



MEDICION Y ANALISIS DE ALGUNAS VARIABLES IMPORTANTES EN LA SELECCION DE UN TENSOACTIVO PARA UN DESENGRASANTE

CHRISTIAN DAVID GARCIA JIMENEZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2011



MEDICION Y ANALISIS DE ALGUNAS VARIABLES IMPORTANTES EN LA SELECCION DE UN TENSOACTIVO PARA UN DESENGRASANTE

CHRISTIAN DAVID GARCIA JIMENEZ

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de ingeniero
químico.**

Director

MARIO ALVAREZ CIFUENTES

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2011

A Dios, porque sin El nada de esto hubiese sido posible, por cuidarme y llevarme siempre por el mejor camino, por mantener unida mi familia,

A mi padre, por su esfuerzo y sacrificio, por sus enseñanzas, por buscar siempre lo mejor para mi,

A mi madre por confiar y creer incondicionalmente en mí, por su ser una mujer intachable, por ser el motor de mi vida,

A mi hermano por su fortaleza, por su preocupación por mi futuro, por ser un ejemplo a seguir,

Y al inmenso cariño tan compacto que recibo todos los días, por llenarme de felicidad, por ser una razón para sonreír y seguir adelante, por estar siempre presente en mi vida,

AGRADECIMIENTOS

Al equipo Conaldes, por apoyarme y ayudarme a crecer como profesional y como persona.

A Gustavo Castillo por brindarme la oportunidad de vivir y aprender de esta gran experiencia.

CONTENIDO

INTRODUCCION.....	13
1. FUNDAMENTO TEÓRICO.....	15
1.1. TENSOACTIVO	15
1.2. NONILFENOL ETOXILADO NP-10	16
1.3. BIO – SOFT N25 – 9	16
1.4. ECOSURF SA – 9	17
1.5. PODER HUMECTANTE	17
1.6. PODER ESPUMÓGENO.....	18
2. DESARROLLO EXPERIMENTAL	19
2.1. METODOLOGÍA.....	19
2.2. MEZCLA CON NONILFENOL ETOXILADO	20
2.2.1. Prueba de Densidad y pH	20
2.2.2. Prueba de poder espumógeno.....	20
2.2.3. Prueba de poder humectante	21
2.3. MEZCLAS CON BIO-SOFT Y ECOSURF.....	21
2.4. AJUSTE DE CONCENTRACIONES	22
2.5. TOMA DE DECISIÓN	23
3. RESULTADOS Y ANALISIS	24
3.1. PROPIEDADES INICIALES DEL PRODUCTO.....	24

3.1.1.	Densidad y pH	24
3.1.2.	Poder Espumógeno	25
3.1.3.	Poder Humectante	27
3.2.	PROPIEDADES DEL PRODUCTO USANDO BIO-SOFT Y ECOSURF... ..	28
3.2.1.	Influencia de la concentración sobre la densidad y el pH.....	28
3.2.2.	Influencia de la concentración sobre el poder espumógeno	32
3.2.3.	Influencia de la concentración sobre el poder humectante	34
3.3.	AJUSTE DE CONCENTRACIONES	36
3.3.1.	Criterio de selección por densidad	36
3.3.2.	Criterio de selección por pH	36
3.3.3.	Criterio de selección por poder espumógeno	37
3.3.4.	Criterio de selección por poder humectante	37
3.3.5.	Concentración óptima de Bio – Soft y Ecosurf	38
3.4.	SELECCIÓN DEL TENSOACTIVO	38
4.	CONCLUSIONES	40
5.	BIBLIOGRAFIA	41

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Especificaciones Técnicas del Nonilfenol Etoxilado NP-10.....	16
Tabla 2. Especificaciones Técnicas del BIO – SOFT 25 – 9.....	16
Tabla 3. Especificaciones Técnicas del ECOSURF SA – 9	17
Tabla 4. Densidad y pH del Desengrasante Bon Fresh usando Nonilfenol etoxilado	24
Tabla 5. Poder Espumógeno del Desengrasante Bon Fresh usando Nonilfenol Etoxilado	26
Tabla 6. Poder Humectante del Desengrasante Bon Fresh usando Nonilfenol Etoxilado	27
Tabla 7. Densidad y pH para muestras de Bio-Soft y Ecosurf	28
Tabla 8. Poder espumógeno para mezclas con Bio-Soft y Ecosurf	32
Tabla 9. Poder humectante para las mezclas con Bio – Soft y Ecosurf.....	34

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de proceso experimental	19
Figura 2. Variación de la densidad con respecto al porcentaje de concentración de tensoactivo.....	30
Figura 3. Variación del pH con respecto al porcentaje de concentración de tensoactivo.....	31
Figura 4. Variación de la altura de espuma con respecto al porcentaje de concentración.....	33
Figura 5. Variación del tiempo de humectación con respecto al porcentaje de concentración de tensoactivo	35

RESUMEN

TÍTULO: MEDICION Y ANALISIS DE ALGUNAS VARIABLES IMPORTANTES EN LA SELECCIÓN DE UN TENSOACTIVO PARA UN DESENGRASANTE*

García Jiménez Christian David, Alvarez Mario **

Palabras claves: Nonilfenol Etoxilado NP-10, Bio-Soft N25-9, Ecosurf SA-9

En este trabajo, se seleccionó entre dos alternativas de tensoactivos (Bio-Soft N25-9 y Ecosurf SA-9) para la sustitución del Nonilfenol Etoxilado NP-10 en la formulación de un desengrasante. Para esto se realizaron muestras del producto usando cada una de los tensoactivos y se evaluaron algunas propiedades importantes como densidad, pH, poder espumógeno y poder humectante con el fin de mantener sus valores iguales, en lo posible, antes y después de realizar la sustitución.

Inicialmente, se determinaron las variaciones en las propiedades iniciales del producto antes de realizar la sustitución (usando Nonilfenol Etoxilado NP-10). Después de esto, para las dos alternativas, se evaluaron también los cambios en estas propiedades debido a la sustitución del tensoactivo y la variación en la concentración del mismo para obtener las ecuaciones que relacionan la concentración del tensoactivo con cada una de las variables medidas.

Teniendo en cuenta estos resultados se determinó para ambas alternativas que, con el fin de mantener las propiedades iniciales del producto, la concentración del tensoactivo (Bio-Soft N25-9 y Ecosurf SA-9) debía ser menor. Para esto, se analizaron las variables más afectadas por el cambio en la concentración del tensoactivo y se seleccionó, para cada alternativa, la concentración necesaria para conservar los valores que estas variables tenían en el producto original. Finalmente, conociendo la concentración necesaria de tensoactivo, se calculó el aumento porcentual en el precio del producto en caso de usar cada alternativa obteniendo como resultado un aumento del 81% usando Bio-Soft N25-9 y del 32% usando Ecosurf SA-9 así que, debido a que ambas alternativas (usando la concentración calculada para cada una) conservaban casi por completo las propiedades iniciales del producto, se seleccionó Ecosurf SA-9 como el nuevo tensoactivo para el desengrasante.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, programa de Ingeniería Química,
Director: Mario Alvarez Cifuentes, Ingeniero Químico

ABSTRACT

TITLE: MEASUREMENT AND ANALYSIS OF SOME IMPORTANT VARIABLES IN THE SELECTION OF A SURFACTANT FOR A DEGREASER*

García Jiménez Christian David, Alvarez Mario **

Keywords: Nonylphenol Ethoxylate NP-10, Bio-Soft N25-9, Ecosurf SA-9

In this research, a surfactant was chosen between two alternatives (Bio-Soft N25-9 and Ecosurf SA-9) to substitute Nonylphenol Ethoxylate NP-10 in a formulation of a degreaser. So, product samples were made using each of the surfactants and some important properties such as density, pH, foaming power and wetting were evaluated in order to maintain the same values, if possible, before and after the substitution.

