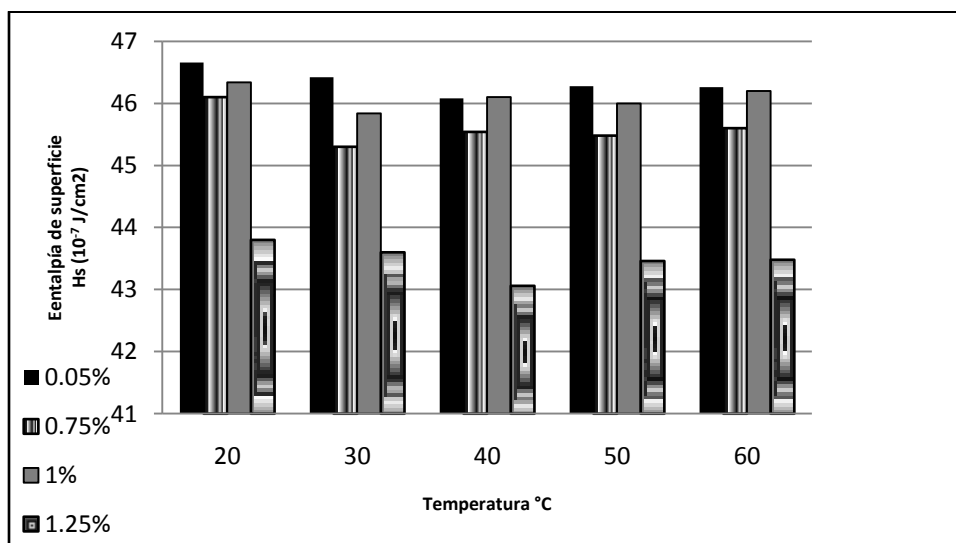


Gráfico 19 Entalpía de superficie H^S para el Tween 80 a diferentes concentraciones en función de la temperatura.



En las graficas 18, 19 y 20 se puede observar una variación mínima en la entalpia de superficie, tomando en cuenta que la variación es máximo la unidad si se sabe que “la capacidad que tiene el sistema de dar o recibir energía”, se puede decir entonces que en general al llegar al punto de la concentración micelar critica se observa una menor variación de la energía de la superficie debido a que en la micela las contrapartes iónicas y aniónicas se acomodan de tal manera que forman una doble capa distribuyendo la difusividad eléctrica y la energía alrededor de la micela²⁰.

De los tres tensoactivos, la Lecitina presenta una menor variación de la entalpia que es de $0.5 \times 10^{-7} \text{ J/cm}^2$, además de requerir una menor energía que en promedio es de $35.13 \times 10^{-7} \text{ J/cm}^2$ para una concentración de 0.30% (ver Tabla 18) la cual consideramos como la CMC; en el caso del Tween 60 para la concentración del 0.50% se tiene una variación $0.92 \times 10^{-7} \text{ J/cm}^2$ y se requiere de una entalpia de $45.8 \times 10^{-7} \text{ J/cm}^2$ (ver Tabla 19); en el Tween 80 la CMC se da en la concentración de 0.75% teniendo una variación $0.8 \times 10^{-7} \text{ J/cm}^2$ al incrementar la temperatura y teniendo una entalpia promedio de $45.60 \times 10^{-7} \text{ J/cm}^2$ (ver Tabla 20).

