

Universidad del Valle de Guatemala  
Facultad de Ciencias y Humanidades



**MEJORAMIENTO DE LOS DETERGENTES SINTÉTICOS EN BARRA,  
A NIVEL INDUSTRIAL, MEDIANTE EL CAMBIO DE ÁCIDO  
SULFÓNICO RAMIFICADO A LINEAL**

BIBLIOTECA  
DE LA  
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Trabajo de graduación presentado por  
Daniel Fernández Quevedo  
para optar al grado de Licenciado en Ingeniería Química

Guatemala

2003

**MEJORAMIENTO DE LOS DETERGENTES SINTÉTICOS EN BARRA,  
A NIVEL INDUSTRIAL, MEDIANTE EL CAMBIO DE ÁCIDO SULFÓNICO  
RAMIFICADO A LINEAL**

Universidad del Valle de Guatemala  
Facultad de Ciencias y Humanidades

**MEJORAMIENTO DE LOS DETERGENTES SINTÉTICOS EN BARRA,  
A NIVEL INDUSTRIAL, MEDIANTE EL CAMBIO DE ÁCIDO SULFÓNICO  
RAMIFICADO A LINEAL**

Trabajo de graduación presentado por  
Daniel Fernández Quevedo  
para optar al grado de Licenciado en Ingeniería Química

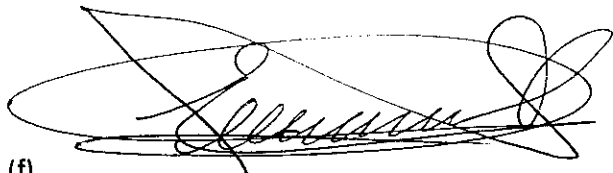
Guatemala  
2003

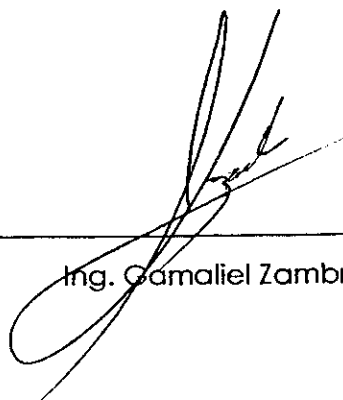
**Vo. Bo.**

(f)   
Asesora Inga. Aida Cárcamo Pinto

**Tribunal:**

(f)   
Inga. Aida Cárcamo Pinto

(f)   
Ing. Eduardo Calderón García

(f)   
Ing. Gamaliel Zambrano

Fecha de aprobación: 28 de mayo de 2003

A Bella, Al, Ana María y Daniel

## ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS .....	ix
ÍNDICE DE GRÁFICAS .....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiv
ÍNDICE DE REACCIONES .....	xv
RESUMEN .....	xvi
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. ANTECEDENTES .....	2
A. Del jabón a los detergentes sintéticos .....	2
B. Funcionamiento de los detergentes .....	5
C. Manufactura de detergentes .....	7
1. Manufactura de jabón. ....	7
2. Manufactura de detergentes sintéticos en barra .....	8

a.	Materias primas principales .....	8
1)	Ácido sulfónico.....	8
2)	Agentes constructores .....	10
b.	Ingredientes menores .....	12
1)	Perfumes.....	12
2)	Colorantes y blanqueadores ópticos .....	13
3)	Aditivos orgánicos.....	13
c.	Proceso de producción.....	14
1)	Elaboración y mezclado .....	14
2)	Homogenización y extrusión .....	16
3)	Cortado y empaque .....	18
<b>D.</b>	<b>Consideraciones ambientales sobre la industria de detergentes .....</b>	<b>19</b>
1.	Biodegradabilidad.....	19
2.	Eutrofización.....	20
<b>E.</b>	<b>Análisis fisicoquímicos .....</b>	<b>21</b>
1.	Ingrediente activo .....	21
2.	Humedad .....	22
3.	Penetrabilidad.....	22
<b>III.</b>	<b>JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>23</b>
<b>IV.</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>24</b>
<b>A.</b>	<b>General.....</b>	<b>24</b>
<b>B.</b>	<b>Específicos.....</b>	<b>24</b>

V. PROBLEMA A RESOLVER .....	25
VI. METODOLOGÍA.....	26
VII. RESULTADOS.....	27
A. Análisis fisicoquímicos .....	27
B. Prueba de los consumidores.....	32
C. Análisis de costos .....	34
VIII. DISCUSIÓN .....	35
IX. CONCLUSIONES.....	41
X. RECOMENDACIONES .....	42
XI. BIBLIOGRAFÍA.....	43
XII. ANEXOS.....	44
A. Análisis fisicoquímicos .....	44
B. Prueba de los consumidores.....	85
C. Análisis de costos .....	103
D. Glosario.....	107

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla No. 1	Características típicas del ácido sulfónico ramificado y lineal .....	10
Tabla No. 2	Análisis de varianzas del contenido de ingrediente activo del producto terminado .....	30
Tabla No. 3	Prueba de hipótesis para el contenido de ingrediente activo del producto terminado .....	30
Tabla No. 4	Análisis de varianzas de la humedad del producto terminado .....	30
Tabla No. 5	Prueba de hipótesis para la humedad del producto terminado .....	31
Tabla No. 6	Análisis de varianzas de la penetrabilidad del producto terminado .....	31
Tabla No. 7	Prueba de hipótesis para la penetrabilidad del producto terminado .....	31
Tabla No. 8	Prueba Chi cuadrado ( $\chi^2$ ) para preferencia global del producto .....	33
Tabla No. 9	Prueba de hipótesis para la preferencia global del producto .....	33
Tabla No. 10	Aumento anual proyectado en el costo del producto con las fórmulas propuestas .....	34
Tabla No. 11	Análisis fisicoquímicos de materias primas .....	44
Tabla No. 12	Determinación del tamaño mínimo de las muestras a analizar por lote de producto terminado .....	45
Tabla No. 13	Análisis de ingrediente activo, fórmula 24.5% IA (ácido sulfónico lineal) .....	46
Tabla No. 14	Análisis de ingrediente activo, fórmula 22.0% IA (ácido sulfónico lineal) .....	47
Tabla No. 15	Análisis de ingrediente activo, fórmula 20.5% IA (ácido sulfónico lineal) .....	48
Tabla No. 16	Análisis de ingrediente activo, fórmula 24.5% IA (ácido sulfónico ramificado) .....	49
Tabla No. 17	Análisis de humedad, fórmula 24.5% IA (ácido sulfónico lineal) .....	50
Tabla No. 18	Análisis de humedad, fórmula 22.0% IA (ácido sulfónico lineal) .....	51
Tabla No. 19	Análisis de humedad, fórmula 20.5% IA (ácido sulfónico lineal) .....	52

Tabla No. 20	Análisis de humedad, fórmula 24.5% IA (ácido sulfónico ramificado)	.53
Tabla No. 21	Análisis de penetrabilidad, fórmula 24.5% IA, día 1 (ácido sulfónico lineal)	54
Tabla No. 22	Análisis de penetrabilidad, fórmula 24.5% IA, día 2 (ácido sulfónico lineal)	55
Tabla No. 23	Análisis de penetrabilidad, fórmula 24.5% IA, día 3 (ácido sulfónico lineal)	56
Tabla No. 24	Análisis de penetrabilidad, fórmula 24.5% IA, día 4 (ácido sulfónico lineal)	57
Tabla No. 25	Análisis de penetrabilidad, fórmula 24.5% IA, día 5 (ácido sulfónico lineal)	58
Tabla No. 26	Análisis de penetrabilidad, fórmula 24.5% IA, día 6 (ácido sulfónico lineal)	59
Tabla No. 27	Análisis de penetrabilidad, fórmula 24.5% IA, día 12 (ácido sulfónico lineal)	60
Tabla No. 28	Análisis de penetrabilidad, fórmula 22.0% IA, día 1 (ácido sulfónico lineal)	61
Tabla No. 29	Análisis de penetrabilidad, fórmula 22.0% IA, día 2 (ácido sulfónico lineal)	62
Tabla No. 30	Análisis de penetrabilidad, fórmula 22.0% IA, día 3 (ácido sulfónico lineal)	63
Tabla No. 31	Análisis de penetrabilidad, fórmula 22.0% IA, día 4 (ácido sulfónico lineal)	64
Tabla No. 32	Análisis de penetrabilidad, fórmula 22.0% IA, día 5 (ácido sulfónico lineal)	65
Tabla No. 33	Análisis de penetrabilidad, fórmula 22.0% IA, día 6 (ácido sulfónico lineal)	66
Tabla No. 34	Análisis de penetrabilidad, fórmula 22.0% IA, día 12 (ácido sulfónico lineal)	67
Tabla No. 35	Análisis de penetrabilidad, fórmula 20.5% IA, día 1 (ácido sulfónico lineal)	68
Tabla No. 36	Análisis de penetrabilidad, fórmula 20.5% IA, día 2 (ácido sulfónico lineal)	69

Tabla No. 37	Análisis de penetrabilidad, fórmula 20.5% IA, día 3 (ácido sulfónico lineal) .....	70
Tabla No. 38	Análisis de penetrabilidad, fórmula 20.5% IA, día 4 (ácido sulfónico lineal) .....	71
Tabla No. 39	Análisis de penetrabilidad, fórmula 20.5% IA, día 5 (ácido sulfónico lineal) .....	72
Tabla No. 40	Análisis de penetrabilidad, fórmula 20.5% IA, día 6 (ácido sulfónico lineal) .....	73
Tabla No. 41	Análisis de penetrabilidad, fórmula 20.5% IA, día 12 (ácido sulfónico lineal) .....	74
Tabla No. 42	Análisis de penetrabilidad, fórmula 24.5% IA, día 1 (ácido sulfónico ramificado).....	75
Tabla No. 43	Análisis de penetrabilidad, fórmula 24.5% IA, día 2 (ácido sulfónico ramificado).....	76
Tabla No. 44	Análisis de penetrabilidad, fórmula 24.5% IA, día 3 (ácido sulfónico ramificado).....	77
Tabla No. 45	Análisis de penetrabilidad, fórmula 24.5% IA, día 4 (ácido sulfónico ramificado).....	78
Tabla No. 46	Análisis de penetrabilidad, fórmula 24.5% IA, día 5 (ácido sulfónico ramificado).....	79
Tabla No. 47	Análisis de penetrabilidad, fórmula 24.5% IA, día 6 (ácido sulfónico ramificado).....	80
Tabla No. 48	Análisis de penetrabilidad, fórmula 24.5% IA, día 12 (ácido sulfónico ramificado).....	81
Tabla No. 49	Cálculos para el ANOVA del contenido de ingrediente activo del producto terminado .....	83
Tabla No. 50	Cálculos para el ANOVA de la humedad del producto terminado .....	83
Tabla No. 51	Cálculos para el ANOVA de la penetrabilidad del producto terminado .....	84
Tabla No. 52	Determinación del tamaño mínimo de la muestra por celda .....	85
Tabla No. 53	Características de la población .....	85
Tabla No. 54	Celdas de comparación.....	86
Tabla No. 55	Preferencia de los consumidores en la celda 1 .....	86
Tabla No. 56	Preferencia de los consumidores en la celda 2.....	86

Tabla No. 57	Preferencia de los consumidores en la celda 3.....	87
Tabla No. 58	Prueba Chi cuadrado ( $\chi^2$ ) para la preferencia de las características claves del producto.....	87
Tabla No. 59	Prueba de hipótesis para la preferencia de las características claves del producto .....	92
Tabla No. 60	Cálculos para la prueba Chi cuadrado ( $\chi^2$ ) de preferencia global del producto entre celdas.....	93
Tabla No. 61	Cálculos para la prueba Chi cuadrado ( $\chi^2$ ) de preferencia global del producto entre fórmulas.....	94
Tabla No. 62	Cálculos para la prueba Chi cuadrado ( $\chi^2$ ) de preferencia del producto por eficiencia de limpieza entre celdas.....	95
Tabla No. 63	Cálculos para la prueba Chi cuadrado ( $\chi^2$ ) de preferencia del producto por eficiencia de limpieza entre fórmulas.....	96
Tabla No. 64	Cálculos para la prueba Chi cuadrado ( $\chi^2$ ) de preferencia del producto por fragancia entre celdas .....	97
Tabla No. 65	Cálculos para la prueba Chi cuadrado ( $\chi^2$ ) de preferencia del producto por fragancia entre fórmulas .....	98
Tabla No. 66	Cálculos para la prueba Chi cuadrado ( $\chi^2$ ) de preferencia del producto por consistencia entre celdas.....	99
Tabla No. 67	Cálculos para la prueba Chi cuadrado ( $\chi^2$ ) de preferencia del producto por consistencia entre fórmulas.....	100
Tabla No. 68	Cálculos para la prueba Chi cuadrado ( $\chi^2$ ) de preferencia del producto por rendimiento entre celdas .....	101
Tabla No. 69	Cálculos para la prueba Chi cuadrado ( $\chi^2$ ) de preferencia del producto por rendimiento entre fórmulas .....	102
Tabla No. 70	Costo de la fórmula con 24.5% de ingrediente activo (ácido sulfónico lineal) .....	103
Tabla No. 71	Costo de la fórmula con 22.0% de ingrediente activo (ácido sulfónico lineal) .....	104
Tabla No. 72	Costo de la fórmula con 20.5% de ingrediente activo (ácido sulfónico lineal) .....	105
Tabla No. 73	Costo de la fórmula actual (ácido sulfónico ramificado).....	106

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica No. 1	Contenido de ingrediente activo del producto terminado .....	27
Gráfica No. 2	Humedad del producto terminado .....	28
Gráfica No. 3	Penetrabilidad del producto terminado contra el tiempo .....	29
Gráfica No. 4	Preferencia global del producto.....	32
Gráfica No. 5	Penetrabilidad del producto terminado .....	82
Gráfica No. 6	Preferencia del producto por eficiencia de limpieza .....	88
Gráfica No. 7	Preferencia del producto por fragancia .....	89
Gráfica No. 8	Preferencia del producto por consistencia .....	90
Gráfica No. 9	Preferencia del producto por rendimiento .....	91

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No.1	Micela de detergente .....	6
Figura No.2	Grasa emulsificada por una micela de detergente .....	6
Figura No.3	Alquilbencensulfonato típico.....	9
Figura No.4	Diagrama de bloques del proceso actual de elaboración y mezclado .....	15
Figura No.5	Esquema de un extrusor .....	17
Figura No.6	Cortadora de cadena .....	18
Figura No.7	Tipos de empaque de detergentes sintéticos en barra .....	18

## ÍNDICE DE REACCIONES

Reacción No.1	Reacción general de saponificación .....	7
Reacción No.2	Reacción de neutralización de ácido sulfónico con carbonato de sodio .....	14
Reacción No.3	Reacción de descomposición del ácido carbónico .....	14

## RESUMEN

El ácido sulfónico ramificado, materia prima utilizada actualmente en la manufactura de detergentes sintéticos en barra, forma sales surfactantes no biodegradables, por lo que el producto final constituye una fuente de contaminación ambiental. Para efectuar exitosamente el cambio a ácido sulfónico lineal, el cual sí es biodegradable, existen tres aspectos principales a considerar: las propiedades fisicoquímicas claves del producto, la aceptación de este por parte de los consumidores y la minimización del impacto en su costo.

Luego de efectuar pruebas en la línea de producción con tres fórmulas propuestas y la fórmula actual, cuya principal diferencia era el contenido de ingrediente activo, se determinó que el producto obtenido con cada fórmula tiene una dureza distinta, la cual disminuye con el contenido de ingrediente activo. Las pruebas efectuadas con consumidores posteriormente mostraron que estos sí perciben diferencias entre la fórmula actual y las fórmulas propuestas; prefiriendo el producto hecho con ácido sulfónico lineal. Por otro lado, los consumidores no prefieren ninguna de las tres fórmulas propuestas sobre a la actual, por lo que cualquiera representaría una mejora de igual magnitud en la calidad percibida del producto.

La fórmula más adecuada para efectuar el cambio fue elegida de acuerdo a su impacto en los costos del producto, siendo la fórmula de menor costo la que tiene 20.5% de ingrediente activo. Por lo tanto, esta debe ser la fórmula que reemplace a la actual, pues al mismo tiempo de representar una mejora en el producto tiene un aumento de 4.19% en su costo.

## I. INTRODUCCIÓN

En un sentido estricto, el término detergente abarca una variedad de compuestos cuya disolución actúa como agente limpiador de la suciedad en superficies contaminadas. Aunque hasta mediados del siglo pasado el jabón era el único detergente, hoy existen muchos tipos desarrollados en años recientes. Mientras que el jabón se fabrica utilizando grasas vegetales y animales, los detergentes sintéticos, o simplemente detergentes, son sales de sodio de ácidos sulfónicos.

Los ácidos sulfónicos –sintetizados a partir de compuestos aromáticos y ácido sulfúrico– se neutralizan con distintos álcalis para transformarlos en las sales de sodio correspondientes. Los detergentes se fabricaron y comercializaron exitosamente desde finales de la década de 1940. En ese entonces se utilizó como materia prima el ácido sulfónico ramificado, cuya molécula incluye una cadena polimérica de propileno. A diferencia del jabón, estos detergentes son altamente efectivos en agua dura y en agua fría. Sin embargo, presentan una considerable desventaja: no son biodegradables. Los ácidos sulfónicos ramificados resisten el ataque natural de microorganismos, convirtiéndose en contaminantes al alcanzar cuerpos de agua. En los países desarrollados, la industria de detergentes ha reemplazado los ácidos sulfónicos ramificados por lineales. Además de ser biodegradables, estos poseen una acción detergente tan eficaz como la de los ramificados.

La conservación de los recursos naturales y del medio ambiente es una premisa que debe motivar a la industria a transformar sus procesos y productos, de tal forma que se minimice o elimine su impacto en el ambiente y se satisfagan, al mismo tiempo, las necesidades y expectativas de los consumidores sobre calidad y precio. A continuación, se presenta un estudio sobre el cambio de ácido sulfónico ramificado a lineal en la producción de detergentes sintéticos en barra, en el que se analizan tanto aspectos de calidad del producto como las repercusiones económicas de dicho cambio.

## II. ANTECEDENTES

### A. Del jabón a los detergentes sintéticos

El origen del jabón no ha sido establecido claramente. Se cree que los primeros jabones primitivos fueron hechos hace 2000–3000 años en el valle del Nilo y en otros centros de civilización alrededor del Mediterráneo. Incluso existen teorías que ubican su origen en los antiguos celtas de las islas británicas. Durante una excavación en la ciudad de Babilonia fue encontrado un material parecido al jabón, dentro de cilindros de arcilla datados aproximadamente en el año 2800 a.C. Estos cilindros poseen inscripciones que explican el proceso de hervir grasas con ceniza, lo cual evidencia el conocimiento del proceso de fabricación de jabón; sin embargo, no se refieren al propósito del jabón tal como lo conocemos hoy en día. El papiro Eber, un documento médico egipcio escrito alrededor de 1500 a.C., describe la combinación de grasas animales y aceites vegetales con sales alcalinas para el tratamiento de enfermedades de la piel y para el lavado de la misma (9). No obstante, en ese tiempo la mayoría de gente utilizaba para este fin cortezas de árbol y hierbas.

Durante años, la teoría más aceptada fue el descubrimiento accidental del jabón en la antigua Roma. El término *saponificación*, que designa la formación del jabón a partir grasas y álcalis, proviene del Monte Sapo, una montaña sagrada cercana a la capital romana. En este lugar se sacrificaban e incineraban animales; después la lluvia arrastraba monte abajo las grasas derretidas y la ceniza. Esta mezcla llegaba al río Tíber, donde las lavanderas observaron que la ropa quedaba más limpia al frotarla con ella, debido a que las sustancias alcalinas de las cenizas habían promovido la formación de jabón. Eventualmente, los romanos descubrieron que esta mezcla, que recibió el nombre de *saponis*, era útil también para el aseo personal (9). Esta teoría es probablemente sólo una leyenda, y actualmente se cree que los romanos conocieron el jabón a través de otras culturas mediterráneas. Sin embargo, es un hecho que en Roma el jabón adquirió un auge sin precedentes; el baño se convirtió en un ritual lujoso y la nobleza fue una fuerte consumidora de jabón.

Aunque el hábito de bañarse decayó junto con el Imperio Romano, la manufactura de jabón continuó durante la Edad Media. Durante el siglo VII, la producción de jabón era común en Italia y España. Cuando la industria del jabón llegó poco después a Francia, la mayoría de los jabones se producían a partir de sebo de cabra y ceniza de haya. Tras varios intentos, los franceses desarrollaron un método para la fabricación del jabón utilizando aceite de oliva en lugar de grasas animales. La ciudad de Marsella se hizo particularmente famosa por su industria jabonera. En el siglo XIV los franceses introdujeron sus descubrimientos en Inglaterra, donde esta industria creció rápidamente. En las colonias inglesas en Norte América se importó jabón desde Europa por un período breve, luego del cual se inició su producción. En aquellos días, la manufactura de jabón era esencialmente un arte; el jabón era además extremadamente caro debido a las dificultades en la obtención de materias primas, por lo que su uso era limitado (3).

En el siglo XVIII, varios científicos europeos comenzaron a establecer los principios químicos de la producción de jabón. En 1783, el químico sueco Carl Wilhelm Scheele produjo accidentalmente la reacción de saponificación que se produce en el proceso de fabricación del jabón y aisló a partir de ella una sustancia de sabor dulce que él denominó *ölsüß*, hoy conocida como glicerina. Más tarde, el químico francés Michel-Eugène Chevreul investigó la naturaleza y propiedades químicas de los lípidos, publicando en 1823 su libro *«Estudios químicos sobre las sustancias grasas de origen animal»*. Chevreul fue el primero en establecer el concepto de ácido graso, así como en descubrir diferentes compuestos como el colesterol y los ácidos oleico, butírico, caproico, cáprico y esteárico. Demostró claramente que las grasas son ésteres de ácidos grasos y que los glicéridos, producto de la combinación de glicerol y ácidos grasos, son separados mediante la saponificación (9). Sus estudios sentaron las bases tanto de la química de los lípidos como de la producción de jabón.

Por su parte, también se revolucionarían los métodos de obtención de carbonato de sodio, compuesto que era utilizado como álcali en el proceso de saponificación y que se obtenía originalmente de la ceniza. El químico francés Nicolas Leblanc inventó en 1791 un proceso para convertir la sal común, cloruro de sodio, en carbonato de sodio. El proceso de Leblanc producía grandes cantidades

de esta sal a un bajo costo y con alta pureza. Posteriormente, a mediados del siglo XIX, el químico belga Ernest Solvay ideó un proceso más efectivo para efectuar la misma conversión utilizando amonio. Este método redujo aún más el costo de producción y aumentó el rendimiento y la calidad del carbonato de sodio obtenido (3).

Los nuevos conocimientos científicos, aunados al desarrollo tecnológico y comercial, permitieron que la manufactura de jabón, que había empezado en talleres artesanales y pequeñas fábricas, gradualmente aumentara en escala. Además, los descubrimientos de Louis Pasteur en esa época sobre la importancia de la higiene personal en la reducción de la propagación de enfermedades, ayudaron a que el uso del jabón se difundiera a lo largo de Europa y el resto del mundo (3).