Initially, the variations in the initial properties of the product before making the replacement (using Nonylphenol Ethoxylate NP-10) were determined. After that, for both alternatives, the changes in these properties due to the substitution of the surfactant and the variation in its concentration were also evaluated in order to get the equations relating surfactant concentration and each measured variable.

Considering these results, it was determined for both alternatives that, in order to maintain the initial properties of the product, the surfactant concentration (Bio-Soft N25-9 and Ecosurf SA-9) should be lower. For this, the variables most affected by the change in the surfactant concentration were analyzed and, for each alternative, the concentration necessary to preserve the values that these variables had in the original product was selected. Finally, knowing the required surfactant concentration, the percentage increase in the price of the product in case of using each alternative was calculated which resulted in a increase of 81% using Bio-Soft N25-9 and 32% using Ecosurf SA-9 so, because both alternatives (using the concentration calculated for each one) almost completely preserved the initial properties of the product, Ecosurf SA-9 was selected as the new surfactant for the degreaser.

* Degree Project

** Physicochemical Faculty of Engineering, Chemical Engineering Program,
Principal: Mario Alvarez, Chemical Engineering

INTRODUCCION

La industria de los productos de limpieza siempre ha sido una de las más activas en el mundo debido a la utilización continua de este tipo de productos ya sea en el hogar o en la industria. Debido a esto, se han desarrollado un gran número de compuestos y materias primas (tensoactivos, ácidos, sales, etc.) ya sea para aumentar la capacidad de limpieza, desarrollar formulaciones de nuevos productos o conferir nuevas y mejores características a los ya existentes.

Sin embargo, algunas de las materias primas que se desarrollaron hace varios años y que son usadas actualmente por una gran parte de esta industria han resultado ser perjudiciales para el ambiente debido a que los residuos de estos productos de limpieza pueden permanecer por meses e incluso años en las fuentes hídricas como ríos, lagos y sumideros sin ser degradados lo cual contamina el agua y a todos los seres vivos que la consuman (Karsa and Porter, 1995).

Por esta razón ICONTEC, mediante las Normas Técnicas de Fabricación, ha comenzado a exigir a los tensoactivos un nivel de biodegradabilidad aceptable para permitir que el producto de limpieza fabricado con esta materia prima sea pueda obtener una certificación por parte de esta entidad.

Conaldes Ltda es una empresa santandereana que fabrica una amplia variedad de productos de limpieza y maneja la marca registrada Bon Fresh. Usando una nueva formulación, Conaldes desarrolló un desengrasante para todo tipo de superficies, el cual será llamado Desengrasante Bon Fresh en este informe, usando Nonilfenol Etoxilado como tensoactivo. Sin embargo, teniendo en cuenta las exigencias del ICONTEC, el Nonilfenol Etoxilado no cumple con los requerimientos de

biodegradabilidad necesarios para ser usado como tensoactivo en un producto de limpieza.

Uno de los proveedores de Conaldes, Disan Ltda, ofreció dos alternativas de tensoactivos biodegradables importados con el fin de modificar el Nonilfenol Etoxilado usado en el producto original.

Para realizar esta sustitución se realizaron pruebas al producto original y a las mezclas usando las alternativas de algunas de las propiedades importantes que determinan la calidad del producto como densidad, pH, poder espumógeno y poder humectante. Para tomar la decisión se analizaron los valores obtenidos para cada variable analizada teniendo en cuenta los criterios importantes para Conaldes en cuanto a la calidad y el precio del producto.

1. FUNDAMENTO TEÓRICO

Para desarrollar la sustitución del tensoactivo y las pruebas pertinentes al Desengrasante Bon Fresh, se debe tener conocimiento acerca de las propiedades de un tensoactivo así como de las alternativas y variables que se van a evaluar.

1.1. TENSOACTIVO

Los tensoactivos son compuestos usados en todo tipo de detergentes, desinfectantes, desengrasantes debido a su capacidad para atrapar las partículas de suciedad o mugre y facilitar su remoción de una superficie (Myers, 2006).

La cadena molecular de un tensoactivo está formada esencialmente por una parte hidrofílica y una lipofílica. La parte lipofílica es compatible químicamente con las grasas o aceites mientras que la parte hidrofílica es compatible con las moléculas de agua. De este modo, cuando un tensoactivo entra en contacto con una superficie forma conglomerados en los cuales su parte lipofílica atrapa las partículas de suciedad mientras que su parte hidrofílica se orienta hacia la parte exterior de la superficie, estos conglomerados se conocen como micelas (Schramm, 2000). Así el agua, al tocar esta superficie, se une a la parte hidrofílica lo cual facilita la remoción de las micelas y de las moléculas atrapadas dentro de ellas. Además, debido a su compatibilidad ya sea con moléculas polares (como aceites y grasas) o con moléculas no polares (como el agua), los tensoactivos siempre son solubles en al menos una fase de cualquier sistema líquido (Rosen, 2004).

Sin embargo, existen otras propiedades que puede brindarle un tensoactivo al producto en el cual es usado tales como poder espumógeno y poder humectante (Primo, 1996), de las cuales se habla más adelante en este informe.

1.2. NONILFENOL ETOXILADO NP-10

El Nonilfenol Etoxilado NP – 10 es el tensoactivo con el que originalmente se desarrolló la formulación del Desengrasante Bon Fresh y su proveedor directo es Disan Ltda. Algunas de sus propiedades se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Especificaciones Técnicas del Nonilfenol Etoxilado NP-10

Activos	100%
Solvente	Ninguno
Apariencia	Líquido incoloro
Pto de nube 1% sol. ac. ,°C	63
Ph 1%, sol. ac.	7,1
Viscosidad a 25°C, cP	237
Densidad a 20°C, g/ml	1.060
Precio / Kg (USD)	2,66

Fuente: Disan Ltda.

1.3. BIO – SOFT N25 – 9

Bio – Soft N25-9 es un tensoactivo biodegradable producido por la empresa Stepan en Estados Unidos. Este producto es importado por la empresa Disan Ltda la cual lo comercializa en Colombia. Algunas de sus propiedades principales se encuentran en la tabla 2.

Tabla 2. Especificaciones Técnicas del BIO – SOFT 25 – 9

Activos	100%
Solvente	Ninguno
Apariencia	Pasta color blanco opaco
Pto de nube 1% sol. ac. ,°C	73

Ph 1%, sol. ac.	5.5 - 6.5
Viscosidad a 38°C, cP	31
Densidad a 20°C, g/ml	0.955 - 0.965
Precio / Kg (USD)	7,41

Fuente: Disan Ltda

1.4. ECOSURF SA – 9

Ecosurf SA-9 es un tensoactivo biodegradable, a base de aceites de semillas y con un alto rendimiento en formulaciones. Es producido por la empresa Dow en Estados Unidos e importado a Colombia por Disan, la cual lo distribuye en Colombia. Algunas de las propiedades correspondientes a esta alternativa se encuentran en la tabla 3.