En general la variación de la entalpía de las soluciones al variar la temperatura es buena para la formación y estabilidad del sistema, ya que la energía requerida para su estabilidad es muy poca, la variación mayor la dio el Tween 60 a su concentración más baja de 0.05%, la cual fue de $1.08 \times 10^{-7} \text{ J/cm}^2$, teniendo una de $48.88 \times 10^{-7} \text{ J/cm}^2$. La entalpia más baja la mostro la lecitina en su concentración de 1.20%, con una entalpia de $33.4 \times 10^{-7} \text{ J/cm}^2$ y una variación de $0.29 \times 10^{-7} \text{ J/cm}^2$. Esta característica termodinámica indica la energía de las interacciones entre las moléculas, en la interfase aire/agua al aplicar un incremento en la temperatura del sistema, como se observa en las graficas 10, 11 y 12 la interacción entre las moléculas en la interfase disminuye al incrementar la temperatura, esto significaría una mayor energía cinética en la solución, Facilitando las interacciones entre las moléculas tensoactivo/tensoactivo, tensoactivo/agua y agua/agua. Esto demuestra que las interacciones que se llevan a cabo entre las moléculas, requieren prácticamente la misma energía al variar la temperatura y que conforme aumenta la concentración de tensoactivo la energía requerida para las interacciones es menor.

La actividad superficial de una molécula está estrechamente relacionada con su capacidad hidrófila/hidrófoba de su superficie y con la flexibilidad de la molécula²¹,

²⁰ Falbe J. “Surfactants in consumer Products Theory, tecnology and aplication” 1987 pág. 166

²¹ D. Kristensen, et.al., Rheology and Surface Tension of Selected Processes Dairy Fluids: Influence of Temperature, Journal of Dairy Science, 1997.



con lo cual una molécula que presenta una mayor capacidad hidrófila y una baja flexibilidad y tendrá una menor posibilidad de adsorberse en la superficie. Esto se puede ver en los resultados obtenidos donde el tensoactivo que presenta una menor flexibilidad de la molécula es la Lecitina debido a la naturaleza de sus componentes (fosfolípidos)²² es decir que tiene una menor actividad superficial.

²² Multon Jean Louis “Aditivos auxiliares de fabricación en las industrias agroalimentarias” 2000 pag. 428



10. Conclusiones

- ✧ El Tween 60 en una solución acuosa presenta un mayor abatimiento de la tensión superficial al aumentar la concentración del tensoactivo en la solución, en comparación con el Tween 80. La lecitina presenta un abatimiento de la tensión superficial del aceite de más de 2 unidades.
- ✧ Los tres tensoactivos presentaron una concentración micelar crítica (CMC), siendo para la lecitina la concentración de 1.20% para su dilución en aceite y para el Tween 60 y 80 en la concentración de 1.25% para el sistema Tween/agua
- ✧ La mayor presión superficial la presentó el Tween 60 incrementándose sobre la del Tween 80 a partir de la concentración de 0.25% demostrando que el Tween 60 presenta una mayor inestabilidad. La lecitina también presentó un incremento constante en la presión de superficie del sistema aceite/Lecitina.
- ✧ De los tres tensoactivos el que presentó el mayor incremento en el exceso de soluto fue el Tween 80 para las concentraciones de 1% y 1.25%, sin embargo en las concentraciones de 0.25, 0.5 y 0.75% los tres tensoactivos presentaron diferencias no significativas en el exceso de soluto.
- ✧ El trabajo de cohesión presentado por el Tween 80 fue mayor que el presentado por el Tween 60 al incrementar en más de 0.25% la concentración del tensoactivo en la solución. La Lecitina presentó un decremento constante en el trabajo de cohesión.
- ✧ Hasta antes de llegar a la concentración de 0.25% el Tween 60 es el que requiere un mayor energía para la formación de la superficie, conforme se aumenta la concentración, la energía requerida va disminuyendo aun por debajo de la requerida por el Tween 80. La Lecitina presenta un descenso en la energía de superficie al aumentar la concentración del tensoactivo.
- ✧ Al aumentar la temperatura se consigue un mayor movimiento de las moléculas disminuyendo con ello la tensión superficial. El Tween 80, presentó una gran inestabilidad en la entropía y entalpia de superficie comparado con el Tween 60, La lecitina presentó un menor movimiento al descender su entropía de superficie esto se debe a que como se observa en las diversas graficas presentadas las interacciones entre las moléculas se vuelven inestables a concentraciones altas del tensoactivo.
- ✧ Los resultados aquí presentados permitirán una visión más amplia de las propiedades de estos tensoactivos y con ello herramientas para el momento



en que se requiera la utilización de estos de acuerdo a las características del sistema coloidal a formar, los componentes químicos del sistema, y las característica que se quiera desarrollar para el producto, las temperaturas a las que se puede manejar y la optimización del tensoactivo.



