

## TRATAMIENTO DE OLORES PROVENIENTES DEL PROCESO DE SAPONIFICACION DE BORRAS DE SOYA

Ramiro Escalera, Ariel Baldivieso, Claudia Villegas y Marianela Cavero

*Centro de Investigaciones de Procesos Industriales - CIPI*

*Universidad Privada Boliviana*

rescalera@upb.edu

(Recibido el 21 de febrero 2005, aceptado para publicación el 7 de noviembre 2005)

### RESUMEN

Se presenta un estudio de laboratorio sobre el desarrollo de un sistema híbrido de tratamiento de olores provenientes de procesos de saponificación de borras de soya. El sistema consiste en un absorbedor de gases seguido por un tanque contactor entre aceites esenciales nebulizados y los gases remanentes del proceso de absorción. Se caracterizaron física y químicamente varias muestras de las borras de soya obtenidas de proveedores nacionales y los gases generados en la saponificación de esas borras. Se probó la efectividad de tres sistemas de tratamiento diseñados y construidos en laboratorio: Un sistema cerrado; un sistema de contacto entre esencias nebulizadas y los gases malolientes y el sistema híbrido mencionado. Los gases sin tratar tienen como principales componentes compuestos orgánicos volátiles (VOCs) soluble y no solubles, amoníaco y dióxido de carbono. Las borras con mayor contenido de proteína residual desprenden mayores cantidades de amoníaco libre. Se establecieron relaciones confiables entre las dosis de aceites esenciales nebulizados y la concentración de VOCs y el Umbral de Olor Mínimo Detectable (CUOMD). El producto de cabeza del aceite de eucalipto es la esencia más efectiva y económica para el tratamiento de los olores generados por los tres tipos de borra de soya probados. Se eliminó totalmente la percepción de olores desagradables utilizando el sistema híbrido que demostró ser el más eficiente. Los métodos y aparatos experimentales utilizados pueden servir para investigaciones similares en problemas de olor que actualmente tienen diversas industrias locales y nacionales.

**Palabras Claves:** Saponificación, Borras de Soya, Tratamiento de Olores con Nebulizadores, Aceites Esenciales, Absorción de Amoníaco.

### 1. INTRODUCCIÓN

Las borras de soya son residuos que provienen de los procesos de refinación de aceite comestible y contienen un gran porcentaje de materia grasa saponificable, entre el 30 y 60 %, 3 a 10% de otros compuestos orgánico (proteínas, gomas y otros) y un 30 a 50% de agua. Dispuestos directamente al medio ambiente, estos residuos son potencialmente contaminantes por su biodegradabilidad; sin embargo, debido a esta última propiedad, debería ser posible estilizarlos mediante procesos de compostaje o digestión anaerobia, para luego utilizarlos como acondicionadores de suelos o en combinación con otros fertilizantes. No obstante, si bien estos procesos solucionan el problema de la contaminación, generan igualmente productos que tienen limitado valor agregado y no son comercializables.

La industria jabonera nacional logró sustituir las grasas animales y vegetales con estos residuos, utilizándolos en sus procesos de saponificación con el objetivo de reducir los costos de producción y, al mismo tiempo, utilizar con buenos rendimientos técnicos los ácidos grasos que constituyen el mayor aporte de materia orgánica contaminante. Lamentablemente, la utilización de borras de soya lleva consigo la generación de olores desagradables en el proceso de saponificación, especialmente durante la adición de vapor de agua y soluciones concentradas de hidróxido de sodio (NaOH) en los reactores saponificantes. Los olores provienen del desprendimiento de compuestos orgánicos volátiles (VOC's) y amoníaco, los cuales fueron producidos durante la descomposición bioquímica de las proteínas, grasas y otros complejos orgánicos de la borra de soya. La descomposición biológica tiene lugar en el período comprendido entre la producción de borra de soya en las plantas aceiteras y la alimentación a los reactores de saponificación, en las condiciones de humedad de 40 a 60%. Para periodos de tiempo largos, existen mayores grados de descomposición y generación de olores; estos olores se atrapan en la matriz de la torta y se liberan debido a los altos valores de pH en la solución de saponificación y a la alta temperatura alcanzada cuando se inyecta vapor de agua y se introduce la solución de hidróxido de sodio.

Cuando estos olores desagradables se evacúan a la atmósfera sin un tratamiento mitigante, producen una seria contaminación ambiental en las áreas aledañas a las industrias jaboneras y cuyos efectos pueden ser los siguientes: (a) Malestar fisiológico en los vecinos de las industrias, especialmente en horas de reunión familiar; (b) Reducción del valor comercial de los bienes inmuebles colindantes, con el consiguiente perjuicio al desarrollo económico global del vecindario; (c) Contravención a las normas establecidas por la Ley del Medio Ambiente, lo cual origina preocupación y

recomendaciones perentorias de las autoridades prefectorales y municipales de los departamentos y municipios donde están instaladas las industrias.

Los procesos tecnológicos más utilizados para la remoción de olores basados en compuestos orgánicos son los siguientes: *Biofiltros* [8], [10]; *Filtros de carbón activado* [20]; *Lechos empacados absorbentes con reactivos oxidantes* [14] y *Neutralización en fase vapor* [14]. Todas estas tecnologías, plantean la necesidad de garantizar que los vapores generados se confinen y envíen al sistema de tratamiento.

La Tabla 1 permite apreciar las ventajas y desventajas de los sistemas de tratamiento de olores descritos y aplicados actualmente. Aparentemente, la tecnología más apropiada y adecuada a las condiciones y posibilidades económicas de las fábricas, sería la del tratamiento en fase vapor a base de nieblas. Con este método, se contaría con un tratamiento efectivo del olor, construcciones limitadas, bajos costos de operación y mantenimiento simple.