Tabla 3. Especificaciones Técnicas del ECOSURF SA – 9

Activos	100%
Solvente	Ninguno
Apariencia	Líquido incoloro
Pto de nube 1% sol. ac. ,°C	57
Ph 1%, sol. ac.	5.5 - 6.5
Viscosidad a 40°C, cP	30.2
Densidad a 20°C, g/ml	0.983
Precio / Kg (USD)	5,87

Fuente: Disan Ltda.

1.5. PODER HUMECTANTE

El poder humectante es la capacidad que tiene una sustancia para disminuir la tensión superficial del agua y al mismo tiempo disminuir la tensión interfacial entre el agua y otra superficie (Myers, 2006; Farn, 2006).

Esta propiedad es muy importante para un producto de limpieza ya que determina la capacidad que tiene el producto para mojar por completo una superficie de forma rápida y eficiente. Además, un alto poder humectante indica que se requiere una menor cantidad de producto para cubrir por completo una superficie lo cual implica un gasto menor que puede ser usado como ventaja económica.

La humectación de un producto depende considerablemente de la cantidad y la naturaleza del tensoactivo además de la superficie en la que se aplique.

1.6. PODER ESPUMÓGENO

El poder espumógeno es una medida de la propiedad que tienen algunas sustancias ya sean detergentes, desinfectantes, desengrasantes, etc. para producir espuma. Básicamente esto ocurre debido a la inmersión de partículas de aire dentro de una fase líquida (Exerowa and Kruglyakov, 1988).

Para cualquier producto de limpieza esta es una propiedad indeseable en cuanto a la calidad del producto debido a que, al momento de aplicarlo sobre una superficie, la formación de espuma implica que hay aire dentro de algunas zonas del producto así que la superficie en contacto con esas zonas no está debidamente humedecida lo cual disminuye la capacidad de limpieza para esos puntos. Sin embargo, es difícil disminuir la generación de espuma sin afectar negativamente la capacidad de limpieza por lo cual es recomendable que un producto de limpieza genere gran cantidad de espuma al momento de aplicarlo sobre una superficie pero que esta tienda a desaparecer después de algunos minutos de haber usado el producto para que sea fácilmente removible y así no se vea afectada la capacidad de limpieza.

La generación de espuma en un producto depende, entre otras propiedades, de la agitación durante el uso del producto y de la naturaleza y concentración del tensoactivo usado (Ibid., 1988).

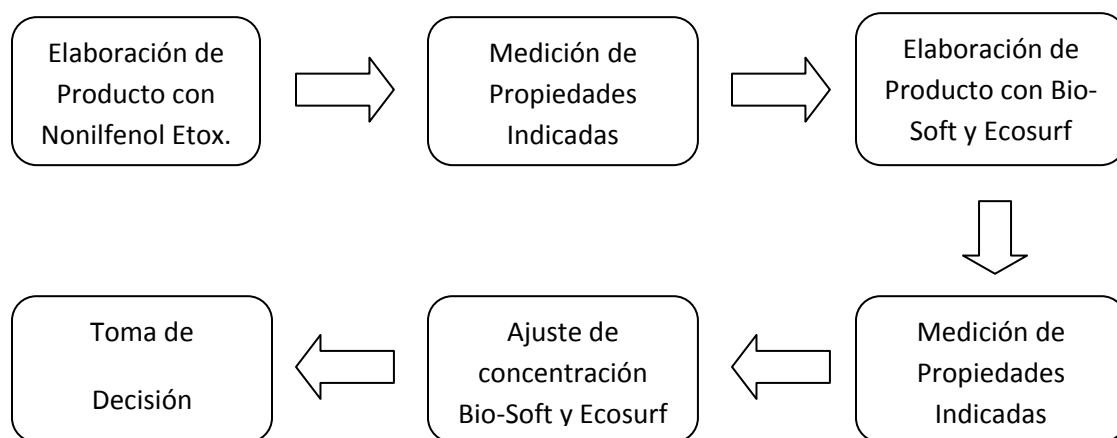
2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Para llevar a cabo las pruebas de calidad del producto final se realizó la producción a nivel de laboratorio de Desengrasante Bon Fresh usando cada uno de los tensoactivos (Nonilfenol Etoxilado NP-10, Bio – Soft N25-9 y Ecosurf SA-9)

2.1. METODOLOGÍA.

Para determinar la concentración necesaria de tensoactivo y la viabilidad económica de realizar la sustitución usando alguna de las alternativas biodegradables (Bio – Soft N25-9 o Ecosurf SA-9), se determinó un plan de trabajo como se muestra en la Figura 1.

Figura 1. Diagrama de proceso experimental



Fuente: El Autor

2.2. MEZCLA CON NONILFENOL ETOXILADO

Esta mezcla se realizó usando la concentración de tensoactivo necesaria para el producto según la formulación original usando el Nonilfenol Etoxilado. Para la presentación de este informe los demás componentes del Desengrasante Bon Fresh no serán mencionados y tampoco serán reveladas sus concentraciones (incluyendo la del Nonilfenol Etoxilado) debido a políticas de privacidad de Conaldes. Para cada una de las pruebas se realizaron 21 experimentos, con una muestra diferente para cada uno, a temperatura ambiente (25 °C) y se determinó el promedio, varianza y desviación estándar de los datos importantes de cada prueba con el fin de validar las pruebas realizadas (Díaz, 2009)

2.2.1. Prueba de Densidad y pH

Se pesó una probeta de 250 c.c. vacía y dentro de esta se pesaron cantidades desde 50 c.c. hasta 250 c.c. (aumentando 10 c.c. entre cada experimento) de muestra del Desengrasante Bon Fresh. Usando la siguiente ecuación se puede obtener la densidad de la mezcla:

$$(\text{Masa probeta con la mezcla(g)} - \text{Masa probeta vacía (g)}) / \text{Volumen de Mezcla medido (ml)} = \text{Densidad de la Mezcla(g/ml)}$$

Además, a cada muestra se le realizó un análisis de pH . Para asegurar una medición mas efectiva y confiable se usó un medidor digital de pH, se utilizó una solución calibradora para ajustar el equipo antes de cada experimento y se realizaron las mediciones en tres puntos diferentes del la mezcla.

2.2.2. Prueba de poder espumógeno

Se realizaron mediciones similares a las del Test de Ross – Miles (Holmberg *et al*, 2003; Hargreaves, 2003; Schramm, 2005). Para esta prueba se utilizaron muestras de 150 ml de Desengrasante Bon Fresh dentro de un vaso de

precipitado con capacidad de 250 ml. En cada experimento, se agitó la mezcla durante un minuto usando un agitador magnético y se midió la distancia adicional que se había generado hacia la parte superior del vaso de precipitado debido a la espuma. Las mediciones se realizaron en el instante que se detuvo la agitación y 5 minutos después de haberla detenido.