9. Bibliografía

1. Alan R. Mackie, A. Patrick Gunning, Peter J. Wide, Victor J. Morris . Orogenic Displacement of Protein from the Air/Waterr interfase by Competitive Adsorption. Colloid and interfase Science. 210, 157-166, 1999.

10. Bibliografía

2. Castellan Gilbert, W. Fisicoquímica. 2ª. Edición. Edit. Addison Wesley Longman 1998.
3. Charalanmbous George Food Emulsifiers Chemistry technology, functional properties and applications Elsevier New York 1989.
4. Chattopadhyay Arun K Surfactants in solution Vol 64 California 1990
5. Chinoda Koso Solvents properties of surfactants solutions California Vol. 55
6. D. Kristensen, P. Y. Jensen, F. Madsen and K:S: Birdi, Rheology and Surface Tension of Selected Processes Dairy Fluids: Influence of Temperature, Journal of Dairy Science Vol 80,10, 2282-2290, 1997.
7. Fennema Owen. R. Introducción a la ciencia de los Alimentos. Edit. Reverté. S.A. Zaragoza España 1985. Tomos I y II.
8. Garfias Javier F. et.al. Tensoactivos y su aplicación en la industria. Sociedad química de México. México 1978.
9. Griffing W.C. Emulsions Atlas Chemicals Industries, Inc.
10. Hayami Yoshiteru, Uemura Akira, Ikeda Norihiro, Aratono Makamoto, Motomura Kinsi, Phase transition of the adsorbed film of 1,1,2,2-tetrahydroperfluorodecanol at the hexane/water interfase, Journal of colloid and the interfase science 172, 142-146 (1995).
11. Hiemenz Paul C., Rajagopalan Raj Principles of colloids and surface Chemistry 3ª Edición, Edit. Marcel Dekker Inc. Estados Unidos 1997
12. http://es.wikipedia.org/wiki/Autoagregaci%C3%B3n_de_Anfililos (consultada en septiembre de 2008).
13. Levine Iran. Fisicoquímica, Mc. Graw-Hill. 1983.
14. Lewis M. J. Propiedades físicas de los alimentos Edit. Acribia Zaragoza España 1993



15. M. C. Teresa Unda C. <http://depa.pquim.unam.mx/~tunda/metodosdets.htm>
16. M.A. Alvarez b, D. Seyler a, S. Madrigal-Carballo c, A.O. Vila a, F. Molinaa, Influence of the electrical interphase properties on the rheological behavior of sonicated soy lecithin dispersions Journal of Colloid and Interface Science 309 (2007) 279–282.
17. Madrid A. Vicente Los aditivos en los alimentos. Edit. Mundi-prensa libros, Madrid España, 1992 251pag.
18. Multon Jean-Luis Aditivos auxiliares en la fabricación en las industrias agroalimentarias. 2ª edición, Edit. Acribia S. A. España 2000
19. MYERS D. Surfactant science and technology VCH, Weinheim.1988
20. N. Rubingh Donn, M. Holland Paul Cationic surfactants physical Chemistry Surfactant Science Series Vol. 37 New York U.S.A. 1991
21. Neuman . W. Et. Al. Applied surface thermodynamics California 1998
22. Ping Lia, Anasuya Ghosha, Robert F. Wagnera, Steve Krillb, Yatindra M. Joshia, Abu T.M. Serajuddin, Effect of combined use of nonionic surfactant on formation of oil-in-water microemulsions International Journal of Pharmaceutics 288 (2005) 27–34
23. PLM Diccionario de especialidades para la industria alimentaria 2004
24. Rodríguez Patino Juan M., Carrera Sánchez Cecilio, Rodríguez Niño Ma. Rosario, Implications of interfacial characteristics of food foaming agents in foam formulations, Advances in Colloid and Interface Science xx (2008) xxx–xxx
25. S.A.K. Jeelani, E.J. Windhab Local film thinning due to concentration gradient of an insoluble surfactant at an interface Journal of Colloid and Interface Science 298 (2006) 810–824
26. Salager Jean-Louis Surfactantes en solución acuosa FIRP Venezuela 1993
27. Schick J. Martin Nonionic surfactants California 1998 Vol. 19
28. Schmitt Thomas M. Analysis of surfactants 2a edición California 1998
29. Shaw D. Introducción a la química de superficies y coloides 2ª edición edit. Alambra España 1977