La industria jabonera dio un giro definitivo con los estudios desarrollados por los alemanes durante la Primera Guerra Mundial, sobre la naturaleza y composición química del jabón. Ante la severa escasez de grasas y aceites, los científicos buscaban nuevas formas de producir jabón, no tanto por la importancia de este producto en sí, como por el uso de la glicerina, subproducto de la saponificación, para fines militares. Estas investigaciones, permitieron a los alemanes crear en 1916 un nuevo tipo de jabones a partir de compuestos sintéticos (3). Estos agentes limpiadores son llamados detergentes no jabonosos, detergentes sintéticos (*syndets*) o simplemente detergentes, y para su producción se utilizan diferentes grupos funcionales que reemplazan a los ácidos grasos, siendo los más comunes los ácidos sulfónicos.

Los detergentes presentaron varias ventajas con respecto a los jabones. En soluciones ácidas, los jabones se descomponen produciendo ácidos grasos libres, que forman precipitados con el calcio y el magnesio presentes en el agua dura. Esta característica limitaba algunas aplicaciones del jabón, por ejemplo, en la industria textil. Por el contrario, los ácidos sulfónicos son más ácidos que los carboxílicos y sus sales no forman de nuevo el ácido correspondiente en medios acuosos de alta acidez, solucionando así el problema de la precipitación. Estos

nuevos productos rápidamente ganaron mercado frente a los jabones tradicionales.

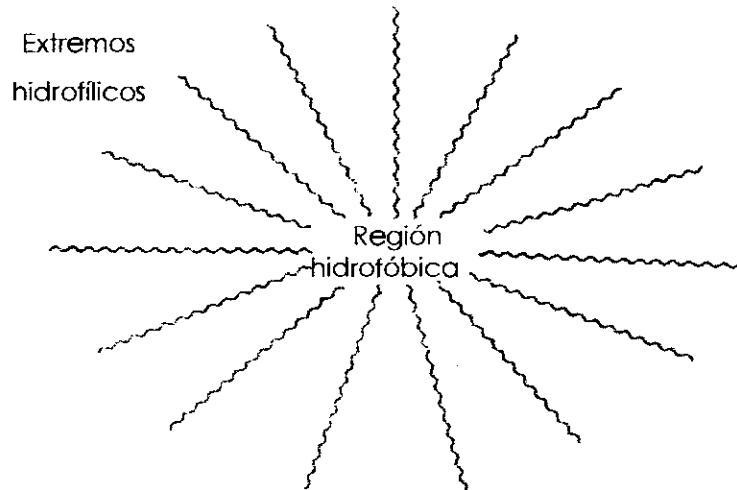
Desde estos primeros logros en la producción de detergentes, el desarrollo de nuevos productos de limpieza ha continuado intensamente. Los jabones propiamente dichos sólo tienen una posición preponderante en el aseo personal; un gran número de diversos detergentes sintéticos adecuados para tareas específicas ha reemplazado a los jabones, notablemente en el lavado de tejidos, utensilios y superficies.

## **B. Funcionamiento de los detergentes**

Los detergentes se utilizan para muchos fines, existiendo una amplia gama de sustratos a ser limpiados (textiles, superficies, utensilios). La suciedad que debe removerse puede ser de muchos tipos, pero la mayoría está formada por partículas como el polvo y por elementos orgánicos, comúnmente grasos.

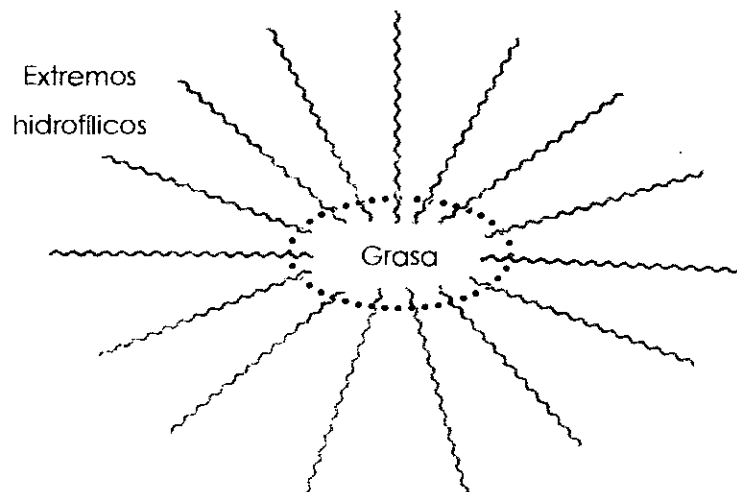
La propiedad principal de todos los jabones y los detergentes no jabonosos, es la reducción de la energía de superficie o tensión superficial de las soluciones que los contienen, por lo que se denominan agentes activos de superficie o surfactantes. Las moléculas de los surfactantes tienen un extremo hidrofílico (que atrae al agua; polar) y uno hidrofóbico (que repele el agua; no polar), que equivale a decir un extremo lipofóbico y uno lipofílico. La acción limpiadora se logra debido a estas diferentes afinidades de los extremos de las moléculas (8).

En el agua, los detergentes forman soluciones opacas de micelas, que son grupos de unos cientos de moléculas con los extremos hidrofílicos en la superficie y los hidrofóbicos agrupados en el interior (figura No.1, página siguiente). Se trata de partículas energéticamente estables, porque los grupos polares exteriores forman puentes de hidrógeno con el agua que los rodea, mientras que los extremos no polares están protegidos en el interior de la micela, e interactúan con otros grupos hidrofóbicos.



**Figura No.1 Micela de detergente (8)**

Cuando las micelas encuentran adherida al sustrato una partícula grasa, normalmente insoluble en agua, los extremos polares se unen a la superficie de la misma. Cuando suficientes moléculas de detergente la cubren, se forma una nueva micela con una gota de grasa en el centro, que se suspende fácilmente en el agua (figura No.2). Cuando en la solución se encuentran dos fases insolubles, con una fase dispersa en la otra en forma de pequeñas gotas, se llama emulsión. La grasa se emulsifica por la acción de la solución de detergente (8).

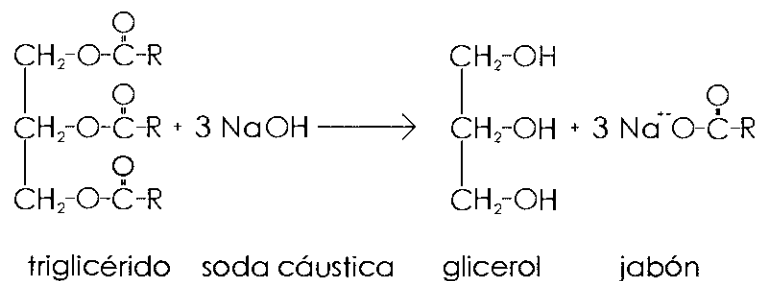


**Figura No.2 Grasa emulsificada por una micela de detergente (8)**

## C. Manufactura de detergentes

1. **Manufactura de jabón.** Dado que el jabón fue el primero de los detergentes, se presentarán brevemente los fundamentos de su producción. Éste se fabrica a partir de grasas y aceites naturales, formados por triglicéridos, o triacilgliceroles, compuestos en los cuales los tres grupos -OH del glicerol (también glicerina, 1,2,3-trihidroxipropano o 1,2,3 propanotriol) se han esterificado aleatoriamente con ácidos grasos. Las dos principales materias primas para la producción de jabón a nivel mundial son el aceite de coco y el sebo animal, obtenido de ganado vacuno y bovino. El aceite de coco es a menudo sustituido por el aceite de semilla de palma africana (*Elaeis guineensis*), cuya composición de ácidos grasos es muy semejante (6).

La saponificación es la reacción con la cual se produce el jabón; en ella las grasas y aceites se hacen reaccionar con soda cáustica para formar las sales de ácidos grasos y liberar simultáneamente glicerol, mediante la siguiente reacción general (6):



(Reacción No.1)

Al disolverse en agua el jabón se separa en iones; el catión de sodio ( $\text{Na}^+$ ) y el anión restante ( $\text{RCOO}^-$ ). El grupo carboxilo del anión constituye entonces el extremo hidrofílico de la molécula y la cadena de carbono restante el extremo hidrofóbico, los cuales forman micelas según se describió anteriormente.

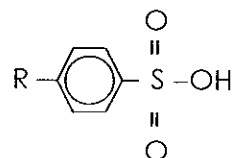
La base de jabón obtenida de los procesos de saponificación que contiene aproximadamente 70% de jabón y 30% de agua. Posteriormente se efectúa el

proceso de terminado, en el cual la base de jabón es secada, mezclada con los ingredientes menores, homogenizada, extrudida, cortada, troquelada y finalmente empacada para su venta.

## 2. Manufactura de detergentes sintéticos en barra

### a. Materias primas principales

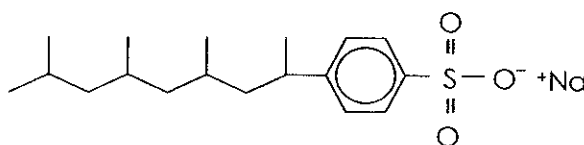
1) **Ácido sulfónico.** El ácido sulfónico es la materia prima con la que se forman las sales de sodio surfactantes de los detergentes sintéticos en barra, sustituyendo a los ácidos carboxílicos empleados en el jabón. Existen diferentes tipos de ácidos sulfónicos, también llamados ácidos alquilbencensulfónicos. La fórmula general de los ácidos sulfónicos es



donde R representa un grupo alquilo, el cual los diferencia. El átomo de azufre está enlazado directamente a un átomo de carbono perteneciente a un anillo bencénico. Existen otros tipos de detergentes que emplean grupos tales como alquilsulfatos, sales cuaternarias de amonio o sales de pirimidina (8).

Originalmente los ácidos sulfónicos se formaban con una cadena lateral de parafina, y eran denominados ácidos kerilbencensulfónicos, por derivarse del keroseno. Posteriormente se encontró que las moléculas altamente ramificadas obtenidas de la polimerización del propileno ( $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3$ ) eran cadenas que al ser ligadas al benceno funcionaban muy bien en los detergentes, convirtiéndose en el grupo alquilo más utilizado para este fin. Los polímeros del propileno puro constan sólo de seis, nueve, doce y quince carbonos; sin embargo, etileno y butileno también pueden estar presentes durante la polimerización, produciendo hidrocarburos con diferentes números de carbonos (9).

El producto de la polimerización del propileno recibe el nombre de tetrámero de propileno (PT) o dodecilbenceno, y su masa molecular promedio se aproxima a 246, la masa teórica para el  $C_{12}H_{25}-C_6H_5$ . El tridecilbenceno, es una mezcla con cantidades considerables de cadenas de doce y de quince carbonos; su masa molecular promedio es 260, que corresponde a la fórmula  $C_{13}H_{27}-C_6H_5$ . También se han sintetizado otros alquilbencenos de menor masa molecular, con un alto porcentaje de cadenas de nueve carbonos; aunque su uso es limitado (9). Los alquilbencenos se hacen reaccionar con ácido sulfúrico, produciéndose los diferentes tipos de ácidos sulfónicos. Por algunos años los alquilbencensulfonatos ramificados (BAS), hechos con cadenas de polipropileno, dominaron completamente el campo de los detergentes (figura No.3).



**Figura No.3 Alquilbencensulfonato típico**

Debido a aspectos ambientales, los ácidos sulfónicos ramificados ya no se utilizan en los países desarrollados, donde han sido reemplazados por una versión mejorada de los alquilbencensulfonatos originales, conocida como alquilbencensulfonatos lineales (LABS o LAS). A diferencia de los ramificados, estos sí son biodegradables. Este tema se desarrollará más adelante (sección D).

Los ácidos sulfónicos lineales están disponibles en un amplio rango de masas moleculares y de largos de cadena. En la industria de detergentes se prefieren los de mediana masa molecular (550) sobre los de alta masa molecular (590), debido a que proveen un similar desempeño utilizando una menor concentración de ingrediente activo. Además de la biodegradabilidad, los ácidos sulfónicos lineales poseen otras propiedades favorables. Dado que su color y olor son menos fuertes que los de los ácidos ramificados, el producto final obtenido presenta mejores características utilizando los mismos porcentajes de colorantes y perfumes. Sin embargo, debido a su estructura molecular no ramificada, las barras detergentes requieren una mayor cantidad de agentes constructores para alcanzar dureza,

directamente relacionada con el rendimiento, característica muy importante para el consumidor. Las especificaciones de los ácidos sulfónicos ramificados y lineales comerciales se presentan en la tabla siguiente.

**Tabla No. 1 Características típicas del ácido sulfónico ramificado y lineal comerciales (4)**

	Ácido sulfónico ramificado	Ácido sulfónico lineal
Apariencia	Líquido parduzco viscoso	Líquido parduzco viscoso
Contenido de agua máximo	1.0 %	1.0 %
Pureza mínima	96.0 %	96.0 %
Concentración de ácido sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) máxima	2.0 %	1.8 %
Concentración de aceite libre máxima	2.0 %	1.8 %
Color máximo (solución al 5%)	Klett 100	Klett 40

**2) Agentes constructores.** Con este nombre se designa a las sustancias que aumentan las propiedades detergentes de los surfactantes. Una de las características más importantes de los agentes constructores es su habilidad para remover la dureza del agua –calcio y magnesio–, la cual interactúa con los surfactantes y disminuye su acción detergente (3). La dureza puede eliminarse por secuestro de iones y formación de quelatos o por intercambio iónico. En este último mecanismo, el sodio contenido en los constructores es remplazado la dureza del agua.

Los agentes constructores, particularmente el carbonato de sodio, aportan la alcalinidad necesaria para neutralizar el ácido sulfónico. Algunos tienen además propiedades emulsificantes, sobre todo aquellos que tienen cargas eléctricas múltiples, con lo que ayudan a mantener suspendida en el licor de lavado la suciedad que ha sido removida (3).

Los agentes constructores son en su mayoría granulares; dependiendo de los volúmenes de producción pueden manejarse en sacos o en sistemas de transporte a granel.

**a) Carbonato de sodio.** El carbonato de sodio anhidro, comúnmente conocido como *soda ash*, posee una alta alcalinidad y generalmente es producido a partir de sal común. Sin embargo, existen depósitos naturales importantes en Norteamérica y África Meridional. Hierro, flúor y compuestos orgánicos en bajas concentraciones pueden encontrarse como contaminantes en estos yacimientos. Aunque se comercializan ciertas formas hidratadas de carbonato de sodio, estas no se utilizan en la industria de detergentes (9).

**b) Arcillas.** Algunos tipos de arcilla, como el caolín y la bentonita, son ampliamente utilizados en la manufactura de detergentes sintéticos en barra. Bajo condiciones favorables, especialmente en aguas blandas con bajo contenido de sólidos disueltos, las suspensiones de arcilla tienen propiedades detergentes sobre suciedad común de las telas. En particular, la bentonita también ayuda a mantener las impurezas removidas en suspensión en el agua de lavado (9).

**c) Fosfatos.** El tripolifosfato de sodio o trifosfato pentasódico (STPP) es el más ampliamente utilizado. Es altamente eficaz secuestrando la dureza del agua y tiene una excelente acción emulsificante, por lo que es un ingrediente importante en los detergentes diseñados para lavado automático. Otros fosfatos de importancia industrial son el fosfato trisódico, ingrediente de limpiadores de superficies, y el pirofosfato tetrapotásico, utilizado en detergentes líquidos (3).

**d) Silicato de sodio.** Bajo este nombre se designa industrialmente a mezclas de dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) y óxido de sodio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ). Existen dos tipos principales de este componente alcalino: los silicatos cristalinos, de fórmula química definida, y los silicatos coloidales, que son mezclas con una determinada razón  $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ . La alcalinidad de los silicatos de sodio está directamente relacionada a su contenido de óxido de sodio, teniendo escaso efecto el dióxido de silicio (9).

Los silicatos cristalinos más comúnmente utilizados son el ortosilicato ( $\text{SiO}_2 \cdot 2\text{Na}_2\text{O}$ ) y el sesquisilicato de sodio ( $2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{Na}_2\text{O}$ ). Su alcalinidad es alta (pH mayor a 12.5 en solución 1% p/p) y se emplean en detergentes para tareas difíciles. Los silicatos coloidales tienen razones  $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$  en masa que varían entre 1.6 y 3.85; siendo los más comunes el silicato con razón 3.2, conocido como silicato neutro, y el de razón 2.0, conocido como silicato alcalino. Ambos son altamente alcalinos; su pH es mayor a 10.0 en soluciones 1% p/p (9).

Las soluciones concentradas de silicato de sodio tienen alta viscosidad, la cual es directamente proporcional a la razón  $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ . Deben manejarse en tanques cerrados, para evitar evaporación de agua, y contar con sistemas de calentamiento, para disminuir la viscosidad.

**e) Sales neutras.** Sales como el cloruro de sodio, el carbonato de calcio, el sulfato de sodio y el sulfato de aluminio constituyen un porcentaje importante en la fórmula de los detergentes sintéticos en barra. Aunque son consideradas sustancias de relleno, su función es importante, pues permiten que las barras alcancen la dureza y densidad deseada. Algunos de ellos, como el carbonato de calcio, confieren propiedades abrasivas al producto (3).

## **b. Ingredientes menores**

**1) Perfumes.** La selección del perfume depende tanto del gusto de los consumidores como de factores técnicos. Puntos importantes a considerar son la imagen deseada o poseída por la marca, las investigaciones de mercado,

durabilidad del perfume y su costo por tonelada de producto final. La concentración de los perfumes en los detergentes es usualmente de 0.5 a 2.0% (9).

Los perfumes constan normalmente de numerosos ingredientes, constituidos por diferentes compuestos químicos obtenidos por extracción o síntesis. Estas mezclas deben ser estables a la alcalinidad del detergente y a la exposición a la luz, así como deben tener una larga duración en color y olor durante su almacenamiento y carecer de efectos alérgicos en los consumidores. Debido a su complejidad, el desarrollo y evaluación de perfumes es llevado a cabo por las empresas que los producen y distribuyen.

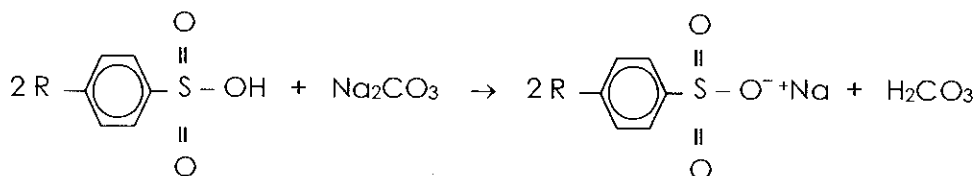
**2) Colorantes y blanqueadores ópticos.** Los colorantes añadidos en los detergentes pueden clasificarse en dos tipos: los pigmentos solubles en agua o en solventes no polares, comúnmente el perfume, y los pigmentos añadidos como suspensiones. Al igual que los perfumes, su estabilidad en las barras detergentes, su tolerancia a la exposición a la luz y la seguridad para el consumidor, son criterios primordiales en la elección de un colorante. Es conocido que algunos colorantes o impurezas contenidas en los mismos pueden tener propiedades carcinógenas. Es común la utilización de dióxido de titanio o hipoclorito de sodio para blanquear la base de detergente y obtener una mejor coloración en el producto final (9).

Los blanqueadores ópticos son compuestos cuya acción se debe a la absorción de energía de longitudes de onda no visibles, como la infrarroja, que luego es emitida en la longitud de onda azul del espectro visible. Su principal aplicación está en los detergentes para lavado de tejidos, pues no sólo mejoran la apariencia del producto sino también el color y la brillantez de las prendas luego de ser lavadas. Los blanqueadores ópticos más utilizados en la actualidad son derivados del naftotriazol-estilbena, conocidos bajo diferentes nombres comerciales (9).

**3) Aditivos orgánicos.** Algunos aditivos no surfactantes mejoran el desempeño de los detergentes y son añadidos en bajos porcentajes. Entre estos se encuentra, por ejemplo, la cocomonooetanolamida, que promueve la formación y estabilidad de la espuma (3).

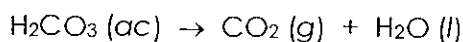
### c. Proceso de producción

1) **Elaboración y mezclado.** El proceso se lleva a cabo en un reactor con aspas o amalgamador. Es aquí donde ocurre la reacción de neutralización entre el ácido sulfónico y el carbonato de sodio que produce las sales surfactantes:



(Reacción No.2)

Se trata de una reacción exotérmica, por lo que además existe formación de dióxido de carbono, debido a la descomposición del ácido carbónico:

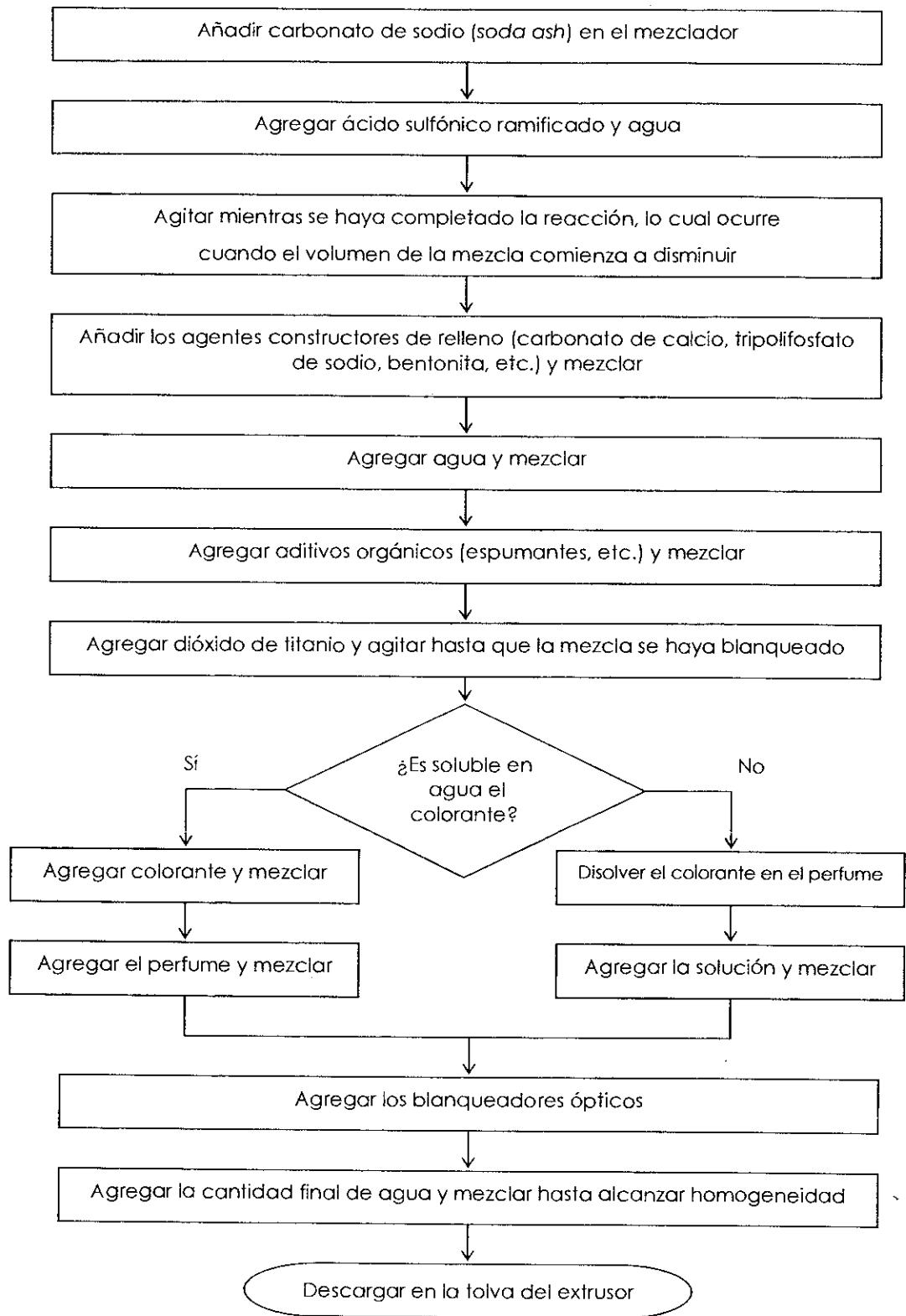


(Reacción No.3)

La liberación de este gas causa que el volumen de la mezcla aumente y disminuya luego progresivamente mientras la reacción se completa. Por lo tanto, la adición de los materiales en el mezclador es gradual, siguiendo el diagrama de flujo general mostrado en la figura No.4 (página siguiente).