2.2.3. Prueba de poder humectante

Se utilizó una variación del método de Draves – Clarkson (Hargreaves, 2003). El montaje general de laboratorio para realizar esta prueba consta de una probeta llena con la solución a la que se le quiere medir el poder humectante, un hilo de una fibra textil atado por un lado a un cilindro de plomo y por el otro a un gancho de cobre unido a una madeja de hilo de la misma fibra. Para las pruebas realizadas en el laboratorio se utilizó una probeta de 250 ml llena de Desengrasante Bon Fresh, una madeja de lana color azul de 4,64 gramos, un hilo de la misma lana de 5 cm de longitud, un cilindro de plomo de 44 g y un gancho de cobre. Durante cada experimento se dejó caer en la probeta el cilindro atado a la madeja y se contabilizó el tiempo desde que el cilindro tocaba el fondo de la probeta hasta que la madeja se humectaba por completo, es decir, el momento en el que el hilo que unía la madeja con el cilindro se doblaba completamente debido al peso de la madeja. El tiempo se midió manualmente usando un cronómetro digital.

2.3. MEZCLAS CON BIO-SOFT Y ECOSURF

Se prepararon a nivel de laboratorio dos mezclas de producto usando las alternativas biodegradables como tensoactivos, una con Bio – Soft y otra con Ecosurf. Para cada cada mezcla se tomaron porcentajes de concentración desde un 5% de la requerida de Nonilfenol Etoxilado hasta un 100%, con un aumento de 5% en cada muestra, para un total de 20 muestras. Esto se hizo debido a que, según las recomendaciones de los proveedores de estas alternativas, Bio – Soft y

Ecosurf son productos mucho mas eficientes que el nonilfenol etoxilado por lo que se espera que sea requerida una menor cantidad de estos tensoactivos para mantener las propiedades del producto.

Se realizaron las mismas pruebas para cada una de las mezclas y se observó la variación que tenían las propiedades medidas al modificar la concentración comparando las dos alternativas para determinar las ventajas y desventajas de cada una. Además, se calculó un porcentaje de variación (debido únicamente al cambio del tensoactivo) para las variables importantes en cada prueba usando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Variación} = \left[\text{Valor de la variable en la mezcla con Nonilfenol} - \text{Valor de la variable en la mezcla la alternativa evaluada} \right] * 100 / \text{Valor de la variable en la mezcla con Nonilfenol}.$$

2.4. AJUSTE DE CONCENTRACIONES

Para determinar la concentración óptima en cada mezcla se siguieron los siguientes criterios de acuerdo a los resultados obtenidos en las pruebas realizadas con el fin de conservar, en lo posible, las propiedades que el producto poseía en la formulación original. Se analizaron las variables medidas y se escogieron como prioridad para la selección de la concentración óptima, de Bio – Soft y Ecosurf, las que tuvieron mayor porcentaje de variación respecto a los valores obtenidos en cada prueba usando Nonilfenol Etoxilado. Para cada una de las variables seleccionadas se determinó el porcentaje de concentración necesaria respectivo para conservar el valor que se determinó de dicha variable usando la formulación original y se promediaron estos valores para determinar el porcentaje de concentración óptimo para cada alternativa.

Con estos valores se calculó el aumento del precio usando cada una de las alternativas de acuerdo a la siguiente fórmula

$$\% \text{ Aumento del precio del producto / Kg (USD)} = \frac{|\text{Precio del Nonilfenol (USD)} - (\% \text{ Concentración requerida del tensoactivo evaluado} * \text{Precio del tensoactivo evaluado (USD)} / 100)|}{\text{Precio del Nonilfenol (USD)}}$$

2.5. TOMA DE DECISIÓN

Teniendo en cuenta las concentraciones requeridas para cada alternativa se calculó el porcentaje de aumento del precio al usar Bio – Soft o Ecosurf como tensoactivo y, dado que ambas alternativas generaban propiedades similares, se escogió como tensoactivo aquel que generara el menor aumento en el precio.

3. RESULTADOS Y ANALISIS

Se obtuvieron los resultados de las pruebas realizadas al producto usando cada uno de los tensoactivos y se determinó la concentración necesaria (respecto al Nonilfenol Etoxilado) de las alternativas biodegradables y la influencia que esta tiene en las demás variables medidas.

3.1. PROPIEDADES INICIALES DEL PRODUCTO

Se registraron los resultados de las pruebas realizadas a la mezcla preparada usando la formulación original (Nonilfenol Etoxilado como tensoactivo).

3.1.1. Densidad y pH

La tabla 4 muestra los valores de la densidad encontrados en cada uno de los experimentos y los datos correspondientes que se necesitaron para calcularlos además del valor de pH medido en cada experimento. El valor promedio de densidad es de 0,903 g/ml con una varianza en los datos de 2,1689E-05 y una desviación estándar de 2,4012E-5. Para el pH, el valor promedio fue de 7,401 con una varianza de 0,0011 y una desviación estándar de 1,49E-4.

Tabla 4. Densidad y pH del Desengrasante Bon Fresh usando Nonilfenol etoxilado

Experimento	Masa Probeta Vacía (g)	Masa probeta con mezcla (g)	Volumen medido (ml)	Densidad (g/ml)	pH
1		271,45	50	0,9120	7,43
2		280,35	60	0,9083	7,34
3		288,85	70	0,9000	7,35
4		298	80	0,9019	7,4
5		307,15	90	0,9033	7,46
6		316	100	0,9015	7,44
7		325,35	110	0,9045	7,44

8		334,05	120	0,9017	7,41
9		343,4	130	0,9042	7,43
<i>Continúa en la página 12</i>					
<i>Continuación tabla 4.</i>					
10		352,05	140	0,9014	7,4
11	225,85	361,25	150	0,9027	7,38
12		370,35	160	0,9031	7,36
13		379,15	170	0,9018	7,39
14		388,4	180	0,9031	7,39
15		397,45	190	0,9032	7,41
16		406,25	200	0,9020	7,44
17		415,55	210	0,9033	7,38
18		424,5	220	0,9030	7,35
19		433,55	230	0,9030	7,4
20		442,3	240	0,9019	7,42
21		451,55	250	0,9028	7,4

Fuente: El Autor

Teniendo en cuenta que, calculando los valores usando diferentes cantidades de mezcla, la diferencia entre los valores calculados de densidad es apenas de algunas centésimas y que la desviación estándar es muy cercana a cero se puede afirmar con seguridad que el valor promedio encontrado es el valor real de la densidad de la mezcla.

Lo mismo se puede decir de los valores de pH ya que, aunque la diferencia entre los datos medidos sea un poco más alta que en el caso de la densidad, su desviación estándar sigue siendo muy cercana a cero por lo cual se toma el valor promedio como el valor real de pH. También debe tenerse en cuenta que las tres mediciones hechas en distintos puntos para cada experimento registraron el mismo valor lo cual hace aún más confiables los valores obtenidos de pH.

3.1.2. Poder Espumógeno

En la tabla 5 se observan los resultados de la prueba de poder espumógeno usando 150 ml de mezcla y con agitación de 1 minuto. Para las mediciones de tiempo realizadas se tomó como referencia $t = 0$ para el momento en el que se

detuvo la agitación y a partir de ese momento se contabilizaron los 5 minutos para realizar la siguiente medición.