**TABLA 1 - ANÁLISIS COMPARATIVO DE TECNOLOGÍAS EXISTENTES PARA EL TRATAMIENTO DE OLORES**

PROCESO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<b>Biofiltros</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efectivos en una amplia variedad de compuestos orgánicos volátiles.</li> <li>• Compuestos de azufre y aminos (especialmente los generados en procesos de compostaje) y amoníaco [8].</li> <li>• Tecnología conocida y parámetros de diseño establecidos.</li> <li>• Materiales de construcción e insumos baratos, de fácil acceso y disponibilidad (compost, suelos, virutas de madera, grava clasificada) [20, 14].</li> <li>• El medio filtrante se renueva cada 3 a 5 años [14].</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere de un humidificador para el control estricto de la humedad y la separación de nieblas y un ventilador para el control de flujo de aire.</li> <li>• El medio filtrante debe mantenerse con una carga orgánica y una humedad adecuadas en forma permanente, aún en períodos de tiempo largos en los que no se producen jabones.</li> <li>• Existe la posibilidad de pérdida de eficiencia en la remoción de olores por agrietamiento (flujos preferenciales) del medio filtrante [14].</li> </ul>
<b>Carbón activado</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efectivo para el tratamiento de olores de compuestos orgánicos transportados por el aire [14].</li> <li>• Adsorben una gran espectro de compuestos orgánicos (que producen olores o no).</li> <li>• Tecnología conocida y parámetros de diseño establecidos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No es selectivo a los compuestos olorosos, adsorbiendo otros compuestos, lo que ocasiona saturación del carbón activado y su frecuente regeneración y reposición, incrementando los costos de operación [14].</li> <li>• Se conoce que el carbón activado no es muy efectivo para tratar olores de amoníaco, lo que en el presente caso puede ser un demérito relevante.</li> <li>• El costo del carbón activado es alto.</li> </ul>
<b>Absorbedor oxidante en sistemas de lecho empacado</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efectivo para el tratamiento de olores [1, 5].</li> <li>• Tecnología conocida en general, especialmente para absorción de compuestos amoniacales.</li> <li>• Como oxidante se utiliza el hipoclorito de sodio de costo bajo [14].</li> <li>• Los productos típicos son CO<sub>2</sub> y agua, ambientalmente aceptables [14].</li> <li>• Requerimiento de equipos fácilmente accesibles para ejecutar pruebas experimentales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se necesitan pruebas experimentales para determinar la solubilidad de los compuestos orgánicos no caracterizados en la fase líquida.</li> <li>• Los VOC's pueden combinarse con el cloro para producir compuestos organoclorados que son objeto de control por parte de organismos oficiales (estipulado en la Ley 1333 en el caso de Bolivia) [4, 12].</li> <li>• El costo de los empaques puede ser elevado; sin embargo, el uso de plásticos como el cloruro de polivinilo (PVC) puede ser más económico.</li> </ul>
<b>Tratamiento con soluciones de aceites esenciales nebulizados</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elimina la necesidad de transferir olores a la fase líquida tal como sucede en los biofiltros o absorbedores [18].</li> <li>• Las reacciones son instantáneas y el área superficial de contacto es grande, por consiguiente, los tiempos de residencia necesarios son cortos [14, 18].</li> <li>• Los componentes del sistema son menos complejos que los anteriores; sus costos de inversión, de mantenimiento y de operación son bajos. Son ideales para operaciones estacionales e intermitentes [14, 15].</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El costo de los aceites esenciales es alto.</li> <li>• Se necesitan pruebas de laboratorio para determinar si el proceso es efectivo para los compuestos orgánicos olorosos generados en la saponificación de la borra de soya y determinar las condiciones de operación óptimas para una amplia gama de concentraciones de olores.</li> </ul>

Con todos estos antecedentes, el presente estudio de escala de laboratorio describe el desarrollo de un sistema híbrido de tratamiento de olores de las emisiones aéreas generadas en el proceso de saponificación de borras de soya. Este sistema

utiliza el proceso de neutralización en fase vapor combinado con un proceso de absorción de gases y permite generar una alternativa de mitigación de los impactos ambientales negativos del proceso.

El abordaje planteado es nuevo en Bolivia, por cuanto no se tienen experiencias en el tratamiento y mitigación de los olores que actualmente se producen en diferentes procesos industriales (por ejemplo, curtido de cueros, mataderos y residuos sólidos de la industria alimenticia). Tampoco se han estudiado las posibilidades de mitigación de olores emanados en plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas y rellenos sanitarios existentes en el país. Los resultados que se deriven del presente estudio, podrían servir de base para encarar los problemas ambientales mencionados a través de estudios específicos posteriores.

El estudio permitió conocer las posibilidades de uso de aceites esenciales de especies vegetales endógenas y abre un área de investigación necesaria y novedosa para el desarrollo de conocimientos científicos y tecnologías propias, con el consiguiente valor agregado de aplicación a la solución de problemas de las industrias locales y nacionales.

## **2. EL PROCESO DE TRATAMIENTO DE OLORES CON EMULSIONES NEBULIZADAS DE ACEITES ESENCIALES**

En el proceso de neutralización en fase vapor o niebla, compuestos gaseosos neutralizantes de olores reaccionan o interfieren con las moléculas de olor para cambiar su estructura y convertirlas en inodoras. Como esta tecnología trabaja en fase nebulizada, se elimina la necesidad de transferir los olores a una fase líquida, tal como ocurre en un absorbedor o biofiltro. Las reacciones en niebla son rápidas, por consiguiente, el tiempo de residencia es corto [14].

Los compuestos neutralizadores varían de acuerdo con la aplicación. Muchos operadores prefieren aceites esenciales de plantas, no sólo por su efectividad sino porque son benignos al medio ambiente y no son peligrosos. Los aceites atomizados de ciertas plantas, puestos en contacto con las moléculas olorosas aceleran su descomposición orgánica natural para producir una oxidación catalítica sin olores [18]. Desafortunadamente, la teoría de la oxidación catalítica no está completamente desarrollada, ni tampoco está bien documentada en la literatura. Actualmente, el único documento extenso sobre el tema es el presentado por Hill [9], el cual fue tomado como la referencia estándar. Este trabajo presenta resultados de pruebas controladas de varios productos sobre varios gases olorosos. Adicionalmente, científicos de varias compañías industriales en varios mercados, analizaron y condujeron pruebas rigurosas en laboratorio y en campo para evaluar la neutralización, con resultados satisfactorios tanto en aspectos de seguridad y salud como en su efectividad [18].

Los olores pueden ser neutralizados efectiva y económicamente en ambientes abiertos y cerrados. Ejemplos de la aplicación de este método comprenden: rellenos sanitarios con sistemas periféricos, sistemas de limpieza de gases en torres de enfriamiento y sistemas aplicados sobre instalaciones de compostaje al aire libre. En un proyecto innovativo [18], se instaló a un tractor un sistema de atomización con una solución de aceites en aire, para controlar olores emanados en un relleno sanitario. El operador simplemente debía encender el dispositivo para alimentar la solución desde boquillas colocadas en una barra sobre el techo del tractor. El sistema de compresión del tractor se utilizaba en las boquillas.

Sistemas de neutralización también se probaron e instalaron en transporte de ganado hacia los mataderos de zonas residenciales, sistemas de compostaje de residuos sólidos municipales y residuos provenientes de procesadoras de alimentos, supermercados con capacidades hasta de 300 toneladas por día y edificios con un área total de 5 400 m<sup>2</sup> [18].

En el tratamiento con emulsiones acuosas de aceites esenciales nebulizados, se remueven los compuestos solubles en agua con gran efectividad debido a la gran área superficial de las partículas nebulizadas (< 10 µm) y al tiempo de contacto. La remoción de los compuestos moderadamente solubles se puede mejorar con la adición de agentes surfactantes como el jabón para romper la barrera aceite-agua, permitiendo una mejor solubilidad en la gota atomizada. Por otra parte, estos agentes reducen la tensión superficial del líquido, se obtiene gotas atomizadas de menor tamaño y, por consiguiente, se incrementa el área superficial total de contacto [16].

Los compuestos que son menos solubles se pueden todavía remover por otro mecanismo que es la adsorción sobre la superficie de la gota [16]. Este proceso se comprendió mejor como resultado de estudios en el campo de la química atmosférica. Según los estudios realizados por Capel [2], se determinó que la transferencia de masa de los VOC's a las pequeñas gotas de niebla fue mucho más grande de lo que se podría predecir a partir de la ley de Henry, y se explicó que parte de este incremento (denominado factor de enriquecimiento) se debía a la adsorción.