Inicialmente se agrega carbonato de sodio, ácido sulfónico y agua; los demás ingredientes se añaden posteriormente para evitar que el volumen máximo alcanzado durante la reacción supere la capacidad del tanque. La mezcla es agitada hasta que la reacción se ha completado. Se efectúa la adición de los agentes constructores contemplados en la fórmula y agua, mezclando nuevamente hasta homogenizar la muestra.

En segundo lugar, se agregan los ingredientes menores, comenzando por los aditivos orgánicos. A continuación, si el color del producto es claro, generalmente se añade dióxido de carbono o hipoclorito de sodio previo a la adición del colorante, con el fin de blanquear la mezcla. La forma de añadir el colorante depende de la solubilidad del mismo. En el caso de colorantes solubles en agua, la



**Figura No.4 Diagrama de bloques del proceso actual de elaboración y mezclado (utilizando ácido sulfónico ramificado)**

adición se realiza directamente en el mezclador; mientras que si son solubles en solvente no polares, se disuelven en el perfume y se añaden en la solución que forman con éste. Por último, se añaden los blanqueadores ópticos y se agita la mezcla hasta lograr una consistencia uniforme y libre de grumos.

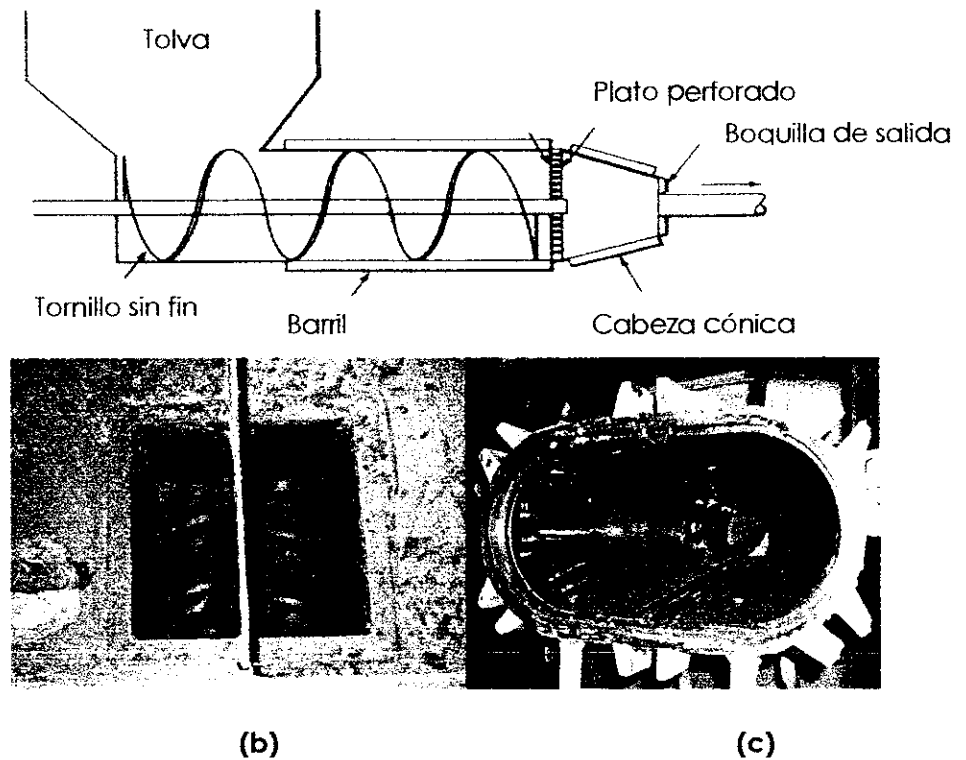
El proceso de elaboración y mezclado suele llevarse a cabo por lotes, pesando y añadiendo los materiales manualmente. En instalaciones que operan a gran escala esta operación suele ser automática; los ingredientes líquidos y sólidos son medidos por masa o volumen y descargados en el tanque de mezclado

**2) Homogenización y extrusión.** Al finalizar el mezclado el detergente es descargado en una tolva, desde donde ingresa a extrusores de tornillo sin fin, que se emplean para homogenizarlo. Estos lo empujan a través de mallas y platos perforados, de donde emerge como una barra continua con la sección transversal requerida para ser cortada en unidades. Este tipo de extrusor suele ser llamado *plodder*.

La calidad del producto es considerablemente afectada por el desempeño del extrusor. La figura No.5 (página siguiente) muestra un extrusor común, con un tornillo sin fin o gusano y un orificio simple. El detergente sintético es alimentado en una tolva y luego empujado a lo largo del barril por el tornillo. El aire es extraído al comprimir el detergente, el cual es forzado como una tuerca en el tornillo, de tal forma que el tornillo sólo puede rotar y el detergente sólo puede moverse longitudinalmente. El detergente es empujado a través del orificio del plato perforado, donde la barra emerge de la boquilla continuamente. Una malla en el frente del plato perforado es frecuentemente ventajosa para asegurar la homogeneidad de las barras. La chaqueta del barril del extrusor suele emplear agua fría como refrigerante, mientras que para el calentamiento del cono se utiliza generalmente agua caliente (9).

Aunque la extrusión podría parecer una operación sencilla, sus resultados son influidos por diferentes factores en formas complejas, que generan varios problemas prácticos. Dejando por un lado el aspecto mecánico, uno de los problemas más frecuentes se relaciona con la presión desarrollada en el barril. Cuando el

detergente es alimentado al tornillo, existe aire entre las piezas, el cual debe ser forzado de regreso mientras el detergente es compactado por el tornillo en el barril. La efectividad en esta tarea depende del desarrollo de la adecuada presión en el extrusor. La presencia de aire en el producto es inusual; se evidencia con la presencia de burbujas.

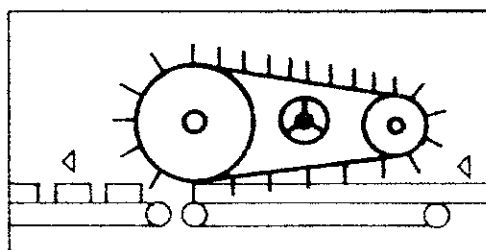


**Figura No.5 (a) Esquema de un extrusor (9)**  
**(b) Vista superior de la tolva de un extrusor de dos colores**  
**(c) Vista interior de la cabeza cónica**

Otro problema importante ocurre cuando el detergente no se une apropiadamente en la cabeza cónica para producir una barra homogénea. En este caso, las barras no son completamente uniformes y suelen agrietarse. Para evitarlo, se requiere que el sistema desarrolle la presión necesaria y que el detergente sea lo suficientemente plástico para que se mezcle fácilmente. Estas dos condiciones son en cierto grado opuestas, puesto que un detergente sintético con alta dureza es capaz de desarrollar mayor presión, pero carece de capacidad

de fusionarse. Por esta razón debe encontrarse un equilibrio entre ambas variables para lograr una extrusión correcta.

**3) Cortado y empaque.** Luego de la extrusión, el siguiente paso consiste en cortar la barra continua de detergente en trozos del largo requerido. Existen diferentes tipos de cortadoras automáticas, siendo la cortadora mostrada en la figura No.6 uno de los tipos más comunes. Una cadena gira mientras cuchillas descenden gradualmente en un ángulo que produce cortes verticales. El largo de las barras puede variarse ajustando las cuchillas en la cortadora.



**Figura No.6 Cortadora de cadena (9)**

El proceso finaliza con el empaque del producto, de mucha importancia en la percepción y decisión de compra del consumidor. Existen muy diferentes presentaciones, siendo las más comunes las barras vendidas en empaques plásticos termoencogibles y las barras en empaque tipo galleta (figura No.7). En el primer caso, el proceso puede ser manual; mientras que en el segundo se utilizan envolvedoras automatizadas.



(a)

(b)

**Figura No.7 Tipos de empaque de detergentes sintéticos en barra**

(a) Termoencogible

(b) Tipo galleta

## D. Consideraciones ambientales sobre la industria de detergentes

En la industria de detergentes, como en cualquier otra, pueden presentarse problemas ambientales como emisiones de gases o de desechos líquidos y sólidos a cuerpos de agua. Sin embargo, existen dos áreas de especial relevancia para la industria de detergentes: la biodegradabilidad y la eutrofización.

**1. Biodegradabilidad.** Es la propiedad de algunos materiales complejos de ser degradados fácil y rápidamente por microorganismos para formar productos finales sencillos. El jabón convencional presenta mínimas dificultades en este sentido. Cuando se desecha agua jabonosa en el alcantarillado, o incluso directamente en un lago o río, no surge ningún problema inmediato. El jabón forma precipitados con la dureza del agua y es fácilmente degradado por microorganismos. Por el contrario, este proceso no ocurre con todos los detergentes sintéticos. En la década de 1950 el problema cobró importancia debido a la aparición de espuma en varios cuerpos de agua en Estados Unidos e Inglaterra, en un momento en el que los detergentes sintéticos comenzaban a desplazar al jabón en el lavado de tejidos (5).

La Asociación de Jabones y Detergentes de Estados Unidos realizó numerosos estudios con el fin de determinar las causas de este problema. La explicación se encuentra en la estructura molecular de los detergentes. En contraste con las cadenas lineales del jabón, los alquilbencensulfonatos ramificados (ABS) derivados del polipropileno poseen cadenas altamente ramificadas. Esta característica hace que sean atacados por microorganismos lentamente y en menor grado, pues el proceso se detiene cuando se encuentra un átomo de carbono terciario –enlazado a cuatro cadenas de carbono y ningún oxígeno. Los compuestos no biodegradables, también llamados refractarios, persisten en el medio durante mucho tiempo, por lo general varios días; mientras que los compuestos biodegradables pueden desaparecer en unos cuantos minutos u horas sin alterar el ecosistema. Los alquilbencensulfonatos pueden ser letales para algunas especies acuáticas en concentraciones tan bajas como 0.025 mg/L. Se ha demostrado que concentraciones de 0.005 mg/L tienen efectos adversos en algunas especies (2).

La biodegradación de los alquilbencensulfonatos lineales ha sido ampliamente estudiada y se han identificado varios mecanismos, tanto de oxidación como de reducción, que reducen estos compuestos hasta dióxido de carbono y agua. En 1970 la industria de detergentes en Europa y Estados Unidos había reemplazado voluntariamente los alquilbencensulfonatos ramificados por lineales. En este momento su precio disminuyó considerablemente y continuaron siendo utilizados en muchas partes del mundo. En Estados Unidos, el costo total de este cambio fue alrededor de US\$ 150.000,000 (5).

**2. Eutrofización.** Es un proceso natural en el que los lagos, lagunas y estanques se sedimentan gradualmente. Cuando existen pocos nutrientes presentes existen relativamente pocas algas y microorganismos presentes; esta condición es llamada oligotrófica. Cuando los afluentes traen nutrientes, plantas, algas y otros microorganismos comienzan a crecer y la condición se convierte en eutrófica. La eutrofización causada por el hombre ocurre cuando cantidades considerables de aguas domésticas, industriales y agrícolas son vertidas en cuerpos de agua relativamente pequeños. La excesiva concentración de nutrientes produce un aumento explosivo en la concentración de algas; el oxígeno del agua se hace escaso; comienza a morir la vida animal y se altera todo el ecosistema. En casos extremos, los cuerpos de agua pasan de condiciones aeróbicas a anaeróbicas, llevando a la muerte del lago (1).

El fósforo es uno de los elementos de mayor impacto en este fenómeno. Se encuentra presente en fertilizantes, desechos orgánicos y en los fosfatos añadidos a los detergentes. Algunos países de Europa del Este y algunos estados de la Unión Americana tienen prohibiciones sobre el uso de fosfatos en las formulaciones de detergentes. Sin embargo, la respuesta de la industria ha sido lenta en comparación con el problema de la biodegradabilidad. En los lugares donde los fosfatos están prohibidos, los agentes constructores no tienen el desempeño, por ejemplo, del tripolifosfato de sodio, el fosfato más comúnmente utilizado (7).

Actualmente continúa la búsqueda de un sustituto adecuado para los fosfatos. Aunque se han desarrollado compuestos tanto o más efectivos que los

agentes constructores tradicionales, estos no son biodegradables; entre ellos se encuentran el carboximetoxisuccinato, el carboximetiltartrato y el nitrilacetato de trisodio. Este último incluso comenzó a ser comercializado en la década de 1960, antes de que algunos estudios sugirieran que tenía propiedades teratogénicas y fuera retirado del mercado (7).

## E. Análisis fisicoquímicos

La sustitución de las materias primas utilizadas en un proceso debe tomar en cuenta aspectos tecnológicos, económicos y las expectativas de los consumidores. Para efectuar un cambio de ácido sulfónico ramificado a lineal en detergentes sintéticos en barra deben conservarse o mejorarse las características y desempeño del producto. Existen tres propiedades fundamentales para definir las características de los detergentes sintéticos en barra: ingrediente activo, humedad y penetrabilidad. A continuación se describen brevemente los procedimientos comúnmente realizados para determinar estos parámetros.

**1. Ingrediente activo.** Los detergentes sintéticos en barra son fabricados con un porcentaje de ingrediente activo alrededor de 25%. El método se basa en la reacción de los surfactantes aniónicos con el azul de metileno para formar una sal soluble en cloroformo. En un sistema de cloroformo, agua y un detergente aniónico, como los alquilbencensulfonatos, el azul de metileno se concentra en la capa de cloroformo. La adición de un surfactante catiónico causa la formación de un complejo con el aniónico, con lo que el azul de metileno se desplaza a la fase acuosa.

El primer paso del análisis consiste en disolverse una muestra de detergente en agua. Los detergentes en barra contienen altas cantidades de agentes de relleno y presentan baja solubilidad, por lo que el ingrediente activo es extraído con alcohol grado reactivo. Luego se evapora el alcohol y se prepara una solución, llevando el agua remanente a un volumen exacto. Se toman alícuotas de esta solución, se les añade azul de metileno y cloroformo y se titulan con cloruro de

bencetonio, que es un surfactante catiónico. El cloroformo forma una fase inferior definida donde inicialmente se concentra el color azul. Este comienza a trasladarse gradualmente durante la titulación; el punto final de la titulación ocurre cuando la fase acuosa es más azul que la inferior.

**2. Humedad.** Este análisis determina la humedad de sólidos por la pérdida de masa que experimentan al ser sometidos durante un tiempo determinado a una temperatura elevada; el método establece el total de compuestos volátiles que se encuentran en la muestra analizada. Para ello se utilizan balanzas de humedad, en las cuales se coloca detergente raspado, entre 5 y 10 gramos. La humedad de un detergente en barra normalmente es cercana al 10%. El tiempo que dura la determinación depende de la balanza en sí; para un tiempo de secado de 10 a 15 minutos suele necesitarse una temperatura alrededor de 200°C.

**3. Penetrabilidad.** La dureza de las barras detergentes se evalúa con un penetrómetro, instrumento en el cual una aguja es aplicada a las muestras bajo condiciones controladas específicas. La penetración es una medida de la dureza del detergente, y se expresa en milímetros de profundidad de penetración vertical de la aguja estándar. El aparato hace que los efectos de la fricción mientras la aguja cae sean despreciables y da resultados con exactitud de  $\pm 0.1$  mm.

### III. JUSTIFICACIÓN

Los detergentes sintéticos constituyen uno de los principales productos de consumo masivo. Desde su surgimiento en el siglo pasado, los detergentes han ganado mercado frente a los jabones tradicionales, reemplazándolos en tareas como el lavado de tejidos, utensilios y superficies. En un mercado bastante competitivo, es importante la búsqueda de mejoras e innovaciones en los productos y procesos de producción, que permitan ofrecer a los consumidores un producto que llene consistentemente sus expectativas a un costo competitivo.

La materia prima que diferencia primordialmente a los detergentes es el ácido sulfónico, el cual reemplaza a los ácidos grasos naturales utilizados en los jabones y forma las sales que confieren propiedades surfactantes a los detergentes. Actualmente se utiliza ácido sulfónico ramificado en la producción de detergentes sintéticos en barra, el cual es de menor costo que el ácido sulfónico lineal. Existen varias diferencias fisicoquímicas entre ambos tipos de ácido, entre las que destaca la biodegradabilidad. Mientras que el ácido sulfónico ramificado no es biodegradable, el lineal sí lo es. Los detergentes sintéticos en barra hechos a partir de ácido sulfónico lineal tendrían la ventaja competitiva de ser un producto no perjudicial al medio ambiente.

Para efectuar exitosamente el cambio a ácido sulfónico lineal, se deben evaluar las fórmulas propuestas y determinar luego de pruebas de producción cuál es la más adecuada, de manera que se conserven o mejoren las especificaciones del producto obtenido con la fórmula vigente (propiedades físicas y estéticas, desempeño, rendimiento), a la vez de tener un mínimo impacto en los costos y en el precio, asegurando que el nuevo producto sea plenamente aceptado por los consumidores.

## IV. OBJETIVOS

### A. General

1. Mejorar los detergentes sintéticos en barra, a nivel industrial, mediante el cambio de ácido sulfónico ramificado a lineal, obteniendo un impacto mínimo en los costos de producción con dicho cambio.

### B. Específicos

1. Realizar pruebas de producción con tres fórmulas utilizando ácido sulfónico lineal.
2. Analizar y evaluar las propiedades físicas y estéticas, el desempeño y el costo del producto obtenido con las distintas fórmulas propuestas.
3. Determinar la fórmula más adecuada para efectuar el cambio, con un mínimo impacto en las especificaciones y el costo del producto.

## V. PROBLEMA A RESOLVER

El ácido sulfónico ramificado es la materia prima utilizada en la producción de detergentes sintéticos en barra. Dado que las sales surfactantes obtenidas -alquilbencensulfonatos de sodio- no son biodegradables, estos productos constituyen una fuente de contaminación ambiental.

## VI. METODOLOGÍA

- **Envío de fórmulas propuestas por Investigación y Desarrollo**

Las fórmulas propuestas por Investigación y Desarrollo reemplazando ácido sulfónico ramificado por lineal ya han sido probadas en pequeños lotes y se utilizarán para efectuar las pruebas a nivel industrial.

- **Obtención de materias primas para las pruebas**

Las fórmulas detallan los materiales que deben utilizarse en las pruebas y las proporciones de estos.

- **Pruebas de producción**

Realizar pruebas de producción en una línea de producción y analizar las propiedades fisicoquímicas del producto obtenido con cada una de ellas.

- **Análisis del impacto en los costos**

De acuerdo con las diferentes proporciones de materiales utilizados en las fórmulas, se analizará el costo de producción de cada una de ellas.

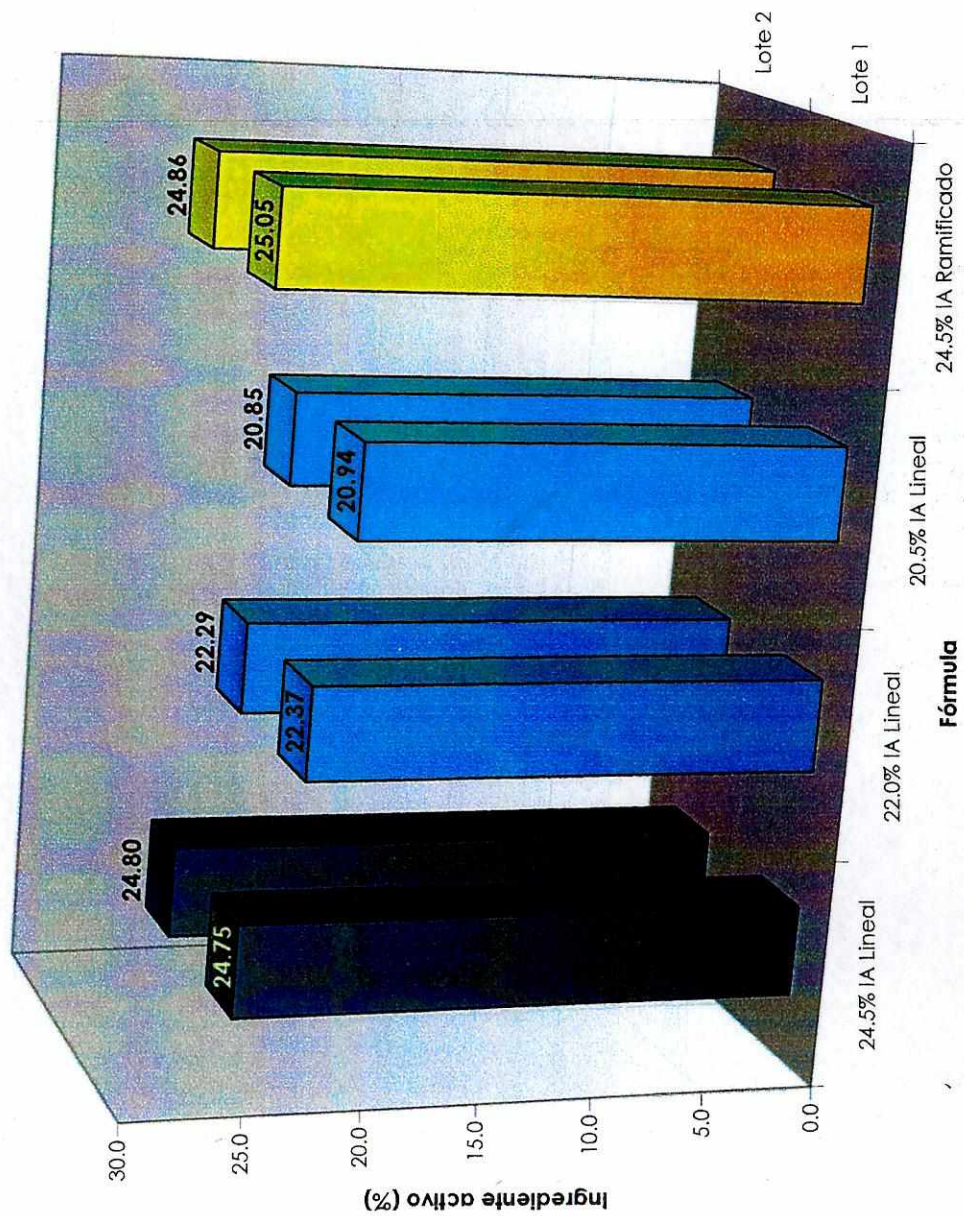
- **Prueba de los consumidores**

Se efectuarán pruebas con consumidores para establecer la aceptación del producto obtenido con cada fórmula, evaluando apariencia y desempeño del producto de las pruebas efectuadas con ácido sulfónico lineal contra el producto actual fabricado con ácido sulfónico ramificado.