Tabla 5. Poder Espumógeno del Desengrasante Bon Fresh usando Nonilfenol Etoxilado

Experimento	Altura de la espuma t = 0 (mm)	Altura de la espuma t = 5 min (mm)	Porcentaje de reducción de espuma
1	12	6,5	45,83
2	11,5	6	47,83
3	11,5	7	39,13
4	12	6,5	45,83
5	12	7	41,67
6	12,5	6,5	48,00
7	12,5	6,5	48,00
8	11,5	6,5	43,48
9	11,5	7	39,13
10	12	6,5	45,83
11	12	6,5	45,83
12	12,5	6	52,00
13	12	6,5	45,83
14	12	7	41,67
15	11,5	7	39,13
16	12	6	50,00
17	12,5	6,5	48,00
18	12,5	6,5	48,00
19	11,5	6	47,83
20	12,5	6,5	48,00
21	12	7	41,67
Promedio	12	6,547619048	45,37
Varianza	0,15	0,122619048	13,73
Desviación	0,0125	0,018727273	0,3027

Fuente: El Autor

Se puede observar en la tabla 5 que en las columnas de altura de espuma (en cualquiera de los dos tiempos) solo existen 3 valores diferentes que se repiten en varias ocasiones para la misma columna de datos. Esto es debido a que, al medir manualmente la distancia y por ser el milímetro una unidad tan pequeña, existe una dificultad visual para registrar valores entre dos enteros. Teniendo en cuenta

esto, puede aceptarse el valor promedio de cada una de estas variables aunque sus desviaciones no sean tan bajas como las obtenidas en la prueba anterior.

3.1.3. Poder Humectante

En la tabla 6 se muestran los datos de la prueba de poder humectante realizadas al Desengrasante Bon Fresh. Los tiempos se tomaron manualmente con un cronómetro digital. El promedio para el tiempo de humectación fue 8,78 segundos con una varianza de 0,1207 y una desviación estándar de 0,01375.

Tabla 6. Poder Humectante del Desengrasante Bon Fresh usando Nonilfenol Etoxilado

Experimento	Tiempo de humectación (segundos)
1	8,53
2	8,22
3	8,14
4	9,11
5	8,26
6	9,08
7	8,89
8	9,05
9	9,07
10	9,21
11	9,01
12	8,67
13	8,45
14	8,23
15	8,77
16	9,03
17	8,98
18	9,15
19	9,07
20	8,81
21	8,71

Fuente: El Autor

En cada experimento solo se tuvo en cuenta el tiempo de humectación debido a que todos los demás parámetros (material y peso de la madeja, peso del cilindro, cantidad de fluido, etc.) siempre permanecieron constantes. La desviación estándar se puede deber a errores humanos al iniciar o detener el cronómetro. Sin embargo, la desviación es suficientemente baja para aceptar el valor promedio como el valor real para esta variable.

3.2. PROPIEDADES DEL PRODUCTO USANDO BIO-SOFT Y ECOSURF

Se realizaron las mezclas usando cada alternativa (Bio-Soft y Ecosurf) como tensoactivo y se determinó la influencia que tiene su concentración en cada una de las propiedades medidas. Para los experimentos se utilizaron las mismas cantidades y métodos que para las mezclas realizadas con Nonilfenol Etoxilado. Sin embargo, para estas mezclas solo se realizaron mediciones una vez para el mismo valor de concentración de tensoactivo debido a que se comprobó, con las pruebas realizadas anteriormente, que los métodos permiten obtener grupos de datos con una desviación estándar muy cercana a cero así que los valores obtenidos, en caso de repetir varias veces el mismo experimento, serían muy similares.

Los porcentajes de variación (con respecto a las mezclas con Nonilfenol Etoxilado) calculados para las variables medidas durante cada prueba representan el cambio que se da en la variable debido únicamente a la sustitución del tensoactivo.

3.2.1. Influencia de la concentración sobre la densidad y el pH

La tabla 7 muestra las mediciones de densidad y pH usando cada alternativa.

Tabla 7. Densidad y pH para muestras de Bio-Soft y Ecosurf

		Densidad		pH	
Experimento	% Concentración	Bio - Soft	Ecosurf	Bio - Soft	Ecosurf

1	5	0,8269	0,8444	7,8	7,76
2	10	0,8282	0,8466	7,77	7,73
3	15	0,8296	0,8481	7,75	7,72
4	20	0,8303	0,8499	7,74	7,71

Continúa en la página 16.

Continuación tabla 7.

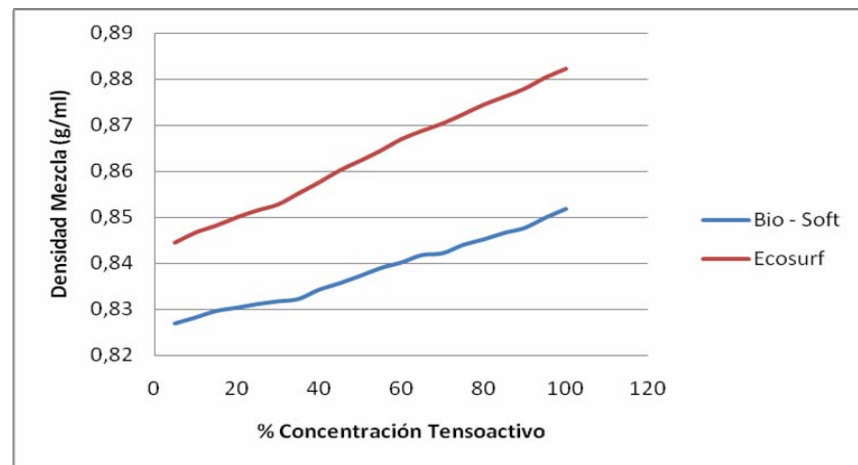
5	25	0,8311	0,8514	7,73	7,68
6	30	0,8317	0,8527	7,71	7,66
7	35	0,8322	0,8551	7,69	7,65
8	40	0,8342	0,8575	7,65	7,62
9	45	0,8356	0,8601	7,64	7,61
10	50	0,8372	0,8622	7,63	7,6
11	55	0,8389	0,8644	7,6	7,58
12	60	0,8401	0,8669	7,59	7,57
13	65	0,8417	0,8687	7,58	7,55
14	70	0,8421	0,8703	7,56	7,53
15	75	0,8439	0,8723	7,54	7,52
16	80	0,8451	0,8744	7,53	7,49
17	85	0,8465	0,8761	7,5	7,46
18	90	0,8476	0,8779	7,49	7,45
19	95	0,8498	0,8803	7,47	7,43
20	100	0,8517	0,8822	7,44	7,42
% Variación		5,68	2,30	0,54	0,27

Fuente: El Autor

Se puede observar que los porcentajes de variación de la densidad son mucho más altos comparados con los de los valores de pH. Esto se debe a que, teniendo en cuenta las especificaciones técnicas de cada tensoactivo, la diferencia entre la densidad del Nonilfenol y la de cada una de las alternativas es significativa (cerca del 10%) por lo cual se espera que estas afecten considerablemente la densidad del producto, mientras que los valores de pH tanto del Nonifenol Etoxilado como del Bio-Soft y el Ecosurf se encuentran en rangos similares (menos del 1% de diferencia) así que, para la misma concentración, se estiman valores similares de pH usando cualquiera de los tres tensoactivos.

Sin embargo también existe una variación en la densidad y el pH respecto a la concentración del tensoactivo. Esta variación puede verse mejor representada en las figuras 2 y 3 donde se comparan las dos alternativas y se obtienen las ecuaciones del modelo que se ajusta a estos cambios.