Pruebas de funcionamiento de sistemas de tratamiento con niebla demostraron que se obtiene eficacias de remoción entre 75 y 100% para varios compuestos orgánicos volátiles no solubles en agua (benceno, tolueno, formaldehído, fenol y otros no identificados) [16]. Según Rafson [16], el tiempo de contacto en sistema de niebla, para olores que no se disipan fácilmente, es de 11 segundos para una remoción de 90 % de eficacia. La remoción se logra mediante la introducción de finas gotas atomizadas de una dilución controlada de esencias dentro de la corriente olorosa a través de una cámara cilíndrica, preferentemente de un material inoxidable como la fibra de vidrio. Las corrientes de niebla y olores fluyen en paralelo y el aire limpio se evacúa a través de una chimenea hacia la atmósfera. El ventilador debe estar situado antes de la cámara de contacto para evitar su colapso mecánico debido a condiciones de máxima succión [2]. El sistema funciona básicamente en un solo paso, sin reciclado, y se requieren flujos mucho menores de solución líquida que los lechos empacados convencionales.

▪ **Mecanismos de modificación o neutralización de olores mediante emulsiones nebulizadas de aceites esenciales**

Los mecanismos a través de los cuales los aceites esenciales pueden ser efectivos en la modificación de los olores presentes en el aire son [15]:

- **Adsorción:** Las moléculas de vapores olorosos pueden añadirse o adjuntarse selectivamente a la molécula de aceite esencial. El par que se forma (molécula de olor + molécula de aceite esencial), no es percibido por el proceso olfativo en forma de componentes individuales.
- **Absorción:** Las moléculas de vapores olorosos se disuelven en las gotas del aceite esencial. Los olores son compuestos orgánicos volátiles en fase gaseosa. Cada molécula posee un compuesto químico específico el cual determina su solubilidad en otros materiales. Varios olores desagradables son solubles en ciertos tipos de aceites esenciales y el olfato no los reconoce luego como desagradables.
- **Combinación:** Muchos compuestos químicos tienen la habilidad de reaccionar unos con otros para formar compuestos totalmente diferentes. Estos nuevos compuestos no solamente tienen estructuras diferentes, sino también poseen distintas propiedades físicas y químicas, incluyendo el olor. Los compuestos químicos orgánicos pueden cambiar el olor dramáticamente cuando se combinan para formar nuevos compuestos. Por ejemplo, los alcoholes orgánicos y ácidos, que no son particularmente agradables, se pueden combinar para formar ésteres orgánicos (acetatos) que son mucho más agradables.

Estas reacciones pueden darse de manera más rápida en el estado de vapor nebulizado que en el estado líquido. En aplicaciones donde se añade calor, las reacciones pueden realizarse de manera mucho más rápida y provocar efectos con resultados mucho mejores. Muchos de los malos olores son del tipo que pueden reaccionar para formar compuestos de menor intensidad o ser agradables [15].

▪ **Características de los Aceites Esenciales**

Dentro de los productos que modifican o neutralizan olores se incluyen los aceites esenciales. Los aceites esenciales proveen una solución natural para el tratamiento de numerosos olores. Son compuestos orgánicos extremadamente complejos consistentes en centenares de componentes y trazas de compuestos.

Los aceites esenciales son líquidos extraídos de materiales de plantas por presión, extracción con solventes o destilación de vapor. Estos aceites esenciales orgánicos, que ocurren naturalmente, se extraen de semillas, hojas, corteza, flores, madera, bálsamo y plantas de fruta. Los aceites son luego re-destilados o rectificadas para quitar cualquier material indeseado.

La versatilidad de los aceites esenciales para el control de olores hizo de esta aplicación una técnica aceptada y efectiva. La industria química y farmacéutica desarrolló sustitutos sintéticos para los aceites naturales y aisló el componente principal a partir de compuestos aromáticos. Estos productos son mencionados como idénticos a los naturales pero se comportan de manera diferente a los aceites reales, pese a tener una fragancia similar, no poseen los compuestos traza complejos que tienen los aceites naturales.

En general, los aceites esenciales son compuestos químicos que tienen hidrógeno, carbono, y oxígeno como sus bloques de estructura. Éstos pueden subdividirse en dos grupos: hidrocarburos, que se componen casi exclusivamente por terpenos (monoterpenos, sesquiterpenos, y diterpenos), y los compuestos oxigenados, principalmente ésteres, aldehídos, cetonas, alcoholes, fenoles y óxidos. Los ácidos, lactonas, sulfuros y compuestos de nitrógeno están también presentes ocasionalmente. La Tabla 2 describe los principales grupos.

▪ **Trazas de compuestos**

Los aceites esenciales contienen muchos constituyentes. Los componentes principales son los terpenos y ésteres, pero también está presente un gran número compuestos traza. Estos compuestos traza son los que dan al aceite esencial su característica y mejoran su habilidad de combinarse con otros aceites.

En todos los aceites naturales esenciales, existen trazas de compuestos en concentraciones menores al 1%. Algunos compuestos traza existen en concentraciones que están por debajo de unas cuantas partes de millón.

Estos compuestos traza proveen matices extremadamente complejos que dan al aceite natural su particular cualidad de neutralización del olor.

Los efectos sinérgicos de los compuestos traza en una mezcla de aceites esenciales, mejoran el funcionamiento del producto neutralizador de olores. En realidad, un producto mezclado es más efectivo que los aceites individuales. La eficacia de un producto para modificar y neutralizar olores depende de una correcta formulación. El indiscriminado mezclado de sustitutos sintéticos hace que el producto sea inefectivo.

**TABLA 2 - TIPOS DE ACEITES ESENCIALES RELEVANTES EN EL TRATAMIENTO DE OLORES**

<b>Tipo de compuesto orgánico</b>	<b>Compuesto orgánico</b>	<b>Propiedades</b>
<i>Aldehidos</i>	Citral, citronelal, y neural. Otros aldehídos incluyen el benzaldehido, aldehido cinámico, aldehido cumínico y perilaldehido.	Son aldehidos importantes que se encuentran en aceites perfumados de limón como limón verbena, eucaliptol con perfume de limón y citronela. Los aldehidos en general tienen un efecto sedativo. Se ha observado que el citral tiene propiedades específicas antisépticas.
<i>Terpenos</i>	Limoneno, pineno, canfeno, cadineno, cariofileno, cedreno, dipenteno, felandreno, terpineno, sabineno, y mircenol.	Hidrocarburos. Limoneno es un antiviral, se encuentra en el 90% de los aceites cítricos. Pineno es un antiséptico, se halla en altas concentraciones en aceites de pino y turpentina.
<i>Oxidos</i>	Cineol (o eucaliptol), linalol, el ascaridol, el óxido de bisabolol y el óxido de bisabolona.	El cineol (o eucaliptol) tiene un efecto expectorante, es el principal constituyente del aceite de eucalipto. Se encuentra también en otros aceites en proporciones pequeñas, principalmente aquellos canforáceos naturales como el romero, hoja de laurel y el árbol de té.
<i>Esteres</i>	Acetato de linalilo, el acetato de geranio, acetato de bornilo, el acetato de eugenilo y el acetato de lavendulilo	Los esteroides son, probablemente, el grupo más extenso de compuestos existentes en los aceites esenciales. Ellos tienen características fungicidas y sedativas, tienen a menudo un aroma a fruta.
<i>Alcoholes</i>	Linalol encontrado en la lavanda. El citronelol (encontrado en lavanda), geraniol (encontrado en la palmarosa), borneol, metol, nerol, terpineol, farnesol, vetiverol, alcohol bencílico y cedrol.	Uno de los grupos de compuestos más útiles. Los alcoholes tienden a tener buenas propiedades antisépticas y antivirales con una calidad elevada y son generalmente no tóxicos.