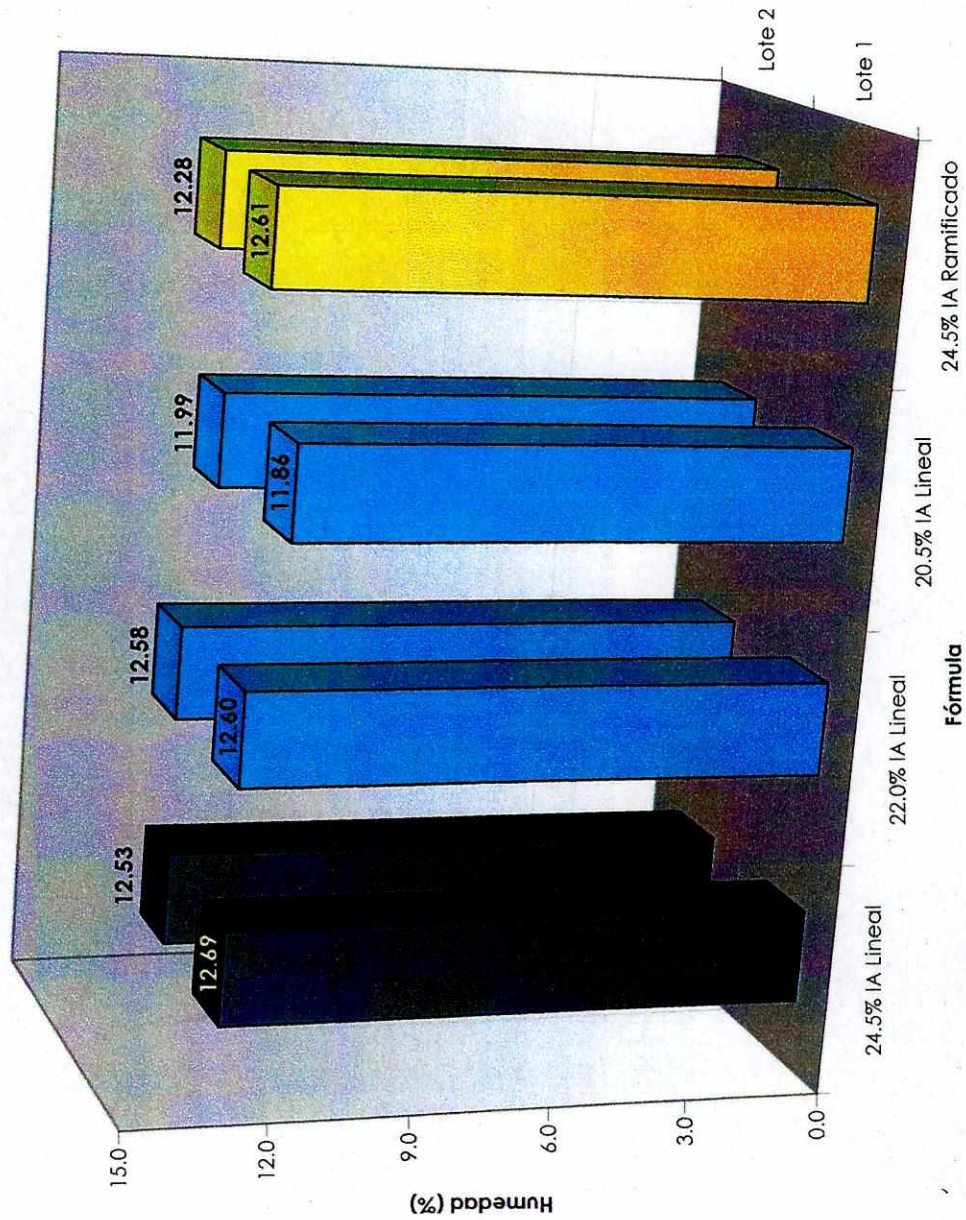
## VII. RESULTADOS

### A. Análisis fisicoquímicos

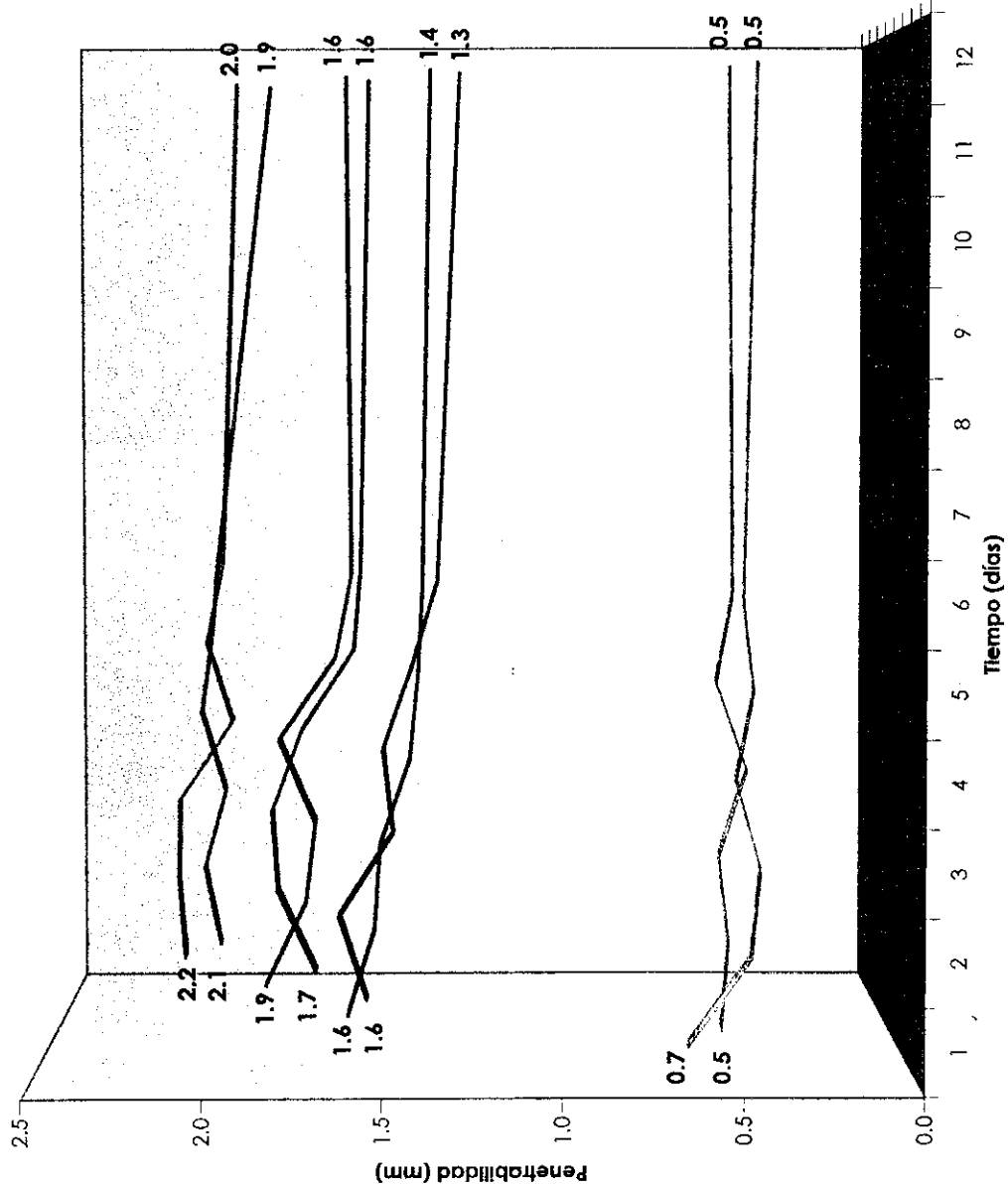
Gráfica No. 1. Contenido de ingrediente activo del producto terminado



Gráfica No. 2. Humedad del producto terminado



Gráfica No. 3. Penetrabilidad del producto terminado contra el tiempo



**Fórmulas**

- 20.5% IA Lineal
- 22.0% IA Lineal
- 24.5% IA Lineal
- 24.5% IA Ramificada

**Tabla No. 2 Análisis de varianzas del contenido de ingrediente activo del producto terminado**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre fórmulas	559.02	7	79.86	<b>267.224</b>	$8.0 \times 10^{-93}$	2.060
Dentro de los grupos	54.99	184	0.30			
Total	614.01	191				

**Tabla No. 3 Prueba de hipótesis para el contenido de ingrediente activo del producto terminado**

Hipótesis nula ( $H_0$ )	Hipótesis alternativa ( $H_1$ )	Resultado
$\mu_i = \mu \quad \forall i$ i: fórmulas	$\mu_i \neq \mu$ para algún i i: fórmulas	Se rechaza la hipótesis nula

**Tabla No. 4 Análisis de varianzas de la humedad del producto terminado**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre fórmulas	16.61	7	2.37	<b>1.354</b>	0.227	2.060
Dentro de los grupos	322.41	184	1.75			
Total	339.03	191				

Tabla No. 5 Prueba de hipótesis para la humedad del producto terminado

Hipótesis nula ( $H_0$ )	Hipótesis alternativa ( $H_1$ )	Resultado
$\mu_i = \mu \quad \forall i$ i: fórmulas	$\mu_i \neq \mu$ para algún i i: fórmulas	Se acepta la hipótesis nula

Tabla No. 6 Análisis de varianzas de la penetrabilidad del producto terminado

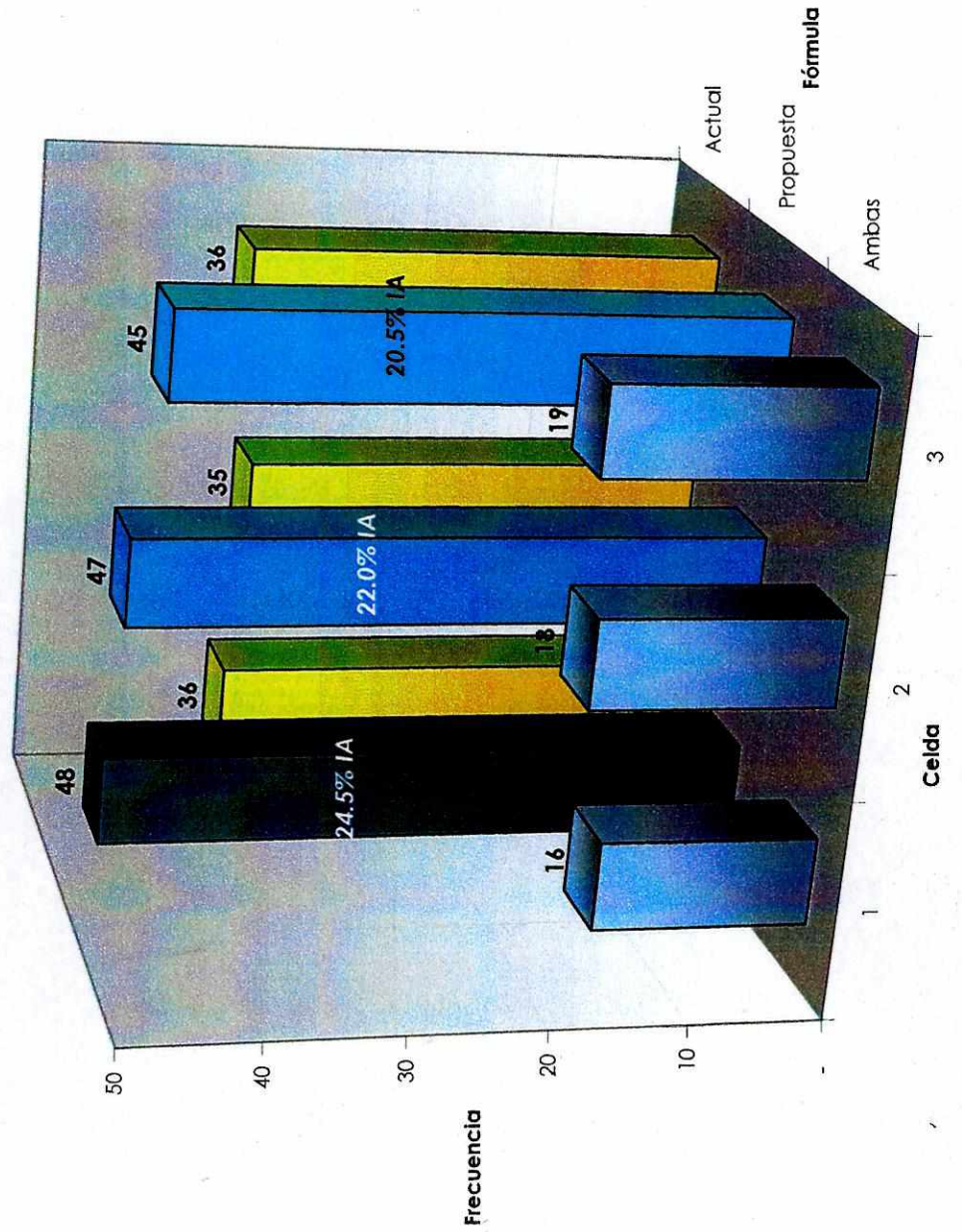
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Fórmulas	443.81	7	63.402	<b>1729.990</b>	0.000	2.017
Días	5.32	6	0.887	<b>24.213</b>	$2.8 \times 10^{-27}$	2.106
Interacción	4.41	42	0.105	<b>2.868</b>	$5.5 \times 10^{-9}$	1.394
Dentro del grupo	47.20	1288	0.037			
Total	500.75	1343				

Tabla No. 7 Prueba de hipótesis para la penetrabilidad del producto terminado

Hipótesis nula ( $H_0$ )	Hipótesis alternativa ( $H_1$ )	Resultado
$\mu_{ij} = \mu \quad \forall i, j$ i: fórmulas j: días	$\mu_{ij} \neq \mu$ para algún i, j i: fórmulas j: días	Se rechaza la hipótesis nula

### B. Prueba de los consumidores

Gráfica No. 4. Preferencia global del producto



**Tabla No. 8 Prueba Chi cuadrado ( $\chi^2$ ) para preferencia global del producto**

Factor comparado	$\chi^2$	Probabilidad	Valor crítico para $\chi^2$
Celdas	0.383	<b>0.984</b>	9.488
Fórmulas	38.880	<b><math>7.4 \times 10^{-8}</math></b>	9.488

**Tabla No. 9 Prueba de hipótesis para la preferencia global del producto**

	Hipótesis nula ( $H_0$ )	Hipótesis alternativa ( $H_1$ )	Resultado
Celdas	$\mu_{ij} = \mu_j \forall i$ i: celdas j: fórmulas	$\mu_{ij} \neq \mu_j$ para algún i i: celdas j: fórmulas	Se acepta la hipótesis nula
Fórmulas	$\mu_{ij} = \mu_j \forall i$ i: fórmulas j: celdas	$\mu_{ij} \neq \mu_j$ para algún i i: fórmulas j: celdas	Se rechaza la hipótesis nula

### C. Análisis de costos

Tabla No. 10 Aumento anual proyectado en el costo del producto con las fórmulas propuestas

Fórmula	Costo de la fórmula (Q/kg)	Aumento en el costo de la fórmula (Q/kg)	Aumento anual en el costo de producto	
			(Q)	(%)
24.5% IA Lineal	3.3385	0.4468	5,853,080.00	15.45%
22.0% IA Lineal	3.1321	0.2404	3,149,449.60	8.31%
20.5% IA Lineal	3.0128	0.1211	1,586,881.60	4.19%
24.5% IA Ramificado	2.8917			

## VIII. DISCUSIÓN

Para efectuar el cambio de ácido sulfónico ramificado a lineal en detergentes sintéticos en barra se consideraron tres aspectos principales: las propiedades fisicoquímicas clave del producto, la aceptación de éste por parte de los consumidores y la minimización del impacto en su costo. El cambio será efectuado con la fórmula más adecuada, absorbiendo el aumento en costo que esto implique. Luego de efectuar las pruebas en la línea de producción con las fórmulas propuestas y la fórmula actual –para fines de comparación–, se realizaron análisis fisicoquímicos de tres características claves del producto terminado –contenido de ingrediente activo, humedad y penetrabilidad–, se efectuó una prueba de los consumidores para medir su preferencia por el producto obtenido con cada fórmula y se determinó el aumento anual en el costo del producto en que se incurriría con cada una de las fórmulas.

Como primer punto, considérense los análisis fisicoquímicos del producto. Las especificaciones del producto actual para las características analizadas son  $24.5 \pm 1.0\%$  de contenido ingrediente activo,  $12.0 \pm 2.0\%$  de humedad y  $0.6 \pm 0.4\%$  de penetrabilidad. En cuanto al ingrediente activo, cambios de ácido sulfónico ramificado a lineal en la industria de detergentes se han efectuado con una disminución de esta materia prima en la fórmula sin afectar el desempeño del producto final. La reducción del ingrediente activo hace que el costo económico de efectuar el cambio sea menor, por ser el ácido sulfónico lineal más costoso que el ramificado. Por lo tanto, las fórmulas propuestas están definidas por su diferencia en la cantidad de ácido sulfónico y su contenido debe variar entre las fórmulas analizadas. Para corroborar esta afirmación, se realizó un análisis de varianzas de un factor a los resultados obtenidos, estableciendo como hipótesis nula que las medias del contenido de ingrediente activo de cada lote indicaban la media de una misma población normalmente distribuida. La correspondiente hipótesis alternativa enunciaba que, al menos, alguna de las medias muestrales no era la medición de una misma media poblacional. Con un nivel de confianza del 95% –empleado en todas las pruebas estadísticas posteriores–, el valor del estadístico Z

obtenido en la prueba fue mayor al valor crítico permitido para aceptar la hipótesis nula, como se observa en la tabla No. 2 de la página 30. De esta forma, se confirma que efectivamente es diferente el porcentaje de ingrediente activo de cada fórmula. Al observar los valores de esta variable, puede inferirse que existen tres distintas poblaciones en el conjunto de datos: la primera, formada por la fórmula actual y la propuesta con 24.5% de ácido sulfónico lineal, y las otras dos poblaciones correspondientes a las fórmulas de 22.0% y 20.5% de ácido sulfónico lineal.

De forma análoga, se plantearon dos hipótesis relativas a la humedad del producto terminado para probarlas mediante análisis de varianzas de un factor. La hipótesis nula planteaba que las medias muestrales de la humedad de cada lote eran mediciones de la misma media poblacional; la hipótesis alternativa, que al menos una de dichas medias era significativamente distinta al resto de ellas. En este caso, el valor del estadístico Z fue menor al valor crítico, debiéndose aceptar como verdadera la hipótesis nula. Los resultados se encuentran en la tabla No. 4 de la página 30. Por lo tanto, es válido afirmar las fórmulas propuestas se encuentran dentro de la especificación actual de humedad de  $12.0 \pm 2.0\%$ .

La penetrabilidad del producto es la característica clave más afectada con el cambio propuesto. El rendimiento de las barras detergentes depende fuertemente de su dureza, la cual a su vez está relacionada con el tipo de ácido sulfónico utilizado. La estructura molecular ramificada de la cadena de carbonos del ácido, característica indeseable desde el punto de vista ambiental por limitar su biodegradabilidad, ayuda a que el producto actual tenga dureza. Para compensar este hecho, las fórmulas con ácido sulfónico lineal incluyen un agente constructor adicional para aumentar la dureza del producto final. Debido a que ésta es una característica que aumenta con el tiempo, la penetrabilidad del producto se analizó diariamente durante seis días y se realizó una última observación a los doce de haber producido el lote. Con estos resultados se llevó a cabo un análisis de varianzas de dos factores, con el objetivo de medir la diferencia de esta variable entre fórmulas y entre observaciones en el tiempo. La hipótesis nula para esta prueba supone que la penetrabilidad de todas las fórmulas es la misma y permanece constante durante el tiempo; la hipótesis alternativa predice

que la penetrabilidad de las muestras analizadas varía con alguno de estos dos factores.

Por tratarse de un análisis de dos factores, se tienen tres valores para el estadístico Z: el primero de ellos se refiere a la diferencia de penetrabilidad entre fórmulas; el segundo, a la variación de esta característica con el tiempo; y el tercero, a la interacción de ambos factores. La hipótesis nula fue rechazada por existir diferencias significativas en estos aspectos. Los resultados de este análisis estadístico pueden observarse en la tabla No. 6 de la página 31. Respecto a la variación de penetrabilidad entre fórmulas, el valor del estadístico Z es considerablemente mayor al valor crítico, indicando que la dureza promedio de cada fórmula pertenece a una población diferente. El segundo estadístico Z evidencia que la penetrabilidad varía también respecto al tiempo. Finalmente el tercer estadístico Z muestra que existe interacción entre ambos factores, es decir, no todas las fórmulas tienen el mismo comportamiento con el tiempo. Los datos muestran que la penetrabilidad es inversamente proporcional al contenido de ingrediente activo; la fórmula de 24.5% es la que se encuentra más cerca de la penetrabilidad del producto actual –aún fuera de la especificación actual–, mientras que la de 20.5% es la más lejana. La evolución de esta característica se hace más lenta con el tiempo; al comparar las diferencias entre días de una misma fórmula respecto la desviación estándar poblacional, puede considerarse que la penetrabilidad ya es estable para la última observación. Por lo tanto, se trata de un período de endurecimiento relativamente corto; puede asumirse que el producto ha alcanzado su penetrabilidad final cuando llega hasta el consumidor.

Habiendo evaluado las características fisicoquímicas puede afirmarse que las fórmulas propuestas difieren no sólo en contenido de ingrediente activo, sino también en penetrabilidad. El siguiente paso consiste en establecer si los consumidores perciben diferencias en las características claves generales del producto –eficiencia de limpieza, fragancia, consistencia y rendimiento– y cuál es su preferencia entre la fórmula actual y las propuestas. Para este fin se trabajó con tres celdas de comparación, en donde se confrontaron separadamente las fórmulas propuestas contra la actual. Cada celda estuvo integrada por cien consumidores actuales del producto, los cuales respondieron a cinco preguntas

cerradas después de utilizar las dos fórmulas asignadas; las primeras cuatro preguntas examinaban la preferencia sobre una característica en particular y la última sobre la preferencia global del producto. Las tres posibilidades de respuesta eran que el consumidor considerara mejor la fórmula actual, que seleccionara la fórmula propuesta o que no encontrara diferencia entre ambas. El análisis estadístico utilizado para determinar la significatividad de las diferencias entre las proporciones encontradas fue la prueba Chi cuadrado ( $\chi^2$ ), aplicada para evaluar las diferencias entre las celdas y entre las fórmulas preferidas. Para el análisis de las celdas, la hipótesis nula establece que las tres fórmulas propuestas tienen la misma preferencia frente a la fórmula actual en su respectiva celda. La hipótesis alternativa sostiene que alguna de las fórmulas tiene una preferencia diferente en la celda en la que es evaluada respecto a las otras celdas.