30. T. Tran Le^a, M. El-Bakry, N. Neiryneck, M. Bogus, H. Dinh Hoab, P. Van der Meeren, Hydrophilic lecithins protect milk proteins against heat-induced aggregation Colloids and Surfaces B: Biointerfaces 60 (2007) 167–173.
31. Thomas Karbowiak, Frédéric Debeaufort, Andrée Voilley, Importance of Surface Tension Characterization for Food, Pharmaceutical and Packaging Products: A review, Critical Reviews in Food Science and Nutrition 46, 391 -407, 2006.
32. Toral María Teresa. Fisicoquímica de superficies y sistemas dispersos. España 1973.
33. Villagómez Zavala Dora, Franco Rodríguez Guadalupe, Pedroza Islas R, Oballa Valdivia Adolfo. Propiedades termodinámicas de superficie de tres polisacáridos k-carragenina, goma de mezquite, alginato de sodio y un concentrado proteico de suero de leche. Depto. Ingeniería y c. químicas, Universidad Iberoamericana. División de Ciencias Químicas, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlan, Universidad Nacional Autónoma de México. 2004
34. Yoshiteru Hayami and Kinsi Motomura, Adsorption of 1 – Monoglycerides at the Hexane/water interfase, Journal of Colloid and Interface Science, 209, 173 - 178, 1999.
35. Belitz H. D., Grosh W. Química de los alimentos 2^a edición, Edit. Acribia Zaragoza España 1997.
36. Falbe J. Surfactants in consumer Products Theory, technology and application Edit. Springer-Verlag New York, Helderberg Berlin 1987.



Glosario

γ	Tensión superficial	din/cm	k	Constant de Eötvös	
β	Factor de corrección	0.75-1.7	L	Longitud de la circunferencia del anillo	cm
π	pi	3.1416	m	masa	g
π	Presión superficial	din/cm	Mv	Volumen molecular	
Γ	Exceso de soluto	Mol/cm ²	n	Número de moles	
α	Fase alfa		p	perímetro	cm
β	Fase beta		r	Radio	cm
μ	Potencial químico		R	Constante de los gases	2cal/mol K
γ_0	Tensión superficial del solvente puro	din/cm	s	Interfase o superficie	
γ^0	Tensión superficial inicial	din/cm	S^S	Entropía de superficie	J/cm K
A	Área	cm ²	T	Temperatura	kelvin
b	Constante		T_c	Temperatura critica	
C_b	Concentración global		V	volumen	cm ³
d	diámetro	cm	W	Trabajo	
d	derivada		W_{AB}	Trabajo de Adhesión	din/cm
F	Fuerza		W_c	Trabajo de cohesión	din/cm
g	Aceleración de la gravedad	cm/s	x	distancia	
G	Energía libre de Gibbs	J/cm			
G^S	Energía libre de Gibbs de superficie	J/cm			
H^S	Entalpía de superficie	J/cm			