**3. MATERIALES Y MÉTODOS**

Los materiales, equipos e insumos principales utilizados en el estudio se indican en la Tabla 3.

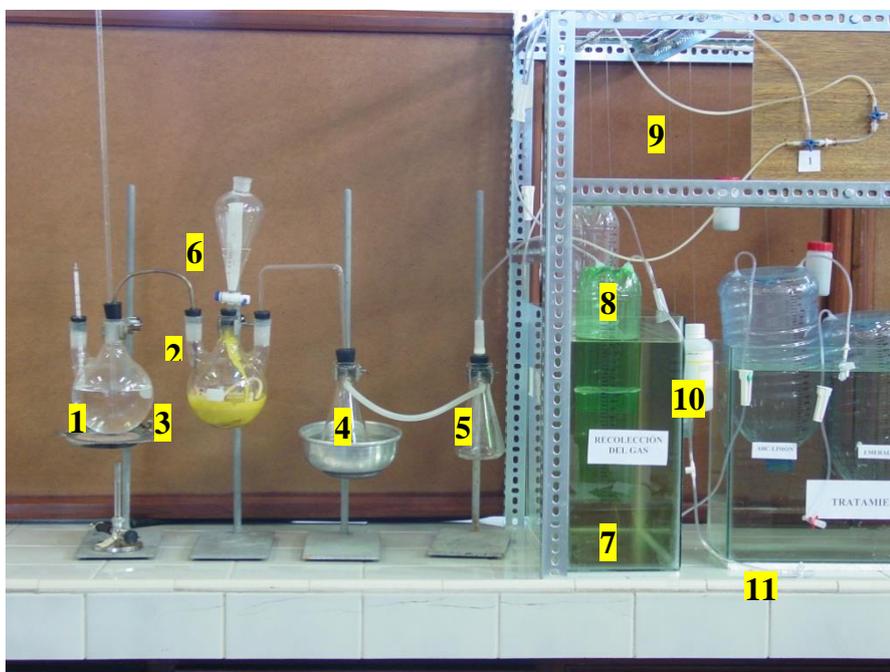
**TABLA 3 - MATERIALES, EQUIPOS E INSUMOS USADOS EN EL TRATAMIENTO DE OLORES**

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materia prima (Borras de soya)</li> <li>• Aceites esenciales (ABC- limón, OMO – limón, EMERAL)</li> <li>• Aceite esencial de eucalipto</li> <li>• Reactivos (NaOH, NaCl y otros destinados a análisis de caracterización de materias primas y olores)</li> <li>• Sistema de nebulización de emulsiones de esencias (escala laboratorio) con compresor de ¼ hp</li> <li>• Aparatos experimentales (Sistema cerrado, sistema de niebla y sistema híbrido)</li> <li>• Analizador de nitrógeno total Kjeldahl (análisis de amoníaco)</li> <li>• Espectrofotómetro UV-vis con todos sus accesorios</li> <li>• Cromatógrafo de gases con detector FID y accesorios</li> </ul>
--

A continuación se describen los tres aparatos experimentales construidos y los métodos de análisis utilizados.

### 3.1 Sistema Cerrado

El sistema se diseñó y construyó para simular el proceso de saponificación en las condiciones de operación (dosis de NaOH y sal, temperatura, tiempos de proceso) a fin de lograr la caracterización de los olores generados por las diferentes borras y determinar el tipo de esencia óptimo, sus dosis óptimas y determinar la reactividad entre el aceite esencial óptimo y los olores generados. La Figura 1 muestra la primera sección del aparato experimental.



- |  |                                   |
|--|-----------------------------------|
| 1. Generador de vapor                                  | 7. Contenedor de vidrio con agua  |
| 2. Balón de tres bocas                                 | 8. Acumulador de gas              |
| 3. Borra de Soya                                       | 9. Mangueras de conexión          |
| 4. 5. Trampas de agua                                  | 10. Contrapeso                    |
| 6. Embudo de alimentación de soluciones de NaOH y NaCl | 11. Salida del gas 10. Contrapeso |

**Figura 1** - Aparato experimental sistema cerrado 1ª sección.

Se determinó la concentración de dióxido de carbono por el método respirométrico de absorción en una solución de NaOH previamente validada. La concentración de  $\text{NH}_3$  en los olores se determinó mediante el método Kjeldahl para nitrógeno amoniacal libre. La Concentración de Umbral de Olor Mínimo Detectable (CUOMD) se determinó por diluciones en volúmenes controlados de aire limpio. Estos métodos se basaron en el *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* [19]. Los compuestos orgánicos volátiles de los olores generados y los olores tratados se analizaron por cromatografía gaseosa con columna capilar semi-polar y detector de ionización de llama (FID), usando He como gas portador.

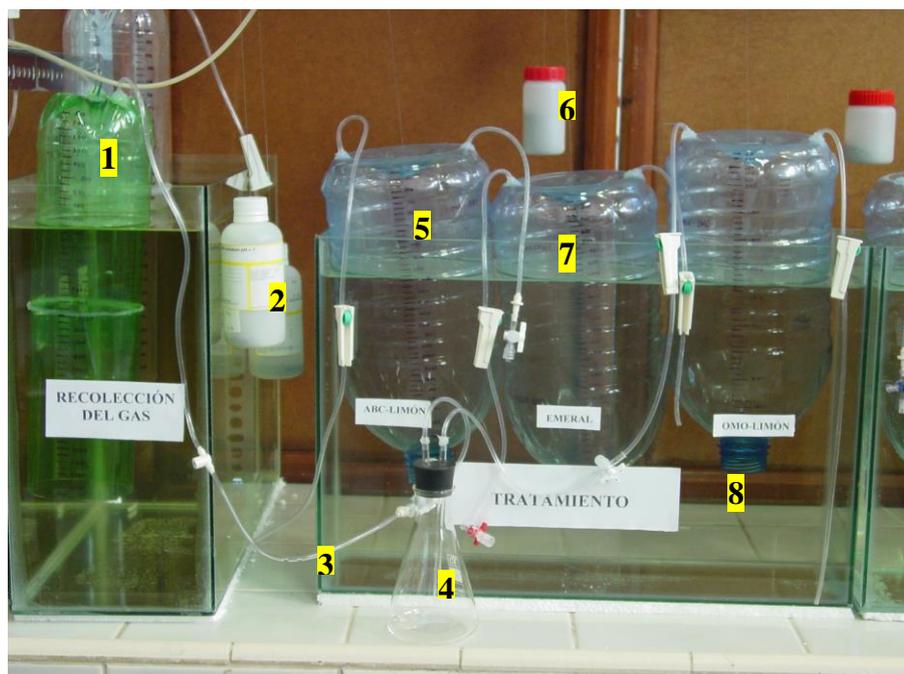
La segunda sección del aparato experimental, ver Figura 2, se utilizó para tratar el olor haciendo pasar el gas acumulado a través de un matraz, donde se encuentran los vapores de la esencia (estado gaseoso), hacia otro contenedor. Este sistema permite medir tiempos de contacto entre los olores y los vapores de esencia en fase gaseosa sin niebla y también la toma de muestras de olor tratado para cada prueba respectiva. Las dosis óptimas de esencia se determinaron por percepción sensorial de un panel entrenado de cuatro personas.