Al efectuar las pruebas Chi cuadrado de la diferencia entre celdas con un nivel de confianza del 95%, los valores  $\chi^2$  obtenidos son todos menores al valor crítico, no permitiendo rechazar la hipótesis nula para ninguna de las características ni para la preferencia global, según se muestra en la tabla No. 8 de la página 33 y la tabla No. 58 de la página 87. Consecuentemente, puede inferirse que el consumidor percibe de igual forma el producto de las tres fórmulas propuestas frente al producto actual. A pesar de las diferencias fisicoquímicas encontradas, al utilizar el producto el consumidor no nota diferencias entre las fórmulas con ácido sulfónico lineal.

A continuación, se compararon las proporciones obtenidas para los consumidores que prefieren la fórmula propuesta, la fórmula actual y los que las consideran iguales. Para esta prueba, la hipótesis nula establece que el mismo número de personas prefiere la fórmula actual, la propuesta o no encuentra diferencia entre ambas; la hipótesis alternativa contempla la posibilidad de que el porcentaje de consumidores que prefiere la fórmula propuesta sea diferente al de las personas que prefieren la fórmula actual o al de las personas que no encuentran diferencia entre estas.

Los resultados de las pruebas Chi cuadrado según preferencia por fórmula, presentados en las últimas tablas citadas, muestran que los consumidores no

encuentran diferencia entre las fórmulas propuestas y la actual en cuanto a la eficiencia de limpieza (relacionada con el contenido de ingrediente activo) ni al rendimiento (relacionado con la dureza), pues los valores  $\chi^2$  de estas características son menores al crítico. Por el contrario, los valores restantes de  $\chi^2$  demuestran que sí existen diferencias significativas en la preferencia de los consumidores por la fragancia y por la consistencia de las fórmulas propuestas. Finalmente, esto provoca que la preferencia global se incline significativamente por el producto con la nueva fórmula; aproximadamente uno de cada dos consumidores prefiere el producto final obtenido a partir de las nuevas fórmulas con ácido sulfónico lineal.

De la prueba a los consumidores puede deducirse que cualquiera de las fórmulas puede elegirse para efectuar el cambio de ácido sulfónico a lineal, con plena confianza en que el nuevo producto no sólo cumple sino que supera la calidad percibida por cliente. Para poder optar por una de las fórmulas, analícese por último los costos de cada una de las fórmulas.

La variación principal en el costo del producto se debe al mayor precio del ácido sulfónico lineal, el cual es un 20% más caro que el ácido sulfónico ramificado. Además, en las nuevas fórmulas es necesario añadir un agente constructor más para alcanzar un nivel de dureza comparable al del producto actual. Las tres fórmulas propuestas tienen un nivel decreciente de ácido sulfónico, ya que una reducción en el porcentaje de ingrediente activo implica una disminución en el costo total de la fórmula.

De acuerdo con los porcentajes establecidos para cada fórmula propuesta, la de mayor costo es la que conserva el mismo porcentaje de ingrediente activo, seguido por la fórmula de 22.0% y finalmente la fórmula de 20.5%, la cual aún tiene un costo superior a la fórmula actual. De esta forma, es obvio que esta última es la fórmula que tiene un menor impacto anual de efectuarse el cambio; el cual es cinco veces menor al impacto en el costo anual de la fórmula propuesta con mayor ingrediente activo y dos veces y media menor que el impacto que tendría la fórmula de 22.0%. Los costos de cada fórmula y su impacto anual pueden apreciarse en la tabla No. 10 de la página 34.

En síntesis, el cambio de ácido sulfónico ramificado a lineal en la manufactura de detergentes sintéticos en barra debe efectuarse con la fórmula de 20.5% de ingrediente activo, pues al mismo tiempo que minimiza el aumento en el costo del producto -4.19%- , representa una mejora en la calidad del producto percibida por el consumidor de igual magnitud que la que se lograría con cualquiera de las otras dos fórmulas propuestas.

## IX. CONCLUSIONES

1. Los análisis fisicoquímicos efectuados a los detergentes sintéticos en barra muestran que las fórmulas propuestas para el cambio de ácido sulfónico ramificado a lineal mantienen la humedad de la fórmula actual; sin embargo, su penetrabilidad es mayor, inversamente proporcional a su contenido de ingrediente activo.
2. Los consumidores no perciben diferencias en alguna de las características clave del producto obtenido con las diferentes fórmulas propuestas para efectuar el cambio; ni prefieren alguna de ellas particularmente.
3. La fórmula actual y las fórmulas propuestas tienen igual rendimiento y eficiencia de limpieza para los consumidores; sin embargo, estos sí advierten una mejor fragancia y mejor consistencia en las barras detergentes elaboradas con ácido sulfónico lineal, razón por la cual su preferencia global se inclina por estas últimas en comparación con el producto actual.
4. El costo de todas las fórmulas propuestas para hacer el cambio es superior al costo de la fórmula actual, siendo la fórmula con 20.5% de ingrediente activo la que menor impacto anual tendría el costo del producto.
5. El cambio de ácido sulfónico ramificado a lineal en la manufactura de detergentes sintéticos en barra debe realizarse utilizando la fórmula con 20.5% de ingrediente activo, dado que ofrece a los consumidores las mismas características que las otras dos fórmulas propuestas y es la fórmula con que se causará el menor aumento en el costo del producto.

## X. RECOMENDACIONES

1. Redefinir las especificaciones estándar para el contenido de ingrediente activo a  $20.5 \pm 1.0\%$  y para la penetrabilidad del producto a  $2.1 \pm 0.2$  mm, para fines de medición y control del proceso de producción.
2. Efectuar estudios de productividad en la línea de producción, en los procesos de almacenamiento, en las materias primas y material de empaque, con el fin de optimizar recursos y tener ahorros que permitan reducir el impacto económico del cambio en formulación a ácido sulfónico lineal.

## XI. BIBLIOGRAFÍA

1. Alexander, M. 1999. *Biodegradation and Bioremediation*. 2ª ed. Academic Press, Nueva York. 453 págs.
2. Bacci, E. 1994. *Ecotoxicology of Organic Compounds*. Lewis Publishers, Nueva York. 165 págs.
3. Kirk-Othmer. 1983. *Encyclopedia of Chemical Technology*. 3ª ed. John Wiley & Sons, Nueva York. 22 Vol.
4. Kyung Gi Oil Chemical Company Ltd. *Chemical Materials*.  
<http://www.kgoc.co.kr/home/trade/chemical/chemical.htm>
5. Manahan, S. 1994. *Fundamentals of Environmental Chemistry*. 2ª ed. Lewis Publishers, Nueva York. 1005 págs.
6. Morrison, R. y R. Boyd. 1971. *Organic Chemistry*. 2ª. ed. Allyn and Bacon Inc., Boston. 1204 págs.
7. Shen, T. 1995. *Industrial Pollution Prevention*. Springer-Verlag, Heidelberg. 371 págs.
8. Wade, L. 1993. *Química orgánica*. 2ª. ed. Prentice-Hall Hispanoamericana, México D.F. 1312 págs.
9. Woolat, E. 1985. *The Manufacture of Soaps, other Detergents and Glycerin*. Ellis Horwood Limited, Londres. 473 págs.

**Tabla No. 12 Determinación del tamaño mínimo de las muestras a analizar por lote de producto terminado \***

	<b>Ingrediente activo (%)</b>	<b>Humedad (%)</b>	<b>Penetrabilidad inicial (mm)</b>
Desviación estándar poblacional ( $\sigma$ )	0.55	1.20	0.2
Error tolerado ( $E$ )	0.25	0.50	0.1
Tamaño de la muestra requerida ( $n$ )	18.6	<b>22.1</b>	15.4

\* Calculada con la fórmula

$$n = \left( \frac{E}{Z\sigma} \right)^2$$

donde  $n$  = Número de elementos de la muestra

$E$  = Error tolerado

$Z$  = Valor de la distribución normal para una probabilidad de 95%  
[Nivel de confianza  $(1 - \alpha) = 95\%$ : 1.960]

$\sigma$  = Desviación estándar poblacional

**Tabla No. 13 Análisis de ingrediente activo, fórmula 24.5% de ingrediente activo (ácido sulfónico lineal)**

Muestra	Lote 1	Lote 2
	Ingrediente activo (%)	Ingrediente activo (%)
1	24.09	25.78
2	25.56	24.07
3	25.11	24.60
4	24.22	25.29
5	25.46	23.50
6	24.59	24.44
7	24.20	24.82
8	25.39	24.84
9	23.63	24.80
10	25.48	25.11
11	23.89	25.11
12	24.48	24.60
13	24.86	24.60
14	25.29	24.68
15	23.97	25.87
16	24.30	24.23
17	25.75	25.47
18	24.90	24.42
19	24.62	24.82
20	25.77	25.27
21	24.80	24.80
22	23.67	25.05
23	24.90	23.87
24	24.56	25.13
Media	24.73	24.80
Desviación estándar	0.65	0.56
Intervalo de confianza (95%)	[24.47, 24.99]	[24.57, 25.36]

**Tabla No. 14 Análisis de ingrediente activo, fórmula 22.0% de ingrediente activo (ácido sulfónico lineal)**

Muestra	Lote 1	Lote 2
	Ingrediente activo (%)	Ingrediente activo (%)
1	22.09	21.80
2	23.09	21.98
3	22.93	23.13
4	22.85	22.00
5	22.11	21.82
6	22.52	22.08
7	22.32	22.70
8	22.25	21.28
9	22.08	22.41
10	21.62	21.91
11	21.92	23.27
12	23.04	22.40
13	22.89	23.13
14	21.74	21.80
15	22.14	22.03
16	22.13	21.56
17	22.77	22.55
18	22.43	22.12
19	22.56	22.67
20	22.40	22.30
21	22.29	21.93
22	22.19	22.34
23	22.68	23.54
24	21.77	22.14
Media	22.37	22.29
Desviación estándar	0.42	0.56
Intervalo de confianza (95%)	[22.20, 22.79]	[22.06, 22.85]

**Tabla No. 15 Análisis de ingrediente activo, fórmula 20.5% de ingrediente activo (ácido sulfónico lineal)**

Muestra	Lote 1	Lote 2
	Ingrediente activo (%)	Ingrediente activo (%)
1	21.92	20.94
2	20.21	20.94
3	20.74	21.33
4	21.43	20.42
5	19.64	20.32
6	20.58	20.43
7	20.96	20.83
8	20.98	20.97
9	20.94	21.97
10	21.25	19.82
11	21.25	21.62
12	20.74	21.22
13	20.74	21.29
14	20.82	20.23
15	22.02	20.69
16	20.37	20.32
17	21.61	20.86
18	20.56	20.25
19	20.96	21.05
20	21.41	20.88
21	20.94	20.66
22	21.19	20.58
23	20.01	21.19
24	21.27	21.65
Media	20.94	20.85
Desviación estándar	0.56	0.52
Intervalo de confianza (95%)	[20.71, 21.50]	[20.65, 21.37]

**Tabla No. 16 Análisis de ingrediente activo, fórmula 24.5% de ingrediente activo (ácido sulfónico ramificado)**

Muestra	Lote 1	Lote 2
	Ingrediente activo (%)	Ingrediente activo (%)
1	25.52	24.86
2	24.93	24.60
3	23.27	24.67
4	26.30	25.11
5	24.80	25.61
6	24.95	24.71
7	25.12	24.17
8	24.95	24.88
9	25.79	24.90
10	24.88	25.31
11	25.31	24.81
12	24.20	23.77
13	25.43	25.09
14	24.92	24.79
15	24.12	24.79
16	25.23	24.09
17	25.14	24.79
18	25.79	25.32
19	24.86	25.77
20	25.34	24.50
21	25.30	24.65
22	24.61	25.18
23	25.21	24.39
24	25.27	25.87
Media	25.05	24.86
Desviación estándar	0.61	0.50
Intervalo de confianza (95%)	[24.81, 25.66]	[24.66, 25.36]

**Tabla No. 17 Análisis de humedad, fórmula 24.5% de ingrediente activo (ácido sulfónico lineal)**

Muestra	Lote 1	Lote 2
	Humedad (%)	Humedad (%)
1	11.65	13.62
2	11.23	10.04
3	12.79	12.34
4	13.14	12.82
5	13.70	11.35
6	11.92	12.61
7	12.97	14.48
8	12.66	12.21
9	11.97	12.85
10	12.63	13.11
11	13.77	11.41
12	13.07	12.13
13	12.04	12.86
14	14.19	12.68
15	9.32	10.97
16	13.32	13.09
17	11.84	12.39
18	14.03	12.40
19	13.81	13.20
20	12.25	14.26
21	12.02	11.95
22	14.45	12.10
23	11.23	11.38
24	14.49	14.55
Media	12.69	12.53
Desviación estándar	1.22	1.08
Intervalo de confianza (95%)	[12.20, 13.91]	[12.10, 13.62]

**Tabla No. 18 Análisis de humedad, fórmula 22.0% de ingrediente activo (ácido sulfónico lineal)**

Muestra	Lote 1	Lote 2
	Humedad (%)	Humedad (%)
1	12.65	11.98
2	11.48	14.16
3	13.30	13.80
4	14.54	13.63
5	14.45	12.01
6	15.09	12.92
7	10.39	12.48
8	12.73	12.33
9	14.32	11.95
10	11.71	10.95
11	12.18	11.61
12	10.98	14.05
13	10.79	13.71
14	11.84	11.22
15	12.08	12.10
16	10.47	12.07
17	12.33	13.46
18	12.53	12.73
19	13.17	13.00
20	12.57	12.64
21	12.62	12.41
22	12.57	12.20
23	14.62	13.27
24	12.91	11.29
Media	12.60	12.58
Desviación estándar	1.32	0.91
Intervalo de confianza (95%)	[12.07, 13.91]	[12.22, 13.49]

**Tabla No. 19 Análisis de humedad, fórmula 20.5% de ingrediente activo (ácido sulfónico lineal)**

Muestra	Lote 1	Lote 2
	Humedad (%)	Humedad (%)
1	11.69	11.91
2	11.19	12.75
3	11.74	11.46
4	13.63	12.81
5	8.67	9.84
6	10.12	9.33
7	16.57	11.46
8	11.25	15.00
9	13.76	11.97
10	10.60	12.24
11	9.49	15.53
12	11.27	8.99
13	13.69	14.32
14	10.91	12.57
15	11.22	10.97
16	12.86	11.23
17	12.09	10.19
18	11.35	10.77
19	11.65	13.33
20	11.20	12.05
21	14.06	11.46
22	12.91	11.83
23	13.30	14.18
24	9.47	11.44
Media	11.86	11.99
Desviación estándar	1.75	1.66
Intervalo de confianza (95%)	[11.16, 13.62]	[11.32, 13.65]

**Tabla No. 20 Análisis de humedad, fórmula 24.5% de ingrediente activo (ácido sulfónico ramificado)**

Muestra	Lote 1	Lote 2
	Humedad (%)	Humedad (%)
1	13.19	10.01
2	13.39	11.68
3	14.15	13.08
4	12.28	13.42
5	11.31	10.44
6	11.78	14.18
7	14.89	11.66
8	12.29	11.46
9	14.39	12.44
10	13.13	13.26
11	11.16	12.09
12	12.68	12.35
13	14.01	11.92
14	11.43	13.10
15	12.40	11.55
16	12.85	12.60
17	10.85	14.56
18	13.18	10.26
19	10.93	11.03
20	12.85	13.55
21	10.49	13.06
22	12.26	10.60
23	13.78	13.18
24	13.02	13.16
Media	12.61	12.28
Desviación estándar	1.19	1.24
Intervalo de confianza (95%)	[12.13, 13.80]	[11.78, 13.52]

**Tabla No. 21 Análisis de penetrabilidad, fórmula 24.5% de ingrediente activo, día 1 (ácido sulfónico lineal)**

Muestra	Lote 1	Lote 2
	Penetrabilidad Día 1 (%)	Penetrabilidad Día 1 (%)
1	1.5	1.6
2	1.9	1.7
3	1.8	1.5
4	1.8	1.7
5	1.5	1.2
6	1.7	1.1
7	1.6	1.5
8	1.6	1.9
9	1.5	1.6
10	1.3	1.6
11	1.5	2.0
12	1.9	1.2
13	1.8	1.9
14	1.4	1.7
15	1.5	1.4
16	1.5	1.4
17	1.8	1.3
18	1.6	1.4
19	1.7	1.8
20	1.6	1.6
21	1.6	1.5
22	1.5	1.5
23	1.7	1.9
24	1.4	1.5
Media	1.6	1.6
Desviación estándar	0.2	0.2
Intervalo de confianza (95%)	[1.5, 1.8]	[1.5, 1.8]

**Tabla No. 22 Análisis de penetrabilidad, fórmula 24.5% de ingrediente activo, día 2 (ácido sulfónico lineal)**

Muestra	Lote 1	Lote 2
	Penetrabilidad Día 2 (%)	Penetrabilidad Día 2 (%)
1	1.7	1.9
2	1.5	1.7
3	1.5	1.9
4	1.5	1.8
5	1.4	1.8
6	2.0	1.5
7	1.6	1.8
8	1.5	1.5
9	1.7	1.8
10	1.6	1.7
11	1.4	1.7
12	1.4	1.7
13	1.4	1.7
14	1.4	1.4
15	1.5	1.4
16	1.5	1.7
17	1.7	1.8
18	1.2	1.7
19	1.8	1.5
20	1.3	1.6
21	1.5	1.5
22	1.6	1.5
23	1.4	1.5
24	1.7	1.4
Media	1.5	1.6
Desviación estándar	0.2	0.2
Intervalo de confianza (95%)	[1.5, 1.7]	[1.6, 1.8]

Tabla No. 23 Análisis de penetrabilidad, fórmula 24.5% de ingrediente activo, día 3 (ácido sulfónico lineal)

Muestra	Lote 1	Lote 2
	Penetrabilidad Día 3 (%)	Penetrabilidad Día 3 (%)
1	1.6	1.4
2	1.4	1.6
3	1.8	1.4
4	1.6	1.2
5	1.4	1.7
6	1.4	1.6
7	1.4	1.7
8	1.3	1.4
9	1.7	1.5
10	1.6	1.6
11	1.5	1.5
12	1.7	1.5
13	1.5	1.6
14	1.6	1.3
15	1.9	1.6
16	1.1	1.4
17	1.6	1.7
18	1.4	1.6
19	1.6	1.2
20	1.8	1.6
21	1.6	1.3
22	1.4	1.6
23	1.2	1.3
24	1.3	1.3
Media	1.5	1.5
Desviación estándar	0.2	0.2
Intervalo de confianza (95%)	[1.4, 1.7]	[1.4, 1.6]

**Tabla No. 24** Análisis de penetrabilidad, fórmula 24.5% de ingrediente activo, día 4  
(ácido sulfónico lineal)

Muestra	Lote 1	Lote 2
	Penetrabilidad Día 4 (%)	Penetrabilidad Día 4 (%)
1	1.7	1.3
2	1.4	1.3
3	1.2	1.3
4	1.3	1.6
5	1.5	1.7
6	1.3	1.6
7	1.5	1.5
8	1.4	1.9
9	1.2	1.7
10	1.3	1.5
11	1.5	1.5
12	1.4	1.3
13	1.5	1.6
14	1.4	1.6
15	1.3	1.5
16	1.5	1.5
17	1.5	1.4
18	1.5	1.5
19	1.3	1.5
20	1.6	1.4
21	1.5	1.8
22	1.6	1.6
23	1.5	1.3
24	1.4	1.4
Media	1.4	1.5
Desviación estándar	0.1	0.2
Intervalo de confianza (95%)	[1.4, 1.6]	[1.4, 1.7]

**Tabla No. 25 Análisis de penetrabilidad, fórmula 24.5% de ingrediente activo, día 5 (ácido sulfónico lineal)**

Muestra	Lote 1	Lote 2
	Penetrabilidad Día 5 (%)	Penetrabilidad Día 5 (%)
1	1.3	1.1
2	1.5	1.6
3	1.1	1.3
4	1.5	1.2
5	1.2	1.6
6	1.3	1.6
7	1.2	1.6
8	1.3	1.6
9	1.3	1.4
10	1.3	1.3
11	1.7	1.4
12	1.6	1.1
13	1.6	1.2
14	1.4	1.1
15	1.4	1.5
16	1.5	1.7
17	1.2	1.7
18	1.4	1.7
19	1.3	1.4
20	1.6	1.2
21	1.4	1.5
22	1.5	1.3
23	1.8	1.9
24	1.3	1.2
Media	1.4	1.4
Desviación estándar	0.2	0.2
Intervalo de confianza (95%)	[1.3, 1.6]	[1.3, 1.7]

**Tabla No. 26** Análisis de penetrabilidad, fórmula 24.5% de ingrediente activo, día 6  
(ácido sulfónico lineal)

Muestra	Lote 1	Lote 2
	Penetrabilidad Día 6 (%)	Penetrabilidad Día 6 (%)
1	1.3	1.4
2	1.4	1.5
3	1.3	1.0
4	1.4	1.3
5	1.7	1.6
6	1.3	1.2
7	1.4	1.7
8	1.4	1.3
9	1.7	1.5
10	1.6	1.2
11	1.5	1.9
12	1.4	1.4
13	1.7	1.0
14	1.4	1.5
15	1.2	0.9
16	1.3	1.3
17	1.4	1.5
18	1.2	1.2
19	1.2	1.1
20	1.2	1.7
21	1.1	1.0
22	1.5	1.2
23	1.6	1.5
24	1.2	1.5
Media	1.4	1.4
Desviación estándar	0.2	0.3
Intervalo de confianza (95%)	[1.3, 1.6]	[1.2, 1.6]

**Tabla No. 27 Análisis de penetrabilidad, fórmula 24.5% de ingrediente activo, día 12  
(ácido sulfónico lineal)**

Muestra	Lote 1	Lote 2
	Penetrabilidad Día 12 (%)	Penetrabilidad Día 12 (%)
1	1.6	1.0
2	1.6	1.3
3	1.2	1.6
4	1.3	1.1
5	1.5	1.3
6	1.5	1.4
7	1.4	1.2
8	1.5	1.5
9	1.4	1.0
10	1.0	1.2
11	1.4	1.4
12	1.3	1.2
13	1.3	1.3
14	1.2	1.4
15	1.4	1.3
16	1.5	1.5
17	1.0	1.3
18	1.3	1.3
19	1.2	1.2
20	1.6	1.3
21	1.2	1.1
22	1.6	1.3
23	1.3	1.2
24	1.5	1.4
Media	1.4	1.3
Desviación estándar	0.2	0.1
Intervalo de confianza (95%)	[1.3, 1.5]	[1.2, 1.4]

**Tabla No. 28** Análisis de penetrabilidad, fórmula 22.0% de ingrediente activo, día 1  
(ácido sulfónico lineal)

Muestra	Lote 1	Lote 2
	Penetrabilidad Día 1 (%)	Penetrabilidad Día 1 (%)
1	1.8	1.8
2	1.6	1.5
3	2.0	1.7
4	2.0	2.0
5	1.7	1.6
6	1.9	1.7
7	2.1	1.4
8	1.9	1.6
9	2.1	1.7
10	2.0	2.0
11	2.1	2.1
12	1.7	1.8
13	2.2	2.0
14	1.8	1.9
15	1.9	1.6
16	1.8	1.8
17	1.6	1.4
18	2.1	2.0
19	1.7	1.4
20	1.9	1.6
21	2.0	1.4
22	1.8	1.6
23	1.5	1.9
24	1.8	2.1
Media	1.9	1.7
Desviación estándar	0.2	0.2
Intervalo de confianza (95%)	[1.8, 2.1]	[1.6, 2.0]