ANEXO 1

ESPECIFICACIONES DE LOS TENSOACTIVOS UTILIZADOS, LECITINA, TWEEN 60 Y TWEEN 80



CERTIFICADO DE ANALISIS

PRODUCTO: TWEEN 80

LOTE: 41 – L6505

PARAMETROS	ESPECIFICACION	ANALISIS
APARIENCIA	LIQUIDO VISCOSO DE COLOR AMARILLO	OK
COLOR	6.00 MAX	4.00
OLOR	CARACTERISTICO	O.K.
PESO ESPECIFICO A 25°C	1.0600 – 1.0900	1.0717
INDICE DE ACIDEZ	2.20	1.71
INDICE DE HIDROXILO	65.00 – 80.00	65.58
INDICE DE SAPONIFICACION	45.00 – 55.00	46.45
% DE HUMEDAD	3.00 % MAX	2.51 %
HLB		15.37
METALES PESADOS	0.001 % MAX	PASA LA PRUEBA
RESIDUOS DE IGNICION	0.25 % MAX	0.11 %
IMPUREZAS ORGANICAS VOLATILES	PASA LA PRUEBA	PASA LA PRUEBA
VISCOSIDAD A 25 °C SP #2,12 rpm	300 – 500 Cst.	447.89 Cst.

COPIA FIEL DEL FABRICANTE-



CERTIFICADO DE ANALISIS

PRODUCTO: TWEEN 60

LOTE: 41 – K5605

PARAMETROS	ESPECIFICACION	ANALISIS
APARIENCIA	LIQUIDO VISCOSO O SEMI-SOLIDO DE COLOR AMARILLO.	
COLOR GARDNER	10.00 MAX	3.00
OLOR	CARACTERISTICO	O.K.
INDICE DE ACIDEZ	2.20 MAX	1.19
INDICE DE HIDROXILO	81.00 – 96.00	94.44
INDICE DE SAPONIFICACION	45.00 – 55.00	45.55
% DE HUMEDAD	3.00 % MAX	2.09 %
HLB		16.61
METALES PESADOS	0.001 % MAX	PASA LA PRUEBA
RESIDUOS DE IGNICION	0.25 % MAX	0.02 %

COPIA FIEL DEL FABRICANTE-



LECITINA DE SOYA

Lote: 1186

DESCRIPCION:

Líquido viscoso, oleoso, de color café oscuro y olor leve característico.

OBTENCION:

La lecitina de soya es un subproducto de la fabricación de aceite de soya desgomado, el cual consiste en la operación de lavado del aceite de soya crudo con agua y/o vapor por un período específico y subsecuente centrifugación, como resultado se obtiene una mezcla de lecitina, cefalina, y fosfátidos de inositol, junto con glicéridos del aceite de soya y trazas de tocoferoles, glucósidos y pigmentos; esta mezcla se procesa adicionalmente para obtener las diferentes calidades comerciales de lecitina.

COMPOSICION:

Contiene ácidos: palmítico 11.7 %, esteárico 4.0 %, palmitoléico 8.6 %, oleico 9.8 %, linoléico 4.0 %, C₂₀ a C₂₁ (incluyendo araquidónico) 5.5 %.

SOLUBILIDAD:

Soluble en aceites minerales y ácidos grasos. Prácticamente insoluble en aceites animales y vegetales fríos.

Soluble en cloroformo, éter, éter de petróleo; 1 parte se disuelve en 12 partes de alcohol absoluto. Insoluble en acetona.

ESPECIFICACIONES:

Material Insoluble en Acetona:	62 % mínimo
Indice de Acidez:	32 máximo
Humedad:	1.0 % máximo

USOS:

-Surfactante y emulsificante de origen natural, comestible y digerible. Se utiliza en margarina, chocolates, y en la industria alimenticia en general.

- En productos farmacéuticos y cosméticos

- Algunos usos industriales, son en el tratamiento de pieles y textiles.