### 3.2 Sistema con Niebla

Las pruebas se realizan con un prototipo a pequeña escala que simula el sistema real de fabricación de jabón en un sistema abierto que emana olores sin atraparlos. Incluye un contactor provisto de un sistema de nebulización para el tratamiento con esencia. La Figura 3 esquematiza el sistema y sus partes.

El olor generado durante el proceso pasa a través del ducto de salida mediante un ventilador que permite la extracción del gas. El flujo del gas es regulado a través de una válvula de globo (a un promedio de 0,35 l/s) hacia el contactor, en el

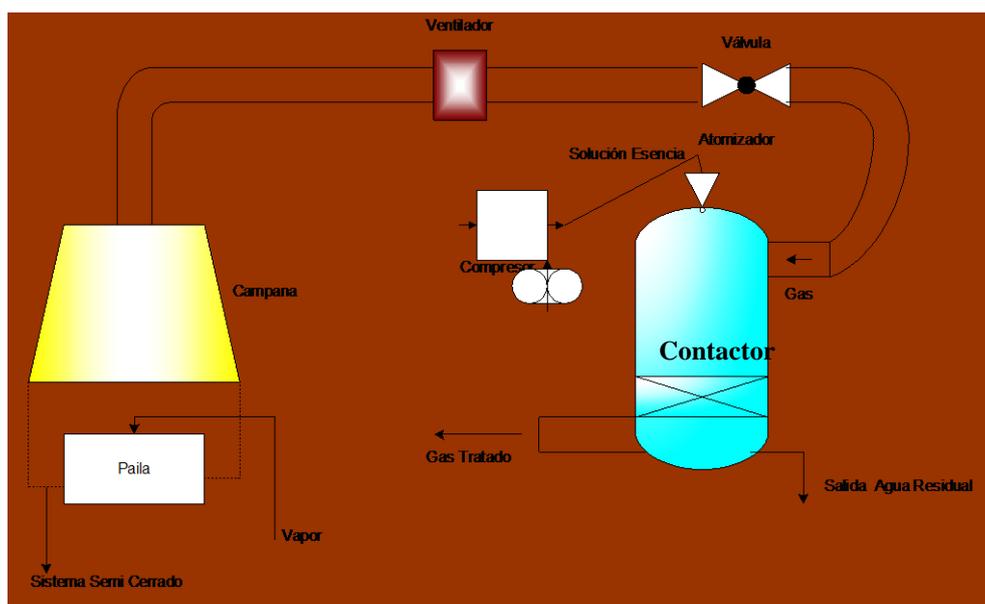
cual se mezcla con la esencia que es atomizada (a una presión promedio de 0,40 kg/cm<sup>2</sup> y con un tiempo de residencia de 20,4 s). El atomizador funciona gracias a un compresor de bomba de vacío.



- |                            |                              |                           |
|----------------------------|------------------------------|---------------------------|
| 1. Gas oloroso recolectado | 4. Matraz con esencia        | 7. Salida del gas tratado |
| 2. Contrapeso              | 5. Contenedor de gas tratado | 8. Contenedor de agua     |
| 3. Entrada del gas oloroso | 6. Contrapeso                |                           |

**Figura 2** - Aparato experimental sistema cerrado 2ª sección

El olor tratado sale por el ducto de salida y se tomó muestras cada 10 min durante el proceso de calentamiento y enfriamiento, y cada 5 min en el proceso de saponificación. La caracterización se realiza utilizando la escala descrita por Cha [3] (ver la Tabla 4), la cual determina la intensidad del olor, que para este caso se tiene como “intensidad de olor tratado ó intensidad de olor a esencia”. El residuo de esencia sale por el desagüe en la parte inferior del contactor y es analizado posteriormente por espectrofotómetro para determinar la recuperación del mismo.



**Figura 3** - Esquema del aparato experimental para tratamiento con nebulización de aceite esencial.

**TABLA 4 - ESCALA DE CHA UTILIZADA PARA DETERMINAR LA INTENSIDAD DE OLOR [3]**

Escala	Significado	Molestia de olor
0	Inodoro	No hay olores detectables
1	Muy Leve	Olor que no percibiría una persona promedio, pero que podría ser detectado por una persona con experiencia o un individuo muy sensible.
2	Leve	Olor que es tan débil que una persona promedio podría detectarlo si se le dice que ponga atención, pero que de otra manera no atraería su atención.
3	Fácilmente notable	Olor de moderada intensidad que podría ser detectado inmediatamente y podría considerarse negativa (posible malestar en áreas habitadas).
4	Fuerte	Olor que llama la atención y que puede convertir el aire limpio en un aire muy desagradable (probable malestar si se encuentra en áreas habitadas)
5	Muy fuerte	Olor de tal intensidad que el aire sería absolutamente no apropiado para respirar (término que se debe usar sólo en casos extremos)

### 3.3 Sistema Híbrido

Este sistema combina dos tratamientos, el primero de absorción de amoníaco en agua y el segundo de nebulización ó depuración con esencia. Se utilizan dos tipos de esencia, ABC Limón y Eucaliptol. El aparato experimental se esquematiza en la Figura 4. El equipo consta de una campana metálica (calamina galvanizada) cerrada que contiene una paila con capacidad de procesar 1 kg de borra. La paila se conecta mediante un ducto de PVC de 1 y 1/2" de diámetro a la parte inferior de una columna de absorción de 3" de PVC y 1,5 m de altura rellena con un empaque de anillos Raschig de polietileno de 1/2". La columna de absorción se conecta a un contactor de 1,682 litros de capacidad también por la parte inferior. El aspersor, activado mediante un compresor de 1 kgf/m<sup>2</sup> de capacidad, produce una niebla de esencia a la altura de la entrada de gas proveniente del absorbedor para fluir en corriente paralela con el gas hasta la salida.

#### ▪ Funcionamiento del Sistema y Condiciones de Operación

- a. El vapor generado en (1) pasa a través del serpentín e ingresa a la paila que se encuentra dentro de la campana (2) (el proceso de fabricación de jabón es el mismo que el descrito en el anterior sistema). El olor generado es extraído por el ventilador (3) y su flujo regulado por la válvula (4) (el flujo promedio es 0,214 l/s). El gas ingresa a la torre de absorción (6) donde se trata con agua de pozo que ingresa por la parte superior de la torre a través de una regadera (7) (el flujo promedio de agua es de 0,0017 l/s). El agua sale por el desagüe (5) en la parte inferior de la torre.
- b. El gas, luego de pasar por la torre, ingresa al contactor (8) donde es tratado con esencia. El compresor (10), a una presión promedio de 0,4 kg/cm<sup>2</sup>, atomiza la esencia (9) por la parte inferior del contactor. De esta manera, el gas se mezcla con la esencia y tiene un tiempo de residencia promedio de 8,96 s.
- c. El residuo de la esencia atomizada sale por el desagüe (11) en la parte inferior del contactor.
- d. Se toma muestras tanto del agua residual de la torre de absorción como de la esencia residual para la determinación posterior de las concentraciones de N-NH<sub>3</sub> y porcentaje de recuperación de esencia, respectivamente. También se toma muestra del jabón producido para la determinación de N-NH<sub>3</sub> en este proceso.