Tabla No. 29 Análisis de penetrabilidad, fórmula 22.0% de ingrediente activo, día 2  
(ácido sulfónico lineal)

Muestra	Lote 1	Lote 2
	Penetrabilidad Día 2 (%)	Penetrabilidad Día 2 (%)
1	1.9	1.9
2	1.8	1.6
3	1.8	2.0
4	1.7	1.8
5	1.6	1.7
6	1.5	2.2
7	1.6	1.4
8	1.8	2.0
9	1.7	1.8
10	1.6	1.9
11	1.9	2.0
12	1.6	2.1
13	1.9	1.6
14	1.6	2.2
15	2.0	1.9
16	1.5	1.7
17	1.6	1.9
18	1.7	1.7
19	2.0	1.7
20	2.1	1.6
21	1.9	2.2
22	1.8	1.8
23	1.7	1.7
24	1.8	2.0
Media	1.8	1.9
Desviación estándar	0.2	0.2
Intervalo de confianza (95%)	[1.7, 1.9]	[1.8, 2.1]

**Tabla No. 30 Análisis de penetrabilidad, fórmula 22.0% de ingrediente activo, día 3  
(ácido sulfónico lineal)**

Muestra	Lote 1	Lote 2
	Penetrabilidad Día 3 (%)	Penetrabilidad Día 3 (%)
1	1.7	1.6
2	1.3	1.6
3	1.9	1.8
4	1.9	1.7
5	1.7	2.2
6	1.9	2.0
7	1.8	2.0
8	1.6	1.8
9	1.7	1.8
10	1.5	1.4
11	1.7	1.8
12	1.9	1.6
13	1.8	1.6
14	2.1	2.1
15	1.6	2.1
16	1.7	2.1
17	1.8	1.9
18	1.3	2.0
19	1.7	1.7
20	1.8	2.2
21	1.7	2.0
22	1.6	1.7
23	2.0	1.8
24	1.7	2.3
Media	1.7	1.9
Desviación estándar	0.2	0.2
Intervalo de confianza (95%)	[1.6, 1.9]	[1.8, 2.1]

**Tabla No. 31 Análisis de penetrabilidad, fórmula 22.0% de ingrediente activo, día 4 (ácido sulfónico lineal)**

Muestra	Lote 1	Lote 2
	Penetrabilidad Día 4 (%)	Penetrabilidad Día 4 (%)
1	2.0	1.7
2	1.3	1.4
3	1.5	2.0
4	1.8	2.1
5	2.0	1.8
6	2.0	1.7
7	1.8	2.0
8	1.8	1.9
9	1.8	1.7
10	2.0	1.6
11	2.6	1.8
12	1.5	1.8
13	1.7	2.0
14	2.1	1.9
15	1.9	1.8
16	2.0	1.7
17	1.8	1.6
18	1.5	1.6
19	1.8	1.8
20	1.7	1.7
21	1.7	1.5
22	1.7	1.7
23	2.0	2.0
24	2.0	1.8
Media	1.8	1.8
Desviación estándar	0.3	0.2
Intervalo de confianza (95%)	[1.7, 2.1]	[1.7, 1.9]

**Tabla No. 32** Análisis de penetrabilidad, fórmula 22.0% de ingrediente activo, día 5 (ácido sulfónico lineal)

Muestra	Lote 1	Lote 2
	Penetrabilidad Día 5 (%)	Penetrabilidad Día 5 (%)
1	1.7	1.8
2	1.6	1.2
3	1.6	1.8
4	1.6	1.6
5	1.7	1.3
6	1.8	1.8
7	2.0	1.4
8	1.4	1.8
9	1.9	1.4
10	1.5	1.9
11	1.9	1.7
12	1.7	1.8
13	1.5	1.5
14	1.8	1.7
15	1.8	1.9
16	1.9	1.3
17	1.8	1.5
18	1.6	1.9
19	1.2	1.6
20	1.7	1.7
21	1.8	1.5
22	1.3	1.5
23	1.6	1.4
24	1.5	1.7
Media	1.7	1.6
Desviación estándar	0.2	0.2
Intervalo de confianza (95%)	[1.6, 1.9]	[1.5, 1.8]

**Tabla No. 33 Análisis de penetrabilidad, fórmula 22.0% de ingrediente activo, día 6 (ácido sulfónico lineal)**

Muestra	Lote 1	Lote 2
	Penetrabilidad Día 6 (%)	Penetrabilidad Día 6 (%)
1	1.9	1.3
2	1.7	1.6
3	1.6	1.5
4	1.7	1.5
5	1.4	1.6
6	1.3	1.6
7	2.0	1.5
8	1.4	1.6
9	1.7	1.6
10	1.7	1.8
11	1.7	1.7
12	1.6	1.6
13	1.6	1.7
14	1.3	1.9
15	1.5	1.5
16	1.4	1.5
17	1.7	1.9
18	1.7	1.3
19	1.6	1.8
20	1.6	1.5
21	1.5	1.6
22	1.6	1.8
23	2.0	1.3
24	1.5	1.5
Media	1.6	1.6
Desviación estándar	0.2	0.2
Intervalo de confianza (95%)	[1.5, 1.8]	[1.5, 1.8]

**Tabla No. 34 Análisis de penetrabilidad, fórmula 22.0% de ingrediente activo, día 12  
(ácido sulfónico lineal)**

Muestra	Lote 1	Lote 2
	Penetrabilidad Día 12 (%)	Penetrabilidad Día 12 (%)
1	1.6	1.2
2	1.7	1.5
3	1.5	1.5
4	2.0	1.7
5	1.7	1.9
6	1.5	1.6
7	1.6	1.9
8	1.8	1.2
9	1.8	1.6
10	1.6	1.1
11	1.7	1.8
12	1.5	1.6
13	1.6	1.4
14	2.0	1.6
15	1.7	1.4
16	1.6	1.5
17	1.5	1.7
18	1.5	1.5
19	1.2	1.5
20	1.7	1.4
21	1.7	1.9
22	1.3	1.9
23	1.8	1.4
24	1.4	1.7
Media	1.6	1.6
Desviación estándar	0.2	0.2
Intervalo de confianza (95%)	[1.5, 1.8]	[1.5, 1.8]

**Tabla No. 35 Análisis de penetrabilidad, fórmula 20.5% de ingrediente activo, día 1  
(ácido sulfónico lineal)**

Muestra	Lote 1	Lote 2
	Penetrabilidad Día 1 (%)	Penetrabilidad Día 1 (%)
1	2.2	2.3
2	2.3	2.0
3	2.0	1.9
4	2.4	1.7
5	2.2	2.0
6	2.1	2.0
7	2.1	2.1
8	2.0	2.2
9	2.2	1.9
10	2.3	2.2
11	1.7	2.2
12	2.1	2.1
13	2.3	1.7
14	1.9	1.9
15	2.4	2.2
16	2.1	2.0
17	2.1	2.4
18	2.0	2.2
19	2.3	1.9
20	2.2	1.8
21	2.0	2.3
22	2.4	2.3
23	1.9	1.9
24	2.4	2.1
Media	2.2	2.1
Desviación estándar	0.2	0.2
Intervalo de confianza (95%)	[2.1, 2.3]	[2.0, 2.2]

**Tabla No. 36 Análisis de penetrabilidad, fórmula 20.5% de ingrediente activo, día 2 (ácido sulfónico lineal)**

Muestra	Lote 1	Lote 2
	Penetrabilidad Día 2(%)	Penetrabilidad Día 2 (%)
1	1.9	2.1
2	2.3	2.2
3	2.2	2.3
4	2.1	2.4
5	2.3	1.8
6	2.4	2.0
7	2.1	2.4
8	2.5	2.2
9	2.0	2.3
10	2.4	2.4
11	2.1	2.1
12	2.2	1.9
13	2.4	2.0
14	1.9	2.2
15	1.8	2.0
16	2.3	2.1
17	1.9	1.7
18	2.5	2.1
19	2.4	1.7
20	1.8	2.2
21	2.1	2.1
22	2.2	2.1
23	2.1	2.0
24	2.2	2.2
Media	2.2	2.1
Desviación estándar	0.2	0.2
Intervalo de confianza (95%)	[2.1, 2.4]	[2.0, 2.3]

**Tabla No. 37 Análisis de penetrabilidad, fórmula 20.5% de ingrediente activo, día 3  
(ácido sulfónico lineal)**

Muestra	Lote 1	Lote 2
	Penetrabilidad Día 3 (%)	Penetrabilidad Día 3 (%)
1	2.0	2.0
2	2.1	1.7
3	2.3	2.2
4	2.1	2.0
5	2.5	1.7
6	2.2	2.4
7	2.1	1.8
8	2.2	2.0
9	2.2	2.5
10	2.2	1.7
11	2.0	2.3
12	2.5	2.1
13	2.2	1.8
14	2.0	1.9
15	1.9	1.8
16	2.5	1.8
17	2.4	2.4
18	2.4	1.9
19	2.0	2.4
20	2.0	2.0
21	2.1	2.3
22	2.0	2.4
23	1.7	1.9
24	2.4	1.9
Media	2.2	2.0
Desviación estándar	0.2	0.3
Intervalo de confianza (95%)	[2.1, 2.4]	[1.9, 2.3]

**Tabla No. 38 Análisis de penetrabilidad, fórmula 20.5% de ingrediente activo, día 4 (ácido sulfónico lineal)**

Muestra	Lote 1	Lote 2
	Penetrabilidad Día 4 (%)	Penetrabilidad Día 4 (%)
1	2.2	2.0
2	2.0	2.1
3	2.6	2.2
4	2.1	2.2
5	1.9	2.1
6	2.0	2.3
7	1.9	2.5
8	1.4	2.3
9	1.9	1.8
10	2.1	1.6
11	2.1	2.3
12	1.7	2.2
13	2.1	2.3
14	1.9	2.0
15	1.9	2.1
16	2.4	1.9
17	2.0	2.0
18	1.9	2.1
19	2.2	2.2
20	1.7	2.1
21	2.1	1.9
22	2.3	2.2
23	1.7	2.2
24	1.9	2.1
Media	2.0	2.1
Desviación estándar	0.3	0.2
Intervalo de confianza (95%)	[1.9, 2.3]	[2.0, 2.3]

**Tabla No. 39** Análisis de penetrabilidad, fórmula 20.5% de ingrediente activo, día 5  
(ácido sulfónico lineal)

Muestra	Lote 1	Lote 2
	Penetrabilidad Día 5 (%)	Penetrabilidad Día 5 (%)
1	2.2	2.0
2	2.1	2.3
3	2.1	2.0
4	1.9	2.0
5	1.8	2.1
6	2.3	2.1
7	2.3	2.1
8	2.1	2.0
9	2.0	2.0
10	2.1	2.0
11	1.9	2.2
12	2.1	2.2
13	2.2	2.1
14	2.2	2.1
15	2.5	2.0
16	2.0	2.0
17	2.3	1.8
18	1.9	2.4
19	2.1	2.3
20	1.9	2.3
21	2.0	1.6
22	1.9	2.0
23	2.1	2.2
24	1.9	2.1
Media	2.1	2.1
Desviación estándar	0.2	0.2
Intervalo de confianza (95%)	[2.0, 2.2]	[2.0, 2.2]

**Tabla No. 40 Análisis de penetrabilidad, fórmula 20.5% de ingrediente activo, día 6 (ácido sulfónico lineal)**

Muestra	Lote 1	Lote 2
	Penetrabilidad Día 6 (%)	Penetrabilidad Día 6 (%)
1	2.1	2.0
2	2.0	1.9
3	2.2	2.0
4	1.9	2.1
5	2.1	2.3
6	2.1	2.2
7	1.8	2.1
8	1.9	1.4
9	1.9	1.9
10	2.2	2.1
11	1.9	2.1
12	2.1	2.3
13	1.8	2.2
14	2.4	1.9
15	1.9	2.4
16	1.8	2.0
17	1.9	1.9
18	2.4	2.1
19	2.1	1.9
20	2.2	2.2
21	1.6	2.0
22	2.0	2.2
23	2.3	2.1
24	2.1	2.1
Media	2.0	2.1
Desviación estándar	0.2	0.2
Intervalo de confianza (95%)	[1.9, 2.2]	[2.0, 2.3]

**Tabla No. 41 Análisis de penetrabilidad, fórmula 20.5% de ingrediente activo, día 12  
(ácido sulfónico lineal)**

Muestra	Lote 1	Lote 2
	Penetrabilidad Día 12 (%)	Penetrabilidad Día 12 (%)
1	1.8	2.1
2	1.9	2.2
3	1.9	2.0
4	2.2	1.7
5	2.2	2.0
6	2.0	1.6
7	1.9	1.8
8	1.8	1.7
9	2.0	2.0
10	1.9	1.6
11	1.6	1.8
12	1.8	1.9
13	2.2	2.3
14	1.9	1.8
15	1.8	1.9
16	2.1	2.0
17	2.4	1.7
18	2.3	2.1
19	1.9	1.6
20	1.7	1.9
21	2.0	1.8
22	2.5	2.2
23	1.8	2.0
24	1.9	1.6
Media	2.0	1.9
Desviación estándar	0.2	0.2
Intervalo de confianza (95%)	[1.9, 2.2]	[1.8, 2.1]

**Tabla No. 42 Análisis de penetrabilidad, fórmula 24.5% de ingrediente activo, día 1  
(ácido sulfónico ramificado)**

Muestra	Lote 1	Lote 2
	Penetrabilidad Día 1 (%)	Penetrabilidad Día 1 (%)
1	0.8	0.7
2	0.5	0.8
3	0.7	0.5
4	0.4	0.4
5	0.5	0.4
6	0.5	0.7
7	0.7	0.4
8	0.7	0.4
9	0.6	0.5
10	0.6	0.6
11	0.7	0.6
12	0.9	0.6
13	0.7	0.4
14	0.9	0.4
15	0.8	0.7
16	0.7	0.5
17	0.8	0.4
18	0.9	0.7
19	0.5	0.5
20	0.7	0.6
21	0.5	0.7
22	0.6	0.4
23	0.4	0.7
24	0.6	0.5
Media	0.7	0.5
Desviación estándar	0.2	0.1
Intervalo de confianza (95%)	[0.6, 0.8]	[0.5, 0.7]

**Tabla No. 43 Análisis de penetrabilidad, fórmula 24.5% de ingrediente activo, día 2  
(ácido sulfónico ramificado)**

Muestra	Lote 1	Lote 2
	Penetrabilidad Día 2 (%)	Penetrabilidad Día 2 (%)
1	0.4	0.5
2	0.5	0.3
3	0.7	0.8
4	0.3	0.5
5	0.6	0.8
6	0.4	0.4
7	0.6	0.4
8	0.3	0.9
9	0.7	0.4
10	0.3	0.3
11	0.5	0.7
12	0.7	0.7
13	0.4	0.3
14	0.5	0.4
15	0.5	0.5
16	0.7	0.3
17	0.3	0.7
18	0.6	0.7
19	0.4	0.3
20	0.4	0.7
21	0.5	0.4
22	0.3	0.9
23	0.3	0.2
24	0.5	0.5
Media	0.5	0.5
Desviación estándar	0.1	0.2
Intervalo de confianza (95%)	[0.4, 0.6]	[0.4, 0.7]

**Tabla No. 44 Análisis de penetrabilidad, fórmula 24.5% de ingrediente activo, día 3  
(ácido sulfónico ramificado)**

Muestra	Lote 1	Lote 2
	Penetrabilidad Día 3 (%)	Penetrabilidad Día 3 (%)
1	0.5	0.7
2	0.8	0.4
3	0.3	0.3
4	0.2	0.7
5	0.3	0.4
6	0.3	0.6
7	0.2	0.7
8	0.5	0.6
9	0.5	0.6
10	0.5	0.5
11	0.5	0.7
12	0.6	0.4
13	0.5	0.7
14	0.8	0.6
15	0.7	0.5
16	0.3	0.5
17	0.5	0.5
18	0.3	0.8
19	0.6	0.3
20	0.3	0.5
21	0.2	0.4
22	0.6	0.5
23	0.4	0.6
24	0.4	0.8
Media	0.5	0.6
Desviación estándar	0.2	0.1
Intervalo de confianza (95%)	[0.4, 0.6]	[0.5, 0.7]

**Tabla No. 45** Análisis de penetrabilidad, fórmula 24.5% de ingrediente activo, día 4  
(ácido sulfónico ramificado)

Muestra	Lote 1	Lote 2
	Penetrabilidad Día 4 (%)	Penetrabilidad Día 4 (%)
1	0.6	0.4
2	0.4	0.3
3	0.3	0.4
4	0.5	0.5
5	0.8	0.3
6	0.4	0.6
7	0.5	0.3
8	0.4	0.7
9	0.6	0.4
10	0.8	0.3
11	0.8	0.2
12	0.4	0.6
13	0.7	0.5
14	0.7	0.4
15	0.6	0.2
16	0.4	0.6
17	0.5	0.7
18	0.6	0.5
19	0.2	0.6
20	0.4	0.3
21	0.4	0.6
22	0.4	0.8
23	0.3	0.4
24	0.8	0.8
Media	0.5	0.5
Desviación estándar	0.2	0.2
Intervalo de confianza (95%)	[0.5, 0.7]	[0.4, 0.7]

**Tabla No. 46 Análisis de penetrabilidad, fórmula 24.5% de ingrediente activo, día 5 (ácido sulfónico ramificado)**

Muestra	Lote 1	Lote 2
	Penetrabilidad Día 5 (%)	Penetrabilidad Día 5 (%)
1	0.5	0.6
2	0.5	0.5
3	0.2	0.3
4	0.3	0.7
5	0.7	0.6
6	0.5	0.5
7	0.7	0.7
8	0.4	0.6
9	0.6	0.2
10	0.3	0.4
11	0.6	0.6
12	0.2	0.5
13	0.5	0.4
14	0.8	0.5
15	0.2	0.4
16	0.4	0.6
17	0.1	0.6
18	0.3	0.7
19	0.7	0.5
20	0.5	0.8
21	0.4	0.7
22	0.7	0.8
23	0.5	0.5
24	0.7	0.8
Media	0.5	0.6
Desviación estándar	0.2	0.2
Intervalo de confianza (95%)	[0.4, 0.7]	[0.5, 0.7]

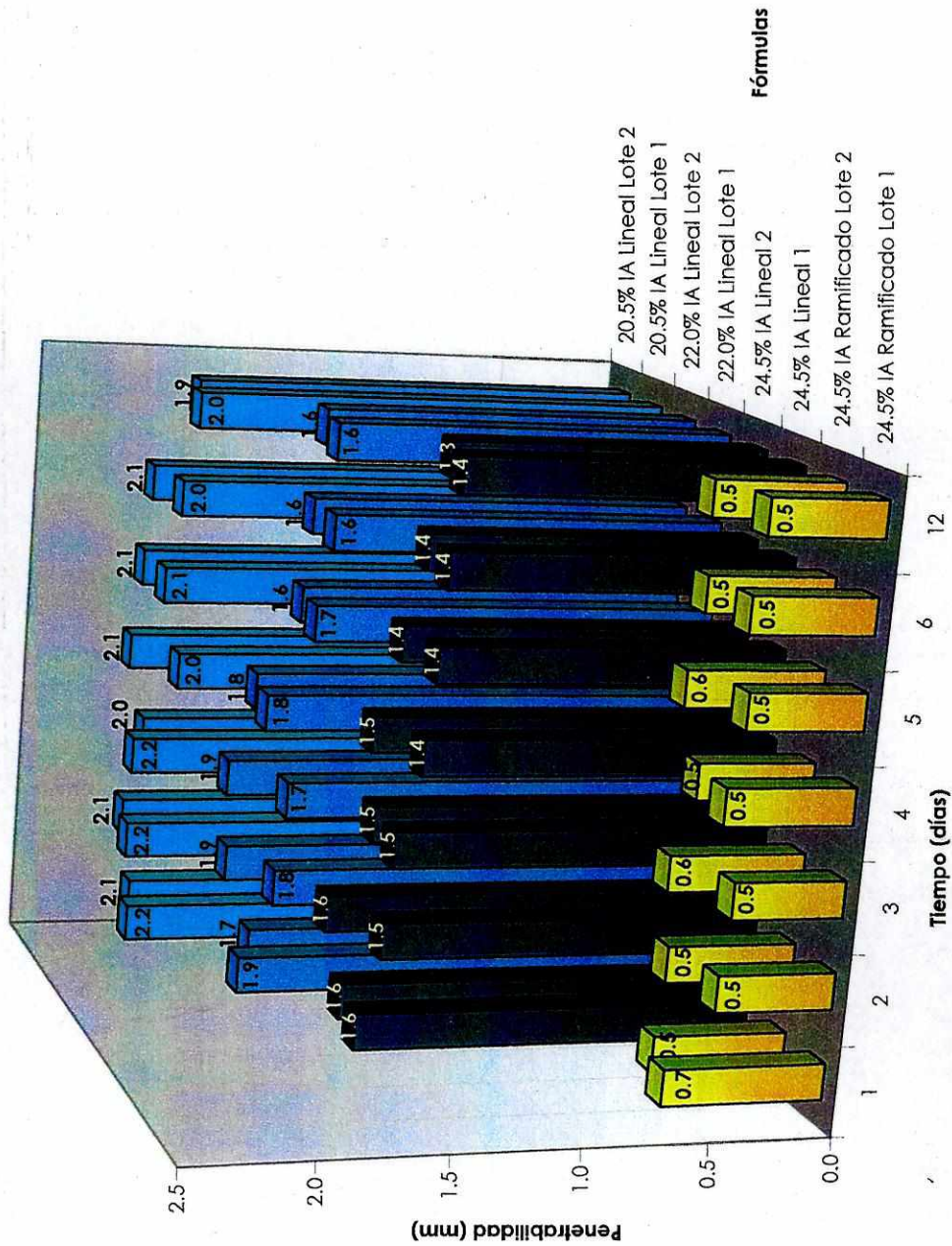
**Tabla No. 47** Análisis de penetrabilidad, fórmula 24.5% de ingrediente activo, día 6  
(ácido sulfónico ramificado)

Muestra	Lote 1	Lote 2
	Penetrabilidad Día 6 (%)	Penetrabilidad Día 6 (%)
1	0.5	0.5
2	0.9	0.3
3	0.2	0.5
4	0.9	0.5
5	0.7	0.4
6	0.3	0.8
7	0.4	0.3
8	0.2	0.8
9	0.4	0.7
10	0.3	0.5
11	0.2	0.5
12	0.5	0.6
13	0.4	0.5
14	0.8	0.4
15	0.5	0.6
16	0.4	0.3
17	0.5	0.6
18	0.7	0.2
19	0.4	0.7
20	0.8	0.9
21	0.7	0.3
22	0.5	0.4
23	0.3	0.6
24	0.5	0.5
Media	0.5	0.5
Desviación estándar	0.2	0.2
Intervalo de confianza (95%)	[0.4, 0.7]	[0.4, 0.7]