Figura 2. Variación de la densidad con respecto al porcentaje de concentración de tensoactivo



Fuente: El autor

Se puede observar que el valor de densidad para la mezcla realizada con Ecosurf siempre es mayor al obtenido usando Bio-Soft para el mismo valor de concentración. Esto era esperado debido a que el Ecosurf, el cual tiene una densidad mayor que el Bio-Soft, incrementa en una proporción mayor la densidad de la mezcla. El modelo de una línea recta se ajusta muy bien para ambos grupos de datos y las ecuaciones de cada uno son:

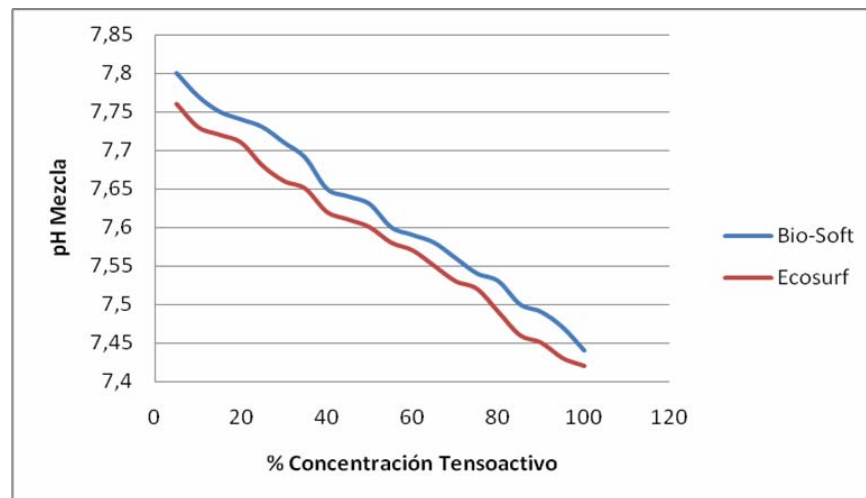
$$\text{Densidad Mezcla Bio-Soft (g/ml)} = 0,0003 * \% \text{Concentración} + 0,8248 \quad (R^2 = 0,991)$$

$$\text{Densidad Mezcla Ecosurf (g/ml)} = 0,0004 * \% \text{Concentración} + 0,8418 \quad (R^2 = 0,998)$$

El valor de R^2 , el cual muestra una medida de la precisión con la que se ajusta el modelo al grupo de datos que representa, es mayor a 0,99 lo cual permite concluir que las dos ecuaciones representan correctamente la densidad de cada mezcla

teniendo en cuenta que el valor máximo de este parámetro, para una ecuación perfectamente ajustada, es 1.

Figura 3. Variación del pH con respecto al porcentaje de concentración de tensoactivo



Fuente: El Autor

Según la Figura 3, el valor de pH para la mezcla realizada con Bio-Soft es muy similar (solo difiere por algunas centésimas) que el de la mezcla preparada con Ecosurf. Esta similitud en los valores se debe a que, según sus especificaciones técnicas, tanto el Bio-Soft como el Ecosurf tienen un valor de pH que oscila en el mismo rango (entre 5,5 y 6,5) y afectan en proporciones similares el pH de la mezcla. La ecuación de una línea recta se ajusta correctamente para estos datos teniendo en cuenta el valor de R^2 de cada ecuación.

$$\text{pH Mezcla con Bio-Soft} = -0,0036 * \% \text{Concentración} + 7,811 \quad (R^2 = 0,995)$$

$$\text{pH Mezcla con Ecosurf} = -0,0035 * \% \text{Concentración} + 7,7728 \quad (R^2 = 0,996)$$

Se puede observar en las ecuaciones obtenidas, tanto de densidad como de pH, que los valores de las pendientes son muy similares entre cada par de ecuaciones para la misma propiedad. Esto es debido a que, aunque se están usando tensoactivos distintos, los valores de densidad y pH de ambas alternativas son

muy similares por lo cual se espera que sus cambios de concentración afecten estas propiedades en la misma proporción.

3.2.2. Influencia de la concentración sobre el poder espumógeno

En la tabla 8 se muestran los resultados de la prueba realizada de poder espumógeno para ambas alternativas.

Tabla 8. Poder espumógeno para mezclas con Bio-Soft y Ecosurf

		Altura espuma t = 0 (mm)		Altura espuma t = 5 min (mm)		Porcentaje de reducción de espuma	
Experimento	%Concentracion	Bio - Soft	Ecosurf	Bio - Soft	Ecosurf	Bio - Soft	Ecosurf
1	5	3	2	1	1	66,67	50,00
2	10	3,5	2,5	1,5	1	57,14	60,00
3	15	4	3	2	1	50,00	66,67
4	20	4,5	3,5	2	1,5	55,56	57,14
5	25	5,5	4,5	2,5	1,5	54,55	66,67
6	30	6	5,5	2,5	1,5	58,33	72,73
7	35	6,5	6	3	1,5	53,85	75,00
8	40	7,5	6,5	3,5	1,5	53,33	76,92
9	45	8,5	8	4	1,5	52,94	81,25
10	50	9	9,5	4	2	55,56	78,95
11	55	9,5	10	4,5	2	52,63	80,00
12	60	10,5	11	4,5	2	57,14	81,82
13	65	11,5	11,5	4,5	2	60,87	82,61
14	70	13	13	5	2	61,54	84,62
15	75	13,5	13,5	5	2	62,96	85,19
16	80	14,5	15	5,5	2	62,07	86,67
17	85	16	16	5,5	2	65,63	87,50
18	90	17	17	5,5	2,5	67,65	85,29
19	95	18	17,5	6	2,5	66,67	85,71
20	100	19,5	18,5	6	2,5	69,23	86,49
% Variación		62,50	54,17	14,29	64,29	52,59	90,62

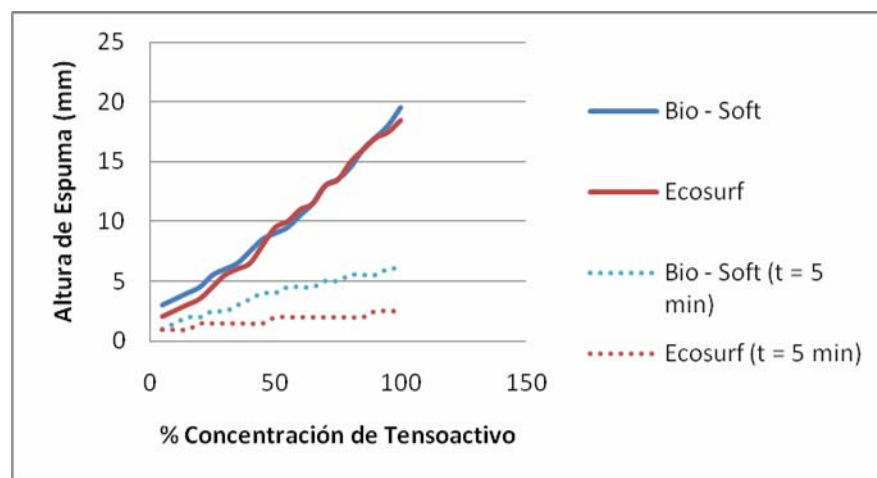
Fuente: El Autor

Aunque la altura de espuma inicial generada por la mezcla a partir de Bio-Soft sea mayor que la generada por la preparada con Ecosurf, hay una gran diferencia entre las dos para el valor medido en t = 5 min lo cual debe analizarse cuando se haga el ajuste de concentración para cada mezcla. Además, observando los

porcentajes de variación se puede decir que la naturaleza del tensoactivo genera grandes cambios en el poder espumógeno del Desengrasante Bon Fresh ya que casi todas las variables fueron afectadas en más de un 50 % lo cual quiere decir que esta propiedad tiene una alta dependencia del tipo de tensoactivo que se use.