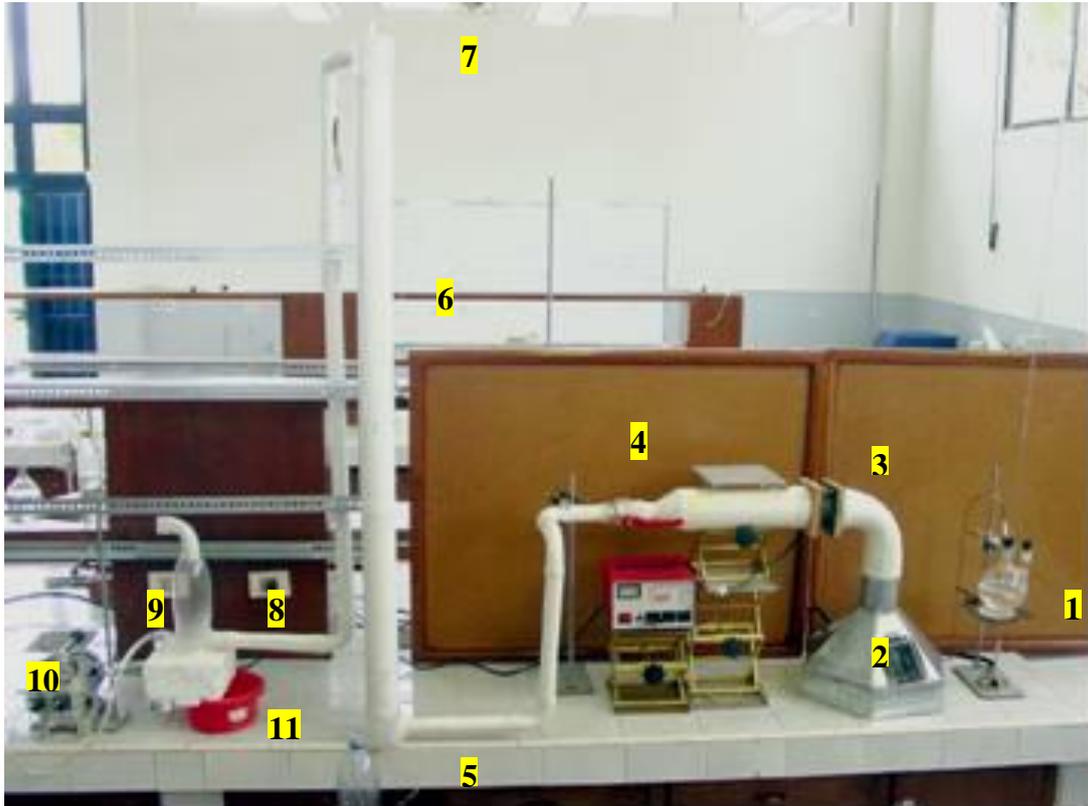
## 4. RESULTADOS

### 4.1 Caracterización de las borras de soya y recopilación de datos de operación en planta

Con el objeto de determinar las características químicas de las borras de soya que más se utilizan en el proceso de saponificación, se recabaron datos de la concentración de ácidos grasos de la planta de saponificación de una de las industrias jaboneras de la ciudad de Cochabamba. Se realizaron análisis de nitrógeno total Kjeldahl (NTK), proteína y nitrógeno amoniacal libre. La Tabla 5 ilustra las concentraciones de ácidos grasos promedio para las borras provenientes de tres proveedores diferentes (empresas A, B y C).

Se observa que la borra proveniente de la empresa A es la que más proteína y amoníaco libre tiene en relación con las otras borras (2 a 10 veces). La concentración de amoníaco libre determina el potencial de generación de olores amoniacales que sucede con la inyección de vapor de agua en las etapas de transporte desde los tanques cisterna y, en

mayor grado, en la etapa de adición de NaOH (saponificación propiamente dicha) del proceso de producción de jabones.



- |   |   |                                    |
|---|---|------------------------------------|
| 1. Generador de vapor                     | 5. Salida de agua                       | 9. Nebulizador de esencias         |
| 2. Campana de extracción de vapores       | 6. Torre de absorción                   | 10. Bomba presurizada              |
| 3. Ventilador                             | 7. Entrada de agua a torre de absorción | 11. Recipiente de esencia residual |
| 4. Válvula de control de flujo de vapores | 8. Contactor de nieblas                 |                                    |

**Figura 4 - Sistema Híbrido.**

**TABLA 5 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LAS BORRAS DE SOYA UTILIZADAS EN PLANTA**

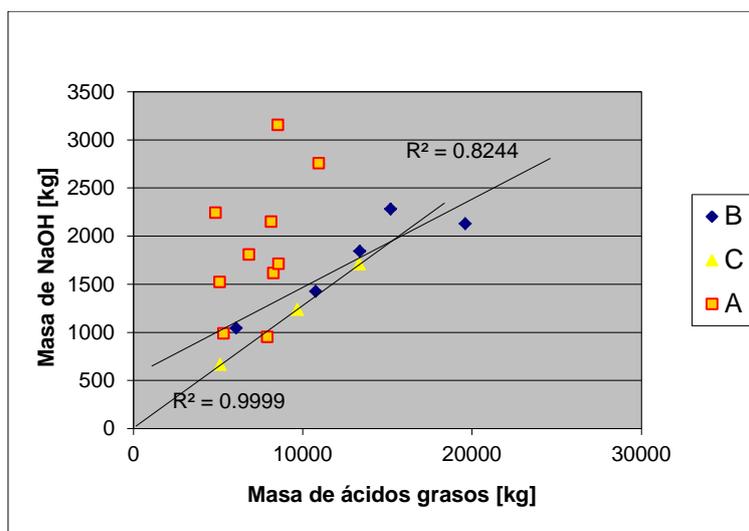
Tipo de borra	Ácidos grasos %	Proteína %	NTK mg/kg	NH3 libre mg/kg
A	26,04	1,66	2651,43	662,00
B1	69,5	0,22	359,08	114,68
B2	43,75	0,79	1259,24	538,68
C	46,2	0,15	236,29	101,24

Se observa que la borra más conveniente para producción de jabón es la proveniente de la empresa B por su alta concentración de ácidos grasos, seguida por la borra de la empresa C. La borra de A es la más pobre. Las tres borras tienen una variabilidad similar en cuanto a este parámetro.