**Tabla No. 48 Análisis de penetrabilidad, fórmula 24.5% de ingrediente activo, día 12  
(ácido sulfónico ramificado)**

Muestra	Lote 1	Lote 2
	Penetrabilidad Día 12 (%)	Penetrabilidad Día 12 (%)
1	0.5	0.6
2	0.7	0.3
3	0.3	0.4
4	0.5	0.6
5	0.2	0.6
6	0.6	0.5
7	0.5	0.5
8	0.4	0.6
9	0.5	0.6
10	0.6	0.4
11	0.5	0.8
12	0.4	0.7
13	0.3	0.5
14	0.3	0.7
15	0.5	0.9
16	0.2	0.5
17	0.5	0.4
18	0.3	0.5
19	0.3	0.5
20	0.4	0.5
21	0.6	0.4
22	0.6	0.5
23	0.7	0.3
24	0.8	0.4
Media	0.5	0.5
Desviación estándar	0.2	0.1
Intervalo de confianza (95%)	[0.4, 0.6]	[0.5, 0.7]

Gráfica No. 5. Penetrabilidad del producto terminado



**Tabla No. 49 Cálculos para el ANOVA del contenido de ingrediente activo del producto terminado**

<b>Fórmula</b>	<b>Lote</b>	<b>Cuenta</b>	<b>Suma</b>	<b>Promedio</b>	<b>Varianza</b>
24.5% IA Lineal	Lote 1	24	594.08	24.75	0.38
	Lote 2	24	595.17	24.80	0.31
22.0% IA Lineal	Lote 1	24	536.82	22.37	0.17
	Lote 2	24	534.92	22.29	0.32
20.5% IA Lineal	Lote 1	24	502.53	20.94	0.31
	Lote 2	24	500.45	20.85	0.27
24.5% IA Ramificado	Lote 1	24	601.25	25.05	0.37
	Lote 2	24	596.64	24.86	0.25

**Tabla No. 50 Cálculos para el ANOVA de la humedad del producto terminado**

<b>Fórmula</b>	<b>Lote</b>	<b>Cuenta</b>	<b>Suma</b>	<b>Promedio</b>	<b>Varianza</b>
24.5% IA Lineal	Lote 1	24	304.48	12.69	1.49
	Lote 2	24	300.82	12.53	1.17
22.0% IA Lineal	Lote 1	24	302.31	12.60	1.73
	Lote 2	24	301.96	12.58	0.83
20.5% IA Lineal	Lote 1	24	284.69	11.86	3.07
	Lote 2	24	287.64	11.99	2.76
24.5% IA Ramificado	Lote 1	24	302.66	12.61	1.42
	Lote 2	24	294.65	12.28	1.54

**Tabla No. 51 Cálculos para el ANOVA de la penetrabilidad del producto terminado**

Fórmula	Día							
	1	2	3	4	5	6	12	Total
<b>24.5% IA Lineal Lote 1</b>								
Suma	38.7	36.8	36.4	34.3	33.7	33.4	32.8	246.1
Promedio	1.6	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.5
Varianza	0.026	0.030	0.038	0.016	0.030	0.030	0.031	0.035
<b>24.5% IA Lineal Lote 2</b>								
Suma	37.5	39.5	35.6	36.3	34.2	32.4	30.8	246.3
Promedio	1.6	1.6	1.5	1.5	1.4	1.4	1.3	1.5
Varianza	0.056	0.025	0.025	0.026	0.052	0.064	0.022	0.051
<b>22.0% IA Lineal Lote 1</b>								
Suma	45.0	42.1	41.4	44.0	39.9	38.7	39.0	290.1
Promedio	1.9	1.8	1.7	1.8	1.7	1.6	1.6	1.7
Varianza	0.034	0.027	0.036	0.068	0.039	0.035	0.036	0.047
<b>22.0% IA Lineal Lote 2</b>								
Suma	41.6	44.4	44.8	42.6	38.7	38.2	37.5	287.8
Promedio	1.7	1.9	1.9	1.8	1.6	1.6	1.6	1.7
Varianza	0.053	0.045	0.054	0.030	0.044	0.029	0.051	0.056
<b>20.5% IA Lineal Lote 1</b>								
Suma	51.6	52.1	52.0	48.0	49.9	48.7	47.5	349.8
Promedio	2.2	2.2	2.2	2.0	2.1	2.0	2.0	2.1
Varianza	0.034	0.045	0.043	0.063	0.029	0.040	0.050	0.047
<b>20.5% IA Lineal Lote 2</b>								
Suma	49.3	50.5	48.9	50.7	49.9	49.4	45.3	344.0
Promedio	2.1	2.1	2.0	2.1	2.1	2.1	1.9	2.0
Varianza	0.037	0.039	0.068	0.036	0.029	0.039	0.043	0.045
<b>24.5% IA ramificado Lote 1</b>								
Suma	15.7	11.4	10.8	12.5	11.3	12.0	11.2	84.9
Promedio	0.7	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Varianza	0.023	0.020	0.031	0.031	0.038	0.046	0.026	0.034
<b>24.5% IA ramificado Lote 2</b>								
Suma	13.1	12.6	13.3	11.4	13.5	12.4	12.7	89.0
Promedio	0.5	0.5	0.6	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5
Varianza	0.017	0.045	0.021	0.032	0.024	0.032	0.021	0.027
<b>Total</b>								
Suma	292.5	289.4	283.2	279.8	271.1	265.2	256.8	
Promedio	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.3	
Varianza	0.356	0.413	0.404	0.390	0.361	0.352	0.318	

## B. Prueba de los consumidores

Tabla No. 52 Determinación del tamaño mínimo de la muestra por celda ♦

Proporción ( $\rho$ )	Error tolerado (E)	Tamaño de la muestra requerida (n)
0.50	0.05	96.0

Tabla No. 53 Características de la población •

Edad	Sexo	Segmento del mercado
18-50 años	Femenino	C - D

♦ Calculada con la fórmula

$$n = \frac{Z^2 [\rho(1-\rho)]}{E}$$

donde  $n$  = Número de elementos de la muestra

$Z$  = Valor de la distribución normal para una probabilidad de 95%

[Nivel de confianza  $(1 - \alpha) = 95\%$ : 1.960]

$\rho$  = Proporción de la variable en la población

(0.5 maximiza el tamaño de la población)

$E$  = Error tolerado

• Actuales consumidores del producto, poseedores de la decisión de compra

Tabla No. 54 Celdas de comparación

Celda	Fórmulas comparadas
1	24.5% IA Lineal – 24.5% IA Ramificado
2	22.0% IA Lineal – 24.5% IA Ramificado
3	20.5% IA Lineal – 24.5% IA Ramificado

Tabla No. 55 Preferencia de los consumidores en la celda 1

	Fórmula		Ambas	Total
	24.5% IA Ramificado	24.5% IA Lineal		
Eficiencia de lavado	31	43	26	100
Fragancia	33	42	25	100
Consistencia	36	43	21	100
Rendimiento	35	41	24	100
Preferencia global	36	48	16	100

Tabla No. 56 Preferencia de los consumidores en la celda 2

	Fórmula		Ambas	Total
	24.5% IA Ramificado	24.5% IA Lineal		
Eficiencia de lavado	27	38	35	100
Fragancia	30	44	26	100
Consistencia	38	44	18	100
Rendimiento	37	35	28	100
Preferencia global	35	47	18	100

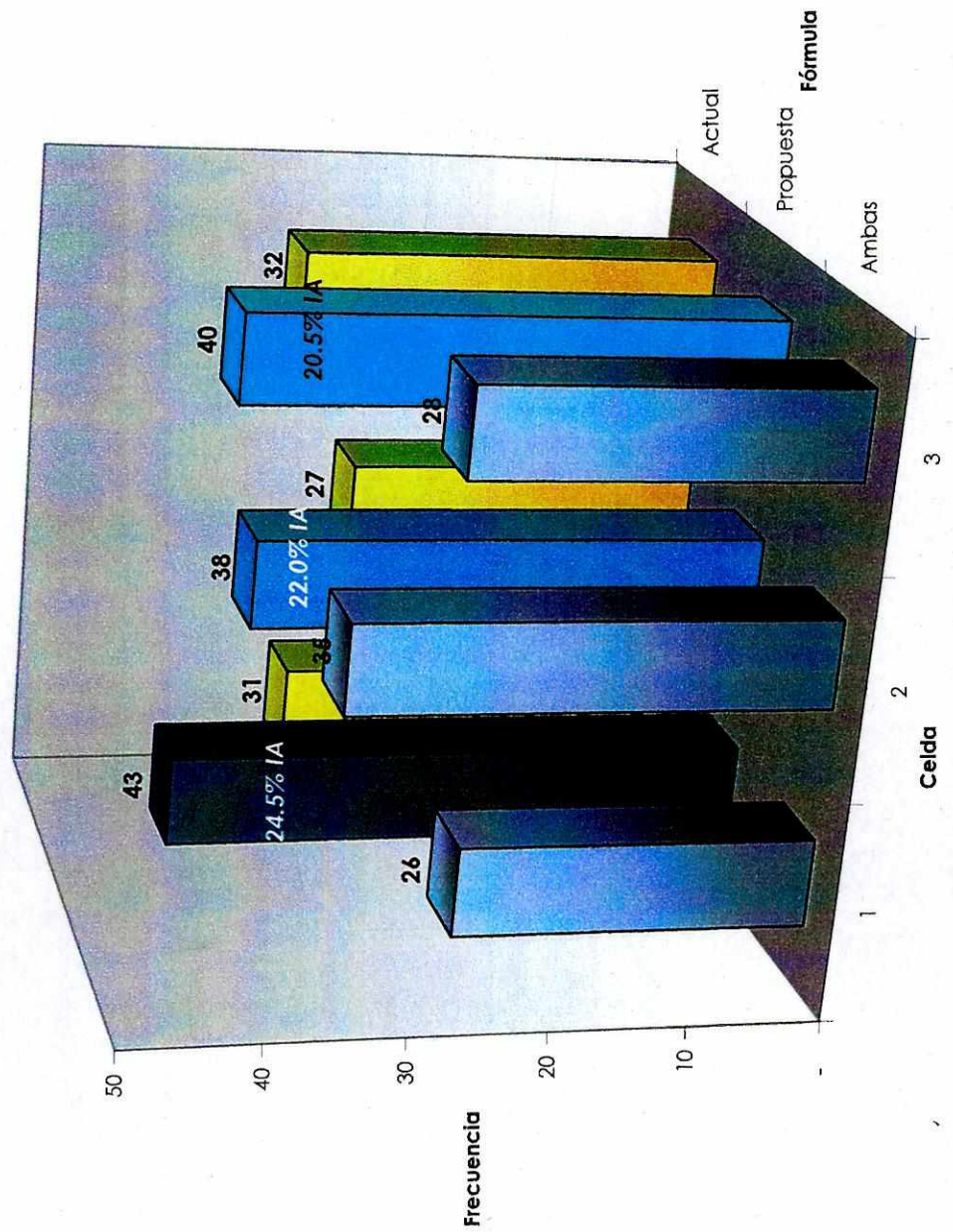
Tabla No. 57 Preferencia de los consumidores en la celda 3

	Fórmula			Total
	24.5% IA	24.5% IA	Ambas	
	Ramificado	Lineal		
Eficiencia de lavado	32	40	28	100
Fragancia	31	42	27	100
Consistencia	39	45	16	100
Rendimiento	35	40	25	100
Preferencia global	36	45	19	100

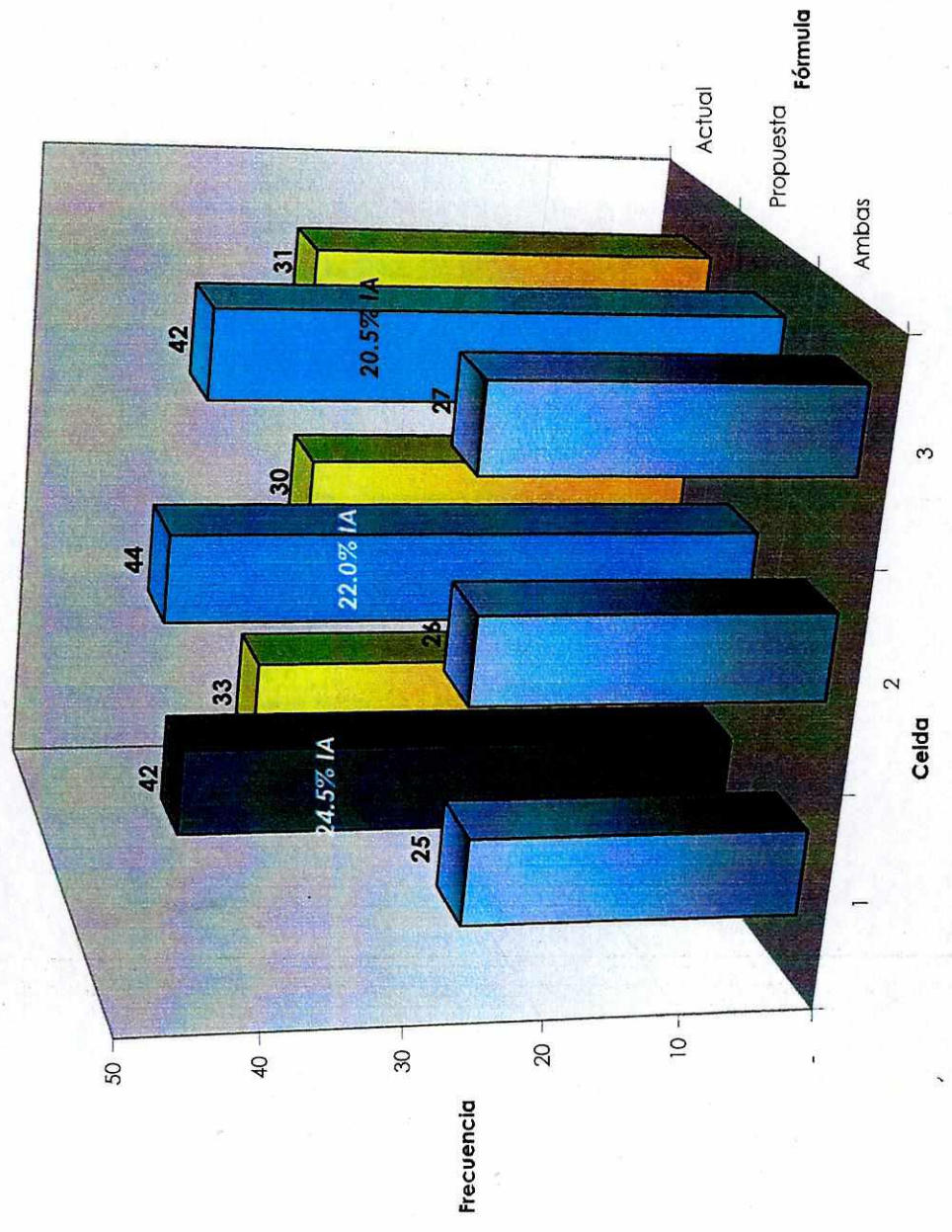
Tabla No. 58 Prueba Chi cuadrado ( $\chi^2$ ) para la preferencia de las características claves del producto

Factor comparado	Característica clave	$\chi^2$	Probabilidad	Valor crítico para $\chi^2$
Celdas	Eficiencia de limpieza	2.286	<b>0.683</b>	9.488
	Fragancia	0.288	<b>0.991</b>	9.488
	Consistencia	0.860	<b>0.930</b>	9.488
	Rendimiento	0.947	<b>0.918</b>	9.488
Fórmulas	Eficiencia de limpieza	8.760	<b>0.067</b>	9.488
	Fragancia	13.320	<b>0.010</b>	9.488
	Consistencia	32.760	<b><math>1.3 \times 10^{-6}</math></b>	9.488
	Rendimiento	9.300	<b>0.054</b>	9.488

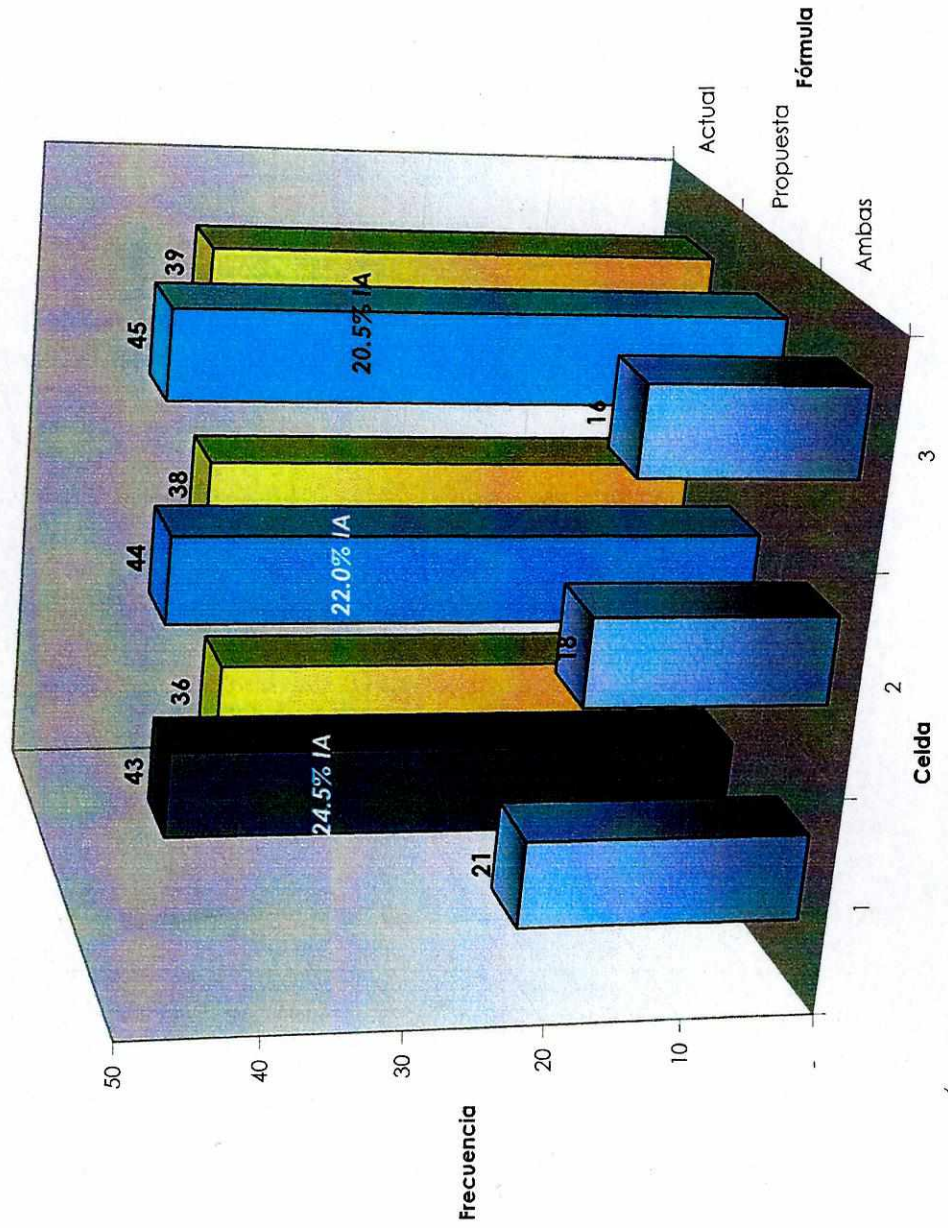
Gráfica No. 6. Preferencia del producto por eficiencia de limpieza



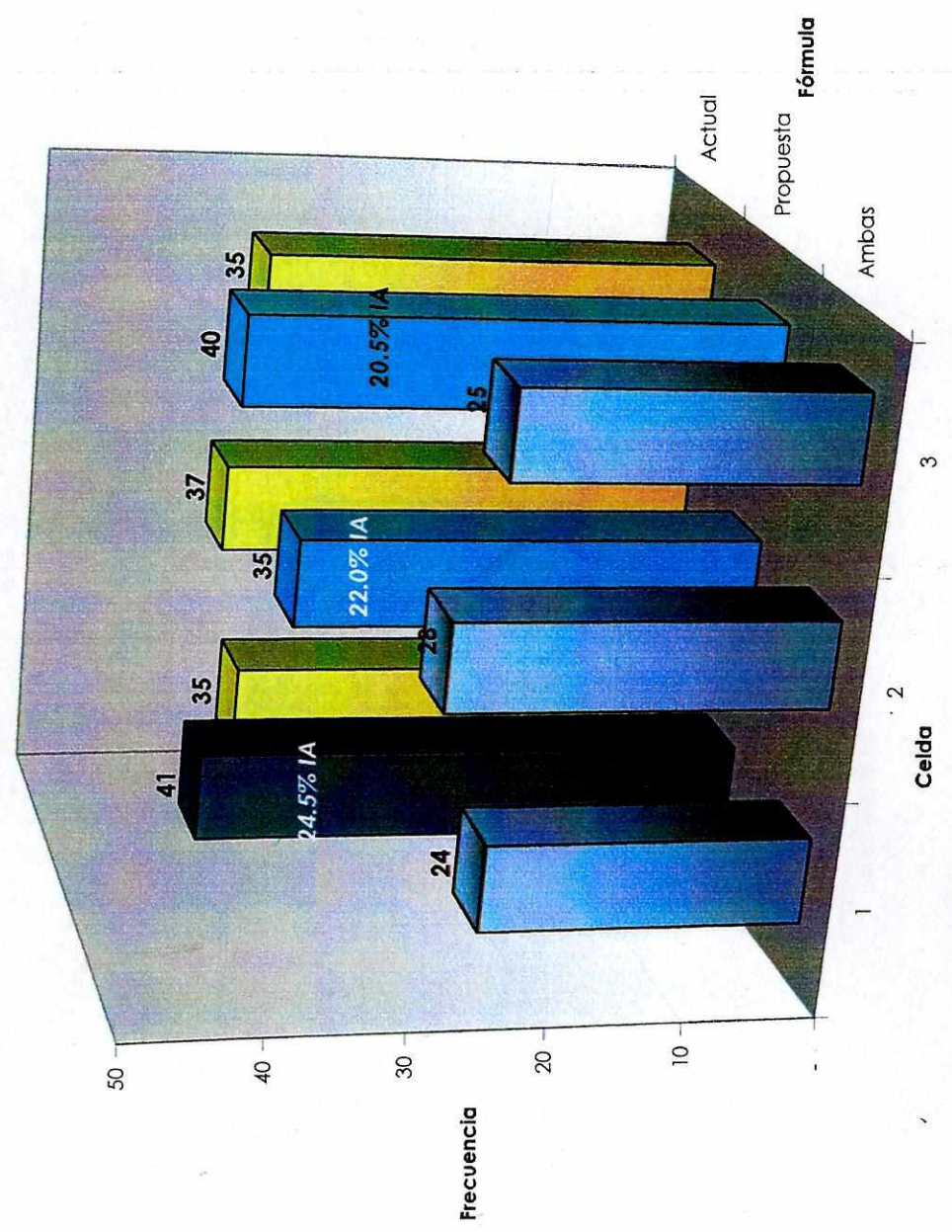
Gráfica No. 7. Preferencia del producto por fragancia