También se determinaron las ecuaciones de las líneas rectas que se ajustan a los datos obtenidos de altura de espuma durante los experimentos.

Figura 4. Variación de la altura de espuma con respecto al porcentaje de concentración



Fuente: El Autor

Las ecuaciones de las líneas rectas que se ajustan grupo de datos son:

$$\text{Altura de Espuma usando Bio - Soft (mm)} = 0,1719 * \% \text{ Concentración Bio - Soft} + 1,0263 \quad (R^2 = 0,984)$$

$$\text{Altura de Espuma usando Ecosurf (mm)} = 0,1823 * \% \text{ Concentración Ecosurf} + 0,13136 \quad (R^2 = 0,993)$$

$$\text{Altura de Espuma usando Bio Soft en } t = 5 \text{ min (mm)} = 0,052 * \% \text{ Concentración Bio - Soft} + 1,1684 \quad (R^2 = 0,972)$$

$$\text{Altura de la Espuma usando Ecosurf en } t = 5 \text{ min (mm)} = 0,0151 * \% \text{ Concentración Ecosurf} + 0,8961 \quad (R^2 = 0,896)$$

Todas las ecuaciones obtenidas tienen valores de R^2 aceptables excepto la que representa la variación de la altura de la espuma usando Ecosurf en $t = 5$ min. Esto se debe a que el rango de valores para esta variable es muy pequeño y las capacidades para realizar mediciones decimales en milímetros son limitadas lo cual resulta en la repetición de cuatro valores diferentes para varios pares de datos por lo que una línea recta no se ajusta completamente, aunque sigue siendo una aproximación cercana, a los puntos que se están graficando.

3.2.3. Influencia de la concentración sobre el poder humectante

En la tabla 9 se muestran los resultados de la prueba de poder humectante para las mezclas preparadas usando cada una de las alternativas.

Tabla 9. Poder humectante para las mezclas con Bio – Soft y Ecosurf

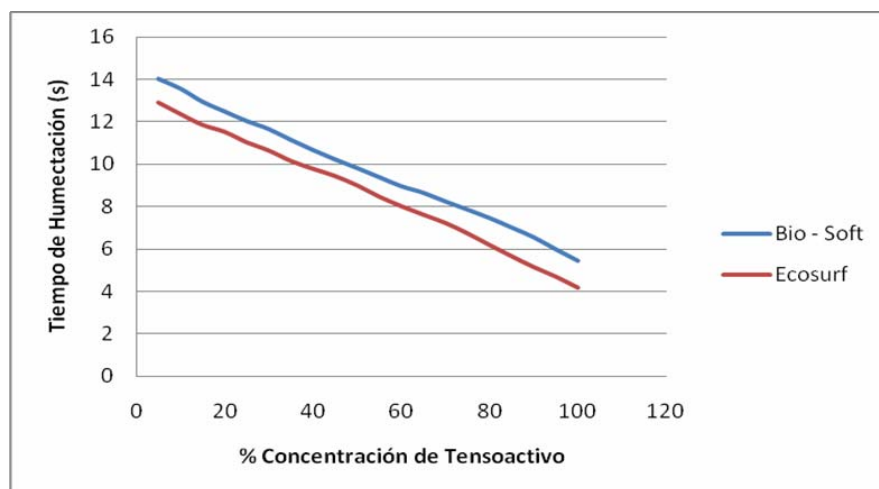
Experimento	% Concentración	Tiempo de Humectación (segundos)	
		Bio - Soft	Ecosurf
1	5	14,03	12,89
2	10	13,57	12,35
3	15	12,95	11,84
4	20	12,49	11,51
5	25	12,04	11,02
6	30	11,66	10,63
7	35	11,15	10,14
8	40	10,67	9,77
9	45	10,23	9,43
10	50	9,82	8,99
11	55	9,39	8,46
12	60	8,96	8,01
13	65	8,65	7,61
14	70	8,24	7,22
15	75	7,86	6,73
16	80	7,46	6,18
17	85	7,01	5,65
18	90	6,55	5,14
19	95	5,98	4,69
20	100	5,44	4,17
% Variación		38,04	52,51

Fuente: El Autor

En la tabla 9 se observa una alta variación del tiempo de humectación para ambas mezclas respecto al medido usando Nonilfenol Etoxilado (Tabla 6). Este era un efecto esperado debido a que una de las principales funciones del tensoactivo es reducir la tensión superficial y por ende el tiempo de humectación en una superficie por lo cual, al modificar el tipo de tensoactivo usado, también se ve afectado el poder humectante del producto final.

Además, se analizó la influencia que tiene la concentración en la variación del tiempo de humectación ajustando los datos a la ecuación de una línea recta.

Figura 5. Variación del tiempo de humectación con respecto al porcentaje de concentración de tensoactivo



Fuente: El Autor

Las ecuaciones de las líneas que se ajustan a cada grupo de datos son:

$$\text{Tiempo de Humectación Bio - Soft (segundos)} = - 0,087 * \% \text{ Concentración} + 14,277 \quad (R^2 = 0,998)$$

$$\text{Tiempo de Humectación Ecosurf (segundos)} = - 0,0898 * \% \text{ Concentración} + 13,334 \quad (R^2 = 0,998)$$

Se puede observar en las ecuaciones que los valores de las pendientes son casi iguales, lo que quiere decir que la variación que presentan con la concentración es casi la misma, aunque el valor de tiempo de humectación para la mezcla con Bio – Soft siempre es mayor, respecto al de la mezcla con Ecosurf, debido a que la constante en la ecuación (14,277) también es mayor para el Bio – Soft.

3.3. AJUSTE DE CONCENTRACIONES

Se determinaron los criterios de selección para cada variable estimando los valores que serían óptimos para cada una.

3.3.1. Criterio de selección por densidad

El valor de densidad ideal para cualquiera de las dos mezclas sería el menor que fuese posible ya que representa una ventaja económica para la empresa. Esto se debe a que, a medida que disminuye la densidad de un fluido se necesita menos peso del mismo para llenar la misma capacidad de volumen y esto representaría para la empresa un ahorro de producto al momento de envasarlo.

Sin embargo, según los resultados obtenidos en las pruebas realizadas, tanto para las mezclas de Bio – Soft como de Ecosurf la variación de los valores de densidad con la concentración no es tan alta como la de otras variables medidas. Por esta razón, no se tomará esta variable como prioridad ya que si se redujera la concentración al mínimo con el fin de optimizar el valor de densidad, otras propiedades del producto se verían afectadas considerablemente.