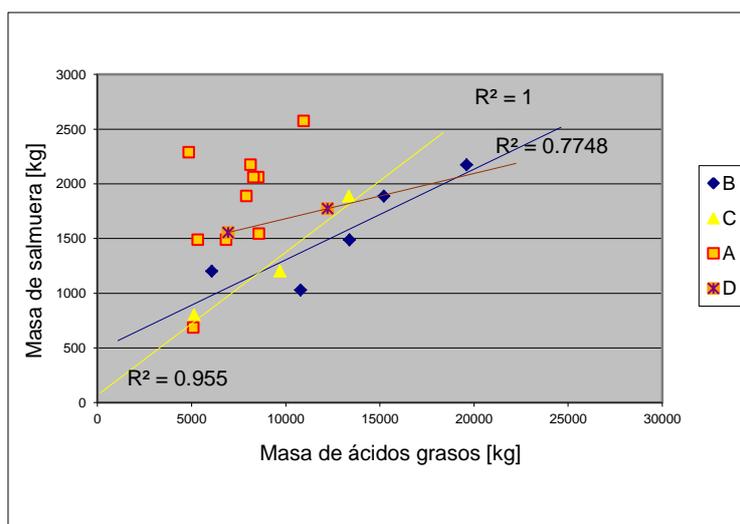
Por otra parte, para determinar las condiciones de operación a ser utilizadas en las pruebas a escala de laboratorio, se recabaron datos de operación contenidos en los registros de planta en el periodo comprendido entre fines de julio y fines de noviembre de 2003. Los datos más relevantes de esta información son: dosis de NaOH, dosis de sal muera y tiempos de las etapas de proceso.

Para las borras de B y C, el tiempo total de proceso desde el calentamiento hasta la adición de salmuera (corte) es de aproximadamente 2 horas. En contraste, según la información proporcionada por los operadores de planta, la borra de A tiene mucha variabilidad en el tiempo de proceso hasta tiempos de varias horas.

Las masas de NaOH y salmuera fueron correlacionadas con la masa de ácidos grasos contenida en las diferentes borras. Estas correlaciones se ilustran en las Figuras 5 y 6.



**Figura 5** - Relación entre la masa de NaOH y la masa de ácidos grasos para diferentes tipos de borra según datos de planta.



**Figura 6** - Relación entre la masa de salmuera y la masa de ácidos grasos para diferentes tipos de borra según datos de planta.

En los dos casos, todas las borras usadas, excepto la proveniente de A, muestran relaciones lineales con coeficientes de correlación mayores al 90%, estas relaciones podrían usarse para la operación de la planta con bastante confiabilidad. Por consiguiente, estas relaciones fueron utilizadas en las pruebas de laboratorio y planta piloto descritas a continuación. En cambio, se observa que la borra de A no muestra ningún tipo de correlación. Estos resultados confirman las observaciones de los operadores en sentido de considerar esta borra de soja como la más complicada y fastidiosa para su tratamiento.

Como conclusión, se puede afirmar que la borra de A presenta las mayores dificultades en su tratamiento por su baja concentración de ácidos grasos, su variabilidad en los tiempos de proceso, la variabilidad en las dosis de NaOH y salmuera y la potencialidad en la generación de olores amoniacales en mayores concentraciones que las otras borras. Siendo A la proveedora más frecuente por razones de poca disponibilidad de las otras borras, el tratamiento de los olores generados por esta borra adquiere más importancia.

#### 4.2 Resultados de pruebas de laboratorio en Sistema Cerrado

- **Caracterización de olores**

La Tabla 6 muestra los porcentajes promedio de CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> y VOC's-OTROS para los olores generados por las tres borras mencionadas.

**TABLA 6 - CONCENTRACIÓN DE CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> Y VOC'S EN LOS GASES COLECTADOS EN PRUEBAS DE LABORATORIO EJECUTADAS EN SISTEMA CERRADO**

TIPO DE BORRA	PORCENTAJE CO <sub>2</sub> [%]	CV [%]	PORCENTAJE NH <sub>3</sub> [%]	CV [%]	PORCENTAJE VOC'S y OTROS [%]
A	17,70	3,82%	5,42	49,63%	76,88
A	17,63	7,63%	26,79	0,67%	55,58
A	17,67	0,29%	36,97	1,53%	45,36
C	21,11	10,12%	18,48	8,08%	60,42
C	22,35	4,17%	6,71	5,16%	70,94
B	14,77	26,58%	1,34	21,21%	83,89
B	17,36	21,12%	4,67	27,05%	77,97
B	19,96	8,40%	23,44	7,84%	56,61

Los porcentajes de dióxido de carbono CO<sub>2</sub> generados por la borra de C son ligeramente más elevados que los de B y A en ese orden. La concentración de este compuesto tiene relación, en forma general, con el grado de descomposición biológica sufrida por las borras durante su acopio y transporte. Por consiguiente, se puede afirmar que la borra de C sufrió más descomposición que las otras borras durante esos procesos.

Considerando el porcentaje de amoníaco NH<sub>3</sub>, todas las borras presentan una gran variabilidad en la generación de este gas. Sin embargo, se observa que la borra procedente de A produce mayores concentraciones que las otras dos borras. Estos resultados son congruentes con la mayor concentración de proteínas que tiene la borra provista por A. La generación de amoníaco también es producto de la descomposición biológica de estas materias primas debido a la actividad enzimática que utiliza secuencialmente las proteínas para desprender los aminoácidos que luego se amonifican en dos etapas para desprender NH<sub>3</sub> y ácidos orgánicos [13].

Por otra parte, se realizaron análisis cromatográficos de los olores generados para los tres tipos de borra ya estudiados, comparándolos con patrones de cuatro compuestos orgánicos volátiles (VOC's): acetona, cloroformo, benceno y tetracloruro de carbono. Éstos constituyen algunos de los que aparecen mayoritariamente en los olores emanados de los procesos de compostaje y de estaciones de bombeo de aguas residuales hacia una planta de tratamiento por sistemas de aireación [2]. Estos compuestos son objeto de control ambiental en países como Estados Unidos, por cuanto presentan características de toxicidad apreciable [6].

Los resultados del análisis cromatográfico, ver Tabla 7, muestran la existencia de los mismos dos compuestos en los olores generados por todas las borras y que estos dos componentes detectados no corresponden a ninguno de los cuatro compuestos tóxicos mencionados. La concentración de estos compuestos (medida en función de las áreas de los picos cromatográficos) es mayor en los olores generados en la borra de la empresa A (7 veces más que las otras borras). Esta borra presenta además otros dos compuestos que tampoco corresponden a los patrones de comparación. Este resultado demuestra la necesidad de realizar más comparaciones con otros patrones controlados para estudiar el riesgo de toxicidad de los olores generados en este proceso. Por otra parte, se observa que las borras de B y C generan la misma concentración de VOC's.