Gráfica No. 8. Preferencia del producto por consistencia



Gráfica No. 9. Preferencia del producto por rendimiento



**Tabla No. 59 Prueba de hipótesis para la preferencia de las características claves del producto**

Característica clave	Factor comparado	Hipótesis nula ( $H_0$ )	Hipótesis alternativa ( $H_1$ )	Resultado
Eficiencia de limpieza	Celdas	$\mu_{ij} = \mu_j \quad \forall i$ i: celdas j: fórmulas	$\mu_{ij} \neq \mu_j$ para algún i i: celdas j: fórmulas	Se acepta la hipótesis nula
	Fórmulas	$\mu_{ij} = \mu_j \quad \forall i$ i: fórmulas j: celdas	$\mu_{ij} \neq \mu_j$ para algún i i: fórmulas j: celdas	Se acepta la hipótesis nula
Fragancia	Celdas	$\mu_{ij} = \mu_j \quad \forall i$ i: celdas j: fórmulas	$\mu_{ij} \neq \mu_j$ para algún i i: celdas j: fórmulas	Se acepta la hipótesis nula
	Fórmulas	$\mu_{ij} = \mu_j \quad \forall i$ i: fórmulas j: celdas	$\mu_{ij} \neq \mu_j$ para algún i i: fórmulas j: celdas	Se rechaza la hipótesis nula
Consistencia	Celdas	$\mu_{ij} = \mu_j \quad \forall i$ i: celdas j: fórmulas	$\mu_{ij} \neq \mu_j$ para algún i i: celdas j: fórmulas	Se acepta la hipótesis nula
	Fórmulas	$\mu_{ij} = \mu_j \quad \forall i$ i: fórmulas j: celdas	$\mu_{ij} \neq \mu_j$ para algún i i: fórmulas j: celdas	Se rechaza la hipótesis nula
Rendimiento	Celdas	$\mu_{ij} = \mu_j \quad \forall i$ i: celdas j: fórmulas	$\mu_{ij} \neq \mu_j$ para algún i i: celdas j: fórmulas	Se acepta la hipótesis nula
	Fórmulas	$\mu_{ij} = \mu_j \quad \forall i$ i: fórmulas j: celdas	$\mu_{ij} \neq \mu_j$ para algún i i: fórmulas j: celdas	Se acepta la hipótesis nula

**Tabla No. 60 Cálculos para la prueba Chi cuadrado ( $\chi^2$ ) de preferencia global del producto entre celdas**

	Fórmula			Total
	Actual	Propuesta	Ambas	
<b>Frecuencia</b>				
Celda 1	36	48	16	100
Celda 2	35	47	18	100
Celda 3	36	45	19	100
<b>Total</b>	107	140	53	300
<b>Porcentajes</b>				
Celda 1	36.0%	48.0%	16.0%	100.0%
Celda 2	35.0%	47.0%	18.0%	100.0%
Celda 3	36.0%	45.0%	19.0%	100.0%
<b>Total</b>	35.7%	46.7%	17.7%	100.0%
<b>Valores esperados</b>				
Celda 1	35.7	46.7	17.7	100.0
Celda 2	35.7	46.7	17.7	100.0
Celda 3	35.7	46.7	17.7	100.0
<b>Total</b>	107.0	140.0	53.0	300.0
<b><math>\chi^2</math></b>				
Celda 1	0.003	0.038	0.157	
Celda 2	0.012	0.002	0.006	
Celda 3	0.003	0.060	0.101	

Tabla No. 61 Cálculos para la prueba Chi cuadrado ( $\chi^2$ ) de preferencia global del producto entre fórmulas

	Fórmula			Total
	Actual	Propuesta	Ambas	
<b>Frecuencia</b>				
Celda 1	36	48	16	100
Celda 2	35	47	18	100
Celda 3	36	45	19	100
<b>Total</b>	107	140	53	300
<b>Porcentajes</b>				
Celda 1	33.6%	34.3%	30.2%	33.3%
Celda 2	32.7%	33.6%	34.0%	33.3%
Celda 3	33.6%	32.1%	35.8%	33.3%
<b>Total</b>	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
<b>Valores esperados</b>				
Celda 1	33.3	33.3	33.3	100.0
Celda 2	33.3	33.3	33.3	100.0
Celda 3	33.3	33.3	33.3	100.0
<b>Total</b>	100.0	100.0	100.0	300.0
<b><math>\chi^2</math></b>				
Celda 1	0.213	6.453	9.013	
Celda 2	0.083	5.603	7.053	
Celda 3	0.213	4.083	6.163	

**Tabla No. 62 Cálculos para la prueba Chi cuadrado ( $\chi^2$ ) de preferencia del producto por eficiencia de limpieza entre celdas**

	Fórmula			Total
	Actual	Propuesta	Ambas	
<b>Frecuencia</b>				
Celda 1	31	43	26	100
Celda 2	27	38	35	100
Celda 3	32	40	28	100
<b>Total</b>	90	121	89	300
<b>Porcentajes</b>				
Celda 1	31.0%	43.0%	26.0%	100.0%
Celda 2	27.0%	38.0%	35.0%	100.0%
Celda 3	32.0%	40.0%	28.0%	100.0%
<b>Total</b>	30.0%	40.3%	29.7%	100.0%
<b>Valores esperados</b>				
Celda 1	30.0	40.3	29.7	100.0
Celda 2	30.0	40.3	29.7	100.0
Celda 3	30.0	40.3	29.7	100.0
<b>Total</b>	90.0	121.0	89.0	300.0
<b><math>\chi^2</math></b>				
Celda 1	0.033	0.176	0.453	
Celda 2	0.300	0.135	0.959	
Celda 3	0.133	0.003	0.094	

Tabla No. 63 Cálculos para la prueba Chi cuadrado ( $\chi^2$ ) de preferencia del producto por eficiencia de limpieza entre fórmulas

	Fórmula			Total
	Actual	Propuesta	Ambas	
<b>Frecuencia</b>				
Celda 1	31	43	26	100
Celda 2	27	38	35	100
Celda 3	32	40	28	100
<b>Total</b>	90	121	89	300
<b>Porcentajes</b>				
Celda 1	34.4%	35.5%	29.2%	33.3%
Celda 2	30.0%	31.4%	39.3%	33.3%
Celda 3	35.6%	33.1%	31.5%	33.3%
<b>Total</b>	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
<b>Valores esperados</b>				
Celda 1	33.3	33.3	33.3	100.0
Celda 2	33.3	33.3	33.3	100.0
Celda 3	33.3	33.3	33.3	100.0
<b>Total</b>	100.0	100.0	100.0	300.0
$\chi^2_{ij}$				
Celda 1	0.163	2.803	1.613	
Celda 2	1.203	0.653	0.083	
Celda 3	0.053	1.333	0.853	

Tabla No. 64 Cálculos para la prueba Chi cuadrado ( $\chi^2$ ) de preferencia del producto por fragancia entre celdas

	Fórmula			Total
	Actual	Propuesta	Ambas	
<b>Frecuencia</b>				
Celda 1	33	42	25	100
Celda 2	30	44	26	100
Celda 3	31	42	27	100
<b>Total</b>	94	128	78	300
<b>Porcentajes</b>				
Celda 1	33.0%	42.0%	25.0%	100.0%
Celda 2	30.0%	44.0%	26.0%	100.0%
Celda 3	31.0%	42.0%	27.0%	100.0%
<b>Total</b>	31.3%	42.7%	26.0%	100.0%
<b>Valores esperados</b>				
Celda 1	31.3	42.7	26.0	100.0
Celda 2	31.3	42.7	26.0	100.0
Celda 3	31.3	42.7	26.0	100.0
<b>Total</b>	94.0	128.0	78.0	300.0
<b><math>\chi^2_{ij}</math></b>				
Celda 1	0.089	0.010	0.038	
Celda 2	0.057	0.042	0.000	
Celda 3	0.004	0.010	0.038	

Tabla No. 65 Cálculos para la prueba Chi cuadrado ( $\chi^2$ ) de preferencia del producto por fragancia entre fórmulas

	Fórmula			Total
	Actual	Propuesta	Ambas	
<b>Frecuencia</b>				
Celda 1	33	42	25	100
Celda 2	30	44	26	100
Celda 3	31	42	27	100
<b>Total</b>	94	128	78	300
<b>Porcentajes</b>				
Celda 1	35.1%	32.8%	32.1%	33.3%
Celda 2	31.9%	34.4%	33.3%	33.3%
Celda 3	33.0%	32.8%	34.6%	33.3%
<b>Total</b>	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
<b>Valores esperados</b>				
Celda 1	33.3	33.3	33.3	100.0
Celda 2	33.3	33.3	33.3	100.0
Celda 3	33.3	33.3	33.3	100.0
<b>Total</b>	100.0	100.0	100.0	300.0
<b><math>\chi^2</math></b>				
Celda 1	0.003	2.253	2.083	
Celda 2	0.333	3.413	1.613	
Celda 3	0.163	2.253	1.203	

Tabla No. 66 Cálculos para la prueba Chi cuadrado ( $\chi^2$ ) de preferencia del producto por consistencia entre celdas

	Fórmula			Total
	Actual	Propuesta	Ambas	
<b>Frecuencia</b>				
Celda 1	36	43	21	100
Celda 2	38	44	18	100
Celda 3	39	45	16	100
<b>Total</b>	113	132	55	300
<b>Porcentajes</b>				
Celda 1	36.0%	43.0%	21.0%	100.0%
Celda 2	38.0%	44.0%	18.0%	100.0%
Celda 3	39.0%	45.0%	16.0%	100.0%
<b>Total</b>	37.7%	44.0%	18.3%	100.0%
<b>Valores esperados</b>				
Celda 1	37.7	44.0	18.3	100.0
Celda 2	37.7	44.0	18.3	100.0
Celda 3	37.7	44.0	18.3	100.0
<b>Total</b>	113.0	132.0	55.0	300.0
<b><math>\chi^2</math></b>				
Celda 1	0.074	0.023	0.388	
Celda 2	0.003	0.000	0.006	
Celda 3	0.047	0.023	0.297	

**Tabla No. 67 Cálculos para la prueba Chi cuadrado ( $\chi^2$ ) de preferencia del producto por consistencia entre fórmulas**

	Fórmula			Total
	Actual	Propuesta	Ambas	
<b>Frecuencia</b>				
Celda 1	36	43	21	100
Celda 2	38	44	18	100
Celda 3	39	45	16	100
<b>Total</b>	113	132	55	300
<b>Porcentajes</b>				
Celda 1	31.9%	32.6%	38.2%	33.3%
Celda 2	33.6%	33.3%	32.7%	33.3%
Celda 3	34.5%	34.1%	29.1%	33.3%
<b>Total</b>	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
<b>Valores esperados</b>				
Celda 1	33.3	33.3	33.3	100.0
Celda 2	33.3	33.3	33.3	100.0
Celda 3	33.3	33.3	33.3	100.0
<b>Total</b>	100.0	100.0	100.0	300.0
<b><math>\chi^2_{ij}</math></b>				
Celda 1	0.213	2.803	4.563	
Celda 2	0.653	3.413	7.053	
Celda 3	0.963	4.083	9.013	

Tabla No. 68 Cálculos para la prueba Chi cuadrado ( $\chi^2$ ) de preferencia del producto por rendimiento entre celdas

	Fórmula			Total
	Actual	Propuesta	Ambas	
<b>Frecuencia</b>				
Celda 1	35	41	24	100
Celda 2	37	35	28	100
Celda 3	35	40	25	100
<b>Total</b>	107	116	77	300
<b>Porcentajes</b>				
Celda 1	35.0%	41.0%	24.0%	100.0%
Celda 2	37.0%	35.0%	28.0%	100.0%
Celda 3	35.0%	40.0%	25.0%	100.0%
<b>Total</b>	35.7%	38.7%	25.7%	100.0%
<b>Valores esperados</b>				
Celda 1	35.7	38.7	25.7	100.0
Celda 2	35.7	38.7	25.7	100.0
Celda 3	35.7	38.7	25.7	100.0
<b>Total</b>	107.0	116.0	77.0	300.0
<b><math>\chi^2</math></b>				
Celda 1	0.012	0.141	0.108	
Celda 2	0.050	0.348	0.212	
Celda 3	0.012	0.046	0.017	

Tabla No. 69 Cálculos para la prueba Chi cuadrado ( $\chi^2$ ) de preferencia del producto por rendimiento entre fórmulas

	Fórmula			Total
	Actual	Propuesta	Ambas	
<b>Frecuencia</b>				
Celda 1	35	41	24	100
Celda 2	37	35	28	100
Celda 3	35	40	25	100
<b>Total</b>	107	116	77	300
<b>Porcentajes</b>				
Celda 1	32.7%	35.3%	31.2%	33.3%
Celda 2	34.6%	30.2%	36.4%	33.3%
Celda 3	32.7%	34.5%	32.5%	33.3%
<b>Total</b>	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
<b>Valores esperados</b>				
Celda 1	33.3	33.3	33.3	100.0
Celda 2	33.3	33.3	33.3	100.0
Celda 3	33.3	33.3	33.3	100.0
<b>Total</b>	100.0	100.0	100.0	300.0
<b><math>\chi^2</math></b>				
Celda 1	0.083	1.763	2.613	
Celda 2	0.403	0.083	0.853	
Celda 3	0.083	1.333	2.083	

### C. Análisis de costos

Tabla No. 70 Costo de la fórmula con 24.5% de ingrediente activo (ácido sulfónico lineal)

Materia prima	kg/lote	Porcentaje (%)	Costo de materias primas (Q/kg)	Costo de la fórmula (Q/kg)
Ácido sulfónico ramificado	-	-	7.04	-
Ácido sulfónico lineal	294.0	24.50%	8.40	2.0580
Agua	109.2	9.10%	-	-
Agente constructor 1	156.0	13.00%	1.76	0.2288
Agente constructor 2	36.0	3.00%	5.12	0.1536
Agente constructor 3	9.6	0.80%	0.96	0.0077
Agente constructor 4	60.0	5.00%	2.72	0.1360
Agente constructor 5	240.0	20.00%	0.45	0.0896
Agente constructor 6	72.0	6.00%	1.20	0.0720
Agente constructor 7	215.5	17.96%	0.45	0.0805
Ingrediente menor 1	2.400	0.2000%	128.80	0.2576
Ingrediente menor 2	1.800	0.1500%	17.60	0.0264
Ingrediente menor 3	0.360	0.0300%	19.16	0.0057
Ingrediente menor 4	2.400	0.2000%	17.44	0.0349
Ingrediente menor 5	0.720	0.0600%	312.88	0.1877
<b>Total</b>	<b>1.200.0</b>	<b>100.00%</b>		<b>3.3385</b>

**Tabla No. 71 Costo de la fórmula con 22.0% de ingrediente activo (ácido sulfónico lineal)**

<b>Materia prima</b>	<b>kg/lote</b>	<b>Porcentaje (%)</b>	<b>Costo de materias primas (Q/kg)</b>	<b>Costo de la fórmula (Q/kg)</b>
Ácido sulfónico ramificado	-	-	7.04	-
Ácido sulfónico lineal	264.0	22.00%	8.40	1.8480
Agua	84.0	7.00%	-	-
Agente constructor 1	156.0	13.00%	1.76	0.2288
Agente constructor 2	36.0	3.00%	5.12	0.1536
Agente constructor 3	9.6	0.80%	0.96	0.0077
Agente constructor 4	60.0	5.00%	2.72	0.1360
Agente constructor 5	300.0	25.00%	0.45	0.1120
Agente constructor 6	72.0	6.00%	1.20	0.0720
Agente constructor 7	211.9	17.66%	0.45	0.0791
Ingrediente menor 1	2.400	0.2000%	128.80	0.2576
Ingrediente menor 2	1.800	0.1500%	17.60	0.0264
Ingrediente menor 3	0.360	0.0300%	19.16	0.0057
Ingrediente menor 4	1.200	0.1000%	17.44	0.0174
Ingrediente menor 5	0.720	0.0600%	312.88	0.1877
<b>Total</b>	<b>1,200.0</b>	<b>100.00%</b>		<b>3.1321</b>

Tabla No. 72 Costo de la fórmula con 20.5% de ingrediente activo (ácido sulfónico lineal)

Materia prima	kg/lote	Porcentaje (%)	Costo de materias primas (Q/kg)	Costo de la fórmula (Q/kg)
Ácido sulfónico ramificado	--	--	7.04	--
Ácido sulfónico lineal	246.0	20.50%	8.40	1.7220
Agua	84.0	7.00%	--	--
Agente constructor 1	156.0	13.00%	1.76	0.2288
Agente constructor 2	36.0	3.00%	5.12	0.1536
Agente constructor 3	9.6	0.80%	0.96	0.0077
Agente constructor 4	60.0	5.00%	2.72	0.1360
Agente constructor 5	300.0	25.00%	0.45	0.1120
Agente constructor 6	72.0	6.00%	1.20	0.0720
Agente constructor 7	229.9	19.16%	0.45	0.0858
Ingrediente menor 1	2.400	0.2000%	128.80	0.2576
Ingrediente menor 2	1.800	0.1500%	17.60	0.0264
Ingrediente menor 3	0.360	0.0300%	19.16	0.0057
Ingrediente menor 4	1.200	0.1000%	17.44	0.0174
Ingrediente menor 5	0.720	0.0600%	312.88	0.1877
<b>Total</b>	<b>1,200.0</b>	<b>100.00%</b>		<b>3.0128</b>

Tabla No. 73 Costo de la fórmula actual (ácido sulfónico ramificado)

Materia prima	kg/lote	Porcentaje (%)	Costo de materias primas (Q/kg)	Costo de la fórmula (Q/kg)
Ácido sulfónico ramificado	294.0	24.50%	7.04	1.7248
Ácido sulfónico lineal	-	-	8.40	-
Agua	109.2	9.10%	-	-
Agente constructor 1	156.0	13.00%	1.76	0.2288
Agente constructor 2	36.0	3.00%	5.12	0.1536
Agente constructor 3	9.6	0.80%	0.96	0.0077
Agente constructor 4	0.0	-	2.72	-
Agente constructor 5	300.0	25.00%	0.45	0.1120
Agente constructor 6	72.0	6.00%	1.20	0.0720
Agente constructor 7	215.5	17.96%	0.45	0.0805
Ingrediente menor 1	2.400	0.2000%	128.80	0.2576
Ingrediente menor 2	1.800	0.1500%	17.60	0.0264
Ingrediente menor 3	0.360	0.0300%	19.16	0.0057
Ingrediente menor 4	2.400	0.2000%	17.44	0.0349
Ingrediente menor 5	0.720	0.0600%	312.88	0.1877
<b>Total</b>	<b>1,200.0</b>	<b>100.00%</b>		<b>2.8917</b>

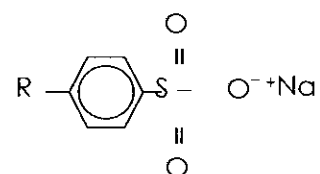
## D. Glosario

### Ácido carboxílico

Cualquier compuesto que contiene el grupo carboxilo (-COOH).

### Ácido sulfónico

Nombre común bajo el cual se conocen diferentes tipos de ácidos alquilbencensulfónicos, cuya fórmula general es



donde R representa un grupo alquilo, el cual los diferencia. El átomo de azufre está enlazado directamente a un átomo de carbono perteneciente a un anillo bencénico.

### Ácido graso

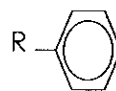
Cada uno de los ácidos carboxílicos de cadena lineal larga; caracterizados por un determinado número de carbonos y enlaces múltiples entre estos últimos. La mayor parte de los ácidos grasos naturales contienen números pares de átomos de carbono, entre 12 y 20. Se combinan con la glicerina para formar las grasas.

### Álcali

Cualquier hidróxido metálico, muy soluble en agua, que se comporta como una base fuerte.

### Alquilbenceno

Compuesto que consta de una molécula de benceno unida a una cadena de carbonos; su fórmula general es



<b>Alquilbencensulfonato</b>	Sal formada por la neutralización de un ácido alquilbencensulfónico.
<b>Biodegradabilidad</b>	Propiedad de algunos materiales complejos de ser degradados fácil y rápidamente por acción biológica para formar productos finales sencillos.
<b>Emulsión</b>	Mezcla de dos líquidos inmiscibles, uno de los cuales se encuentra disperso en el otro en forma de pequeñas gotas.
<b>Éster</b>	Compuesto producido por la reacción de un ácido carboxílico y un alcohol, en la cual el grupo alcoxi (-OR) del alcohol sustituye al grupo hidroxilo (-OH) del ácido, liberándose una molécula de agua
<b>Eutrofización</b>	Proceso en el que los cuerpos de agua presentan un incremento de sustancias nutritivas, que provoca un exceso de plantas, algas y otros microorganismos en el agua. Aunque este proceso ocurre naturalmente, también es causado por el hombre cuando cantidades considerables de aguas domésticas, industriales y agrícolas son vertidas en cuerpos de agua.
<b>Exotérmico</b>	Dícese del proceso que va acompañado de desprendimiento de calor.
<b>Extrusión</b>	Proceso de dar forma a una masa metálica, plástica, etc., haciéndola salir por una abertura especialmente dispuesta.

<b>Glicerina</b>	También llamado glicerol (nombre químico 1,2,3-trihidroxiopropano o 1,2,3 propanotriol) es un compuesto líquido incoloro, espeso y dulce. Químicamente es un alcohol con tres grupos hidroxilo (-OH); se encuentra esterificado en todas las grasas como base de su estructura.
<b>Glicéridos</b>	Ésteres de ácidos grasos con el triol glicerol o glicerina. Los glicéridos más comunes son los triglicéridos, en los cuales los tres grupos hidroxilo del glicerol han sido esterificados con ácidos grasos.
<b>Grupo alquilo</b>	Radical orgánico que resulta de eliminar un átomo de hidrógeno de la cadena de un hidrocarburo; se simboliza como -R.
<b>Grasas</b>	Nombre genérico de sustancias orgánicas, conocidos como triglicéridos o triacilgliceroles. Son triésteres de ácidos grasos, formados por la combinación de estos con glicerina. Se encuentran muy difundidos en tejidos de plantas y animales.
<b>Hidrofílico</b>	Que atrae al agua; polar (sinónimo: lipofóbico).
<b>Hidrofóbico</b>	Que repele el agua; no polar (sinónimo: lipofílico).
<b>Ion</b>	Átomo o agrupación de átomos que por pérdida o ganancia de uno o más electrones adquiere carga eléctrica. Cuando la carga es negativa se denominan aniones; cuando es positiva, cationes.

<b>Lípidos</b>	Sustancias que se pueden extraer de células y tejidos con solventes orgánicos no polares, formados por la esterificación de los alcoholes con ácidos grasos.
<b>Micelas</b>	Cúmulo de moléculas de jabón u otro agente emulsificante suspendido en un solvente, en general agua. Las cabezas hidrofílicas de las moléculas están en contacto con el solvente, y las colas hidrofóbicas están encerradas en el interior del agrupamiento. La micela puede contener o no partículas no polares en su centro.
<b>Polimerización</b>	Proceso de enlazar moléculas de un mismo compuesto en una secuencia de unidades estructurales repetidas, formando una cadena larga denominada polímero.
<b>Saponificación</b>	Reacción entre grasas y aceites con un álcali, en la cual se producen sales de ácidos grasos (jabones) y glicerina.
<b>Surfactante</b>	Compuesto que reduce la energía de superficie o tensión superficial de las soluciones que los contienen, dado que sus moléculas tienen un extremo hidrofílico y uno hidrofóbico. También llamados agentes activos de superficie.