3.3.2. Criterio de selección por pH

El valor de pH para cualquier producto de limpieza debe ser lo más neutro posible, con valores entre 6.5 y 7.5, teniendo en cuenta que es una sustancia que

frecuentemente tiene contacto con la piel y un valor de pH fuera de este rango sería perjudicial para la salud.

Según los resultados para las mezclas analizadas los valores de pH se mantienen en este rango para cualquier concentración de producto y su variación respecto a la concentración es mínima, incluso menor que la de la densidad, por lo cual no se tomará como prioridad teniendo en cuenta las mismas razones que para la densidad.

3.3.3. Criterio de selección por poder espumógeno

Para esta propiedad el valor óptimo de concentración será aquel que genere gran cantidad de espuma inicial la cual desaparezca en su mayor parte después de algunos minutos para que sea fácilmente removible de la superficie. Sin embargo, se seleccionó el porcentaje de concentración de cada tensoactivo requerido para conservar el valor de altura de espuma inicial (en $t = 0$) obtenido usando Nonilfenol Etoxilado debido a que fue la variable que mostró mayor dependencia de la concentración de tensoactivo.

Para ambas alternativas, comparando los datos registrados en las tablas 5 y 8, el valor del porcentaje de concentración que conserva el poder espumógeno en general del producto es 65 %. Con este valor no solo se conserva la espuma inicial sino que esta tiende a disminuir en mayor proporción lo cual aumenta la calidad del producto.

3.3.4. Criterio de selección por poder humectante

El valor óptimo del tiempo de concentración para esta variable será aquel con el que se obtenga el tiempo de humectación más pequeño debido a que un tiempo corto de humectación representa una mayor capacidad del producto para disminuir la tensión superficial y facilitar la remoción de suciedad, grasa, etc. De acuerdo a

los valores obtenidos en la Tabla 9, el porcentaje de concentración óptima que permite mantener el tiempo de humectación que se obtuvo en la Tabla 6 es 65 % para la mezcla con Bio – Soft y 55 % para la mezcla con Ecosurf.

3.3.5. Concentración óptima de Bio – Soft y Ecosurf

Teniendo en cuenta que, según los requerimientos y preferencias de Conaldes Ltda, la altura de espuma y el tiempo de humectación son variables igualmente importantes para el producto, la concentración óptima para la mezcla se calculó promediando los valores óptimos determinados para cada una de las variables que se consideraron prioritarias para esta decisión, poder espumógeno y poder humectante en este caso. Los valores calculados representan el porcentaje de relación entre la cantidad de Bio – Soft y Ecosurf requerida en las mezclas respecto a la cantidad de Nonilfenol con la que se preparaba la mezcla original.

Porcentaje de Concentración de Bio – Soft = 65 %

Porcentaje de Concentración de Ecosurf = 60 %

Porcentaje de aumento en el precio del producto usando Bio – Soft = 81 %

Porcentaje de aumento en el precio del producto usando Ecosurf = 32 %

Para calcular este porcentaje no se tuvo en cuenta la variación de la densidad del producto causada por la sustitución del tensoactivo ya que la diferencia de densidades entre las dos alternativas evaluadas es de solo 4%, según las especificaciones técnicas, lo cual no es significativo comparándolo con los porcentajes de aumento del precio obtenidos y por lo tanto no afecta la decisión que vaya a tomar respecto a este valor.

3.4. SELECCIÓN DEL TENSOACTIVO

La alternativa escogida, teniendo en cuenta que las concentraciones escogidas para cada una de las alternativas conservan en proporciones similares las propiedades medidas del producto, es ECOSURF SA – 9 debido que su utilización como agente tensoactivo en la formulación de Desengrasante Bon Fresh genera un porcentaje de aumento de precio mucho menor al obtenido usando BIO – SOFT N25 – 9.

4. CONCLUSIONES

Al evaluar dos alternativas de tensoactivos biodegradables, se determinó que ECOSURF SA – 9 es la mejor opción para preparar el Desengrasante Bon Fresh debido a que permite disminuir en un 40% la cantidad de tensoactivo usada respecto al producto inicial además de generar un aumento de 32% en el precio del producto comparado con el 81% de aumento si se usara Bio-Soft N25 – 9.

La propiedad más afectada del Desengrasante Bon Fresh debido por el cambio de concentración del tensoactivo (para ambas alternativas) fue el poder espumógeno ya que, teniendo en cuenta que todas las ecuaciones obtenidas representan ecuaciones de líneas rectas y que la pendiente representa la relación entre las variables implicadas en este tipo de ecuaciones, las pendientes más altas se presentaron en las ecuaciones que describen el comportamiento de la altura inicial de espuma con un valor de 0,1719 usando Bio-Soft N25-9 y 0,1823 usando Ecosurf SA-9.

El nuevo producto tendrá una mejora en su poder espumógeno ya que, teniendo en cuenta la selección que se hizo de tensoactivo y concentración, el dato de altura de la espuma en $t = 5$ min pasó de ser 6,5 mm usando Nonilfenol Etoxilado NP-10 a 1,5 mm usando Ecosurf SA-9. Esto quiere decir que la espuma, aunque se genere la misma cantidad al usar el producto, tenderá a disminuir rápidamente un tiempo después de que el producto sea aplicado lo cual facilitará su remoción de la superficie en la que se use.

5. BIBLIOGRAFIA

- 1.** DIAZ, Abel. Diseño estadístico de experimentos, 2ª ed. Universidad de Antioquia, 2009.
- 2.** EXEROWA, Dotchi and KRUGLYAKOV, Pyotr. Foam and Foam Films Theory, Experiment, Application. Elsevier Science B.V (Netherlands), 1998.
- 3.** FARN, Richard. Chemistry and Technology of Surfactants. Blackwell Publishing (UK), 2006.
- 4.** FLICK, Ernest. Advanced Cleaning Products Formulations, vol. 5. Noyes Publications, New York, 1999.
- 5.** FLICK, Ernest. Industrial Surfactants, 2nd ed. Noyes Publications, New Jersey (USA), 1993.
- 6.** HARGREAVES, Tony. Chemical Formulation, An overview of surfactant – based preparations used in everyday life. The Royal Society of Chemistry, Cambridge (UK), 2003.
- 7.** HOLMBERG, J.; JONSSON, B.; KRONBERG B.; LINDMAN, B. Surfactants and Polymers in Aqueous Solution, 2nd ed. Jhon Wiley & Sons Ltd (England), 2003.
- 8.** KARSA, D.R. and PORTER, M.R., Biodegradability of Surfactants. Chapman & Hall (USA), 1995.
- 9.** MYERS, Drew. Surfactant Science and Technology. 3rd Edition. Jhon Wiley & Sons, Inc (USA), 2006.

- 10.** PRIMO Y., Eduardo. Química Orgánica Básica y Aplicada, De la molécula a la industria, Tomo I. Reverté, S.A., Barcelona, 1996.
- 11.** ROSEN, J. Milton. Surfactants and Interfacial Phenomena. 3rd Edition. Jhon Wiley & Sons, Inc (USA), 2004.
- 12.** SCHRAMM, Laurier. Emulsions, Foams, and Suspensions, Fundamentals and Applications. Wiley-VCH (Canada), 2005.
- 13.** SCHRAMM, Laurier. Surfactants, Fundamentals and Applications in the Petroleum Industry. Cambridge University Press (UK), 2000.