**TABLA 7 - RESULTADOS DE ANÁLISIS CROMATOGRÁFICO DE OLORES PRODUCIDOS EN LA SAPONIFICACIÓN DE LAS TRES BORRAS DE SOYA MÁS UTILIZADAS**

TIPO DE BORRA	AREA DE PICO CROMATOGRAFICO				TOTAL
	PICO N° 1	PICO N° 2	PICO N° 3	PICO N° 4	
A	214856	182691	2040716	1032222	3470485
B	0	0	396376	115948	512324
C	0	0	216927	283231	500158

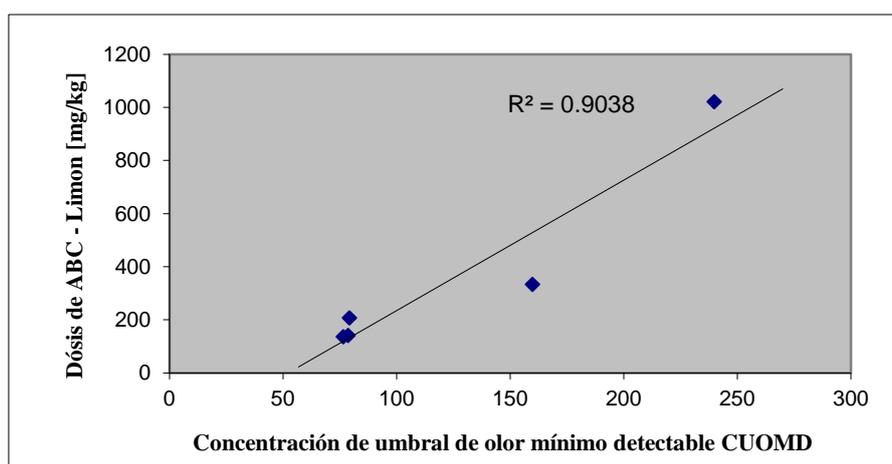
▪ **Pruebas de dosificación de esencias**

Luego de recolectar los gases en el contenedor descrito en la Figura 1, se procedió a la determinación de la CUOMD e, inmediatamente después, a la dosificación de tres tipos de esencias que son utilizadas en procesos de fabricación de detergentes: ABC-Limón, OMO-Limón y Emeral. Los experimentos se realizaron haciendo pasar los olores gaseosos a través de un recipiente de contacto con los compuestos volátiles de los aceites esenciales por un tiempo de 15 minutos. Los resultados de esta prueba se resumen en la Tabla 8 donde también se presentan datos de porcentajes de ácidos grasos y CUOMD de la borra. Este comportamiento de las esencias con la borra A, fue observado igualmente en el tratamiento de los olores generados por las otras borras.

En la Tabla 8 se presenta la relación entre el umbral de olor mínimo detectable (CUOMD) y las dosis de esencia del aceite ABC-Limón que resultó ser el más efectivo entre los aceites esenciales usados (Figura 7). Se observa una relación de proporcionalidad con una correlación mayor al 95% entre ambas variables.

**TABLA 8 - DOSIS ÓPTIMAS DE ACEITES ESENCIALES PARA EL TRATAMIENTO DE LA BORRA A**

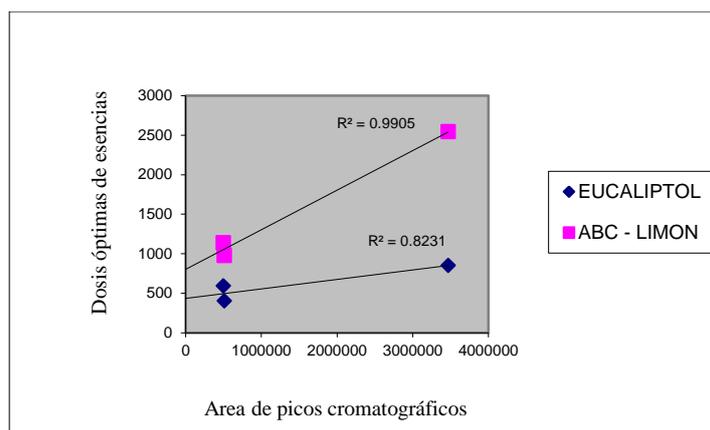
Ácido graso %	CUOMD	Dosis óptima		Tipo de esencia
		mg	mg/kg	
27,20	78,64	28,3	141,5	ABC-LIMÓN
27,20	78,64	44,7	223,5	EMERAL
27,20	78,64	37,6	188,0	OMO-LIMÓN



**Figura 7 - Relación entre CUOMD y dosis de esencias de ABC limón.**

Asimismo, se correlacionaron las concentraciones de compuestos orgánicos volátiles (VOC's) con las dosis óptimas de esencia del producto de cabeza de aceite de eucalipto y la esencia de ABC – limón. Se decidió ejecutar pruebas con aceite de eucalipto en razón de su precio más bajo (10 Bs/litro vs. 50 Bs/litro). Los resultados se muestran en la Figura 8, se observa que las regresiones lineales presentan correlaciones mayores al 90%. Se constata que el aceite de eucalipto es aún más efectivo que el ABC –limón en una proporción mayor al 50%.

El producto de cabeza del aceite de eucalipto tiene como componentes mayoritarios al  $\alpha$ -pineno (70-80%), eucaliptol (10 – 15%), limoneno (5-10%) y paracimeno (3-5%), según lo certifica el proveedor. En cambio, de acuerdo con el informe del análisis cromatográfico realizado por el mismo centro, el ABC – limón tiene un 3,4 % de  $\alpha$ -pineno, 42 % de limoneno, 0,84 % de cineol (eucaliptol) y un sin número de compuestos de menor concentración. Tomando en cuenta las concentraciones de  $\alpha$ -pineno y limoneno de ambas esencias, se puede considerar que el  $\alpha$ -pineno es más efectivo que el limoneno en el tratamiento de los olores generados en el proceso de saponificación de las borras de soja.



**Figura 8** - Relación entre la concentración de VOCs y las dosis óptimas de esencias.

Con el objeto de establecer evidencias sobre la ocurrencia de reacciones químicas durante el contacto entre los compuestos gaseosos del producto de cabeza del aceite de eucalipto y los compuestos orgánicos volátiles de los olores de las borras, se realizaron análisis cromatográficos de la mezcla después de 15 minutos de contacto. En la Tabla 9 se presenta la comparación de las áreas de los picos cromatográficos de los VOC's antes y después del contacto con la esencia. Se puede observar que las áreas totales varían ligeramente en todos los casos. La relación de áreas de los picos de olor tratado/olor sin tratar es aproximadamente la unidad (las diferencias pueden considerarse dentro de los márgenes del error experimental de las mediciones cromatográficas y el muestreo de los gases). Por otra parte, la proporción porcentual entre las áreas de los picos individuales también se mantiene a excepción del caso de la borra B. Estos datos sugieren que no ocurrió ninguna reacción química importante en la fase gaseosa y que los VOC's de los olores no tienen reactividades apreciables con los compuestos del producto de cabeza del aceite de eucalipto. Por lo tanto, se puede concluir que no ocurre el fenómeno de la neutralización en estas condiciones.

**TABLA 9 - COMPARACIÓN DE ÁREAS DE PICOS CROMATOGRÁFICOS ENTRE OLOR TRATADO Y OLOR SIN TRATAR**

TIPO DE BORRA	ÁREA DE PICO CROMATOGRÁFICO					P3/P4	OBSERVACIONES
	PICO 1	PICO 2	PICO 3	PICO 4	TOTAL		
A	214856	182691	2040716	1032222	3470485	1,98	Olor sin tratar
B	0	0	312918	116561	429479	2,68	
C	0	0	167430	243343	410773	0,69	
A	192068	159034	1961744	983231	3296077	2,00	Olor tratado
B	0	0	356985	104425	461410	3,42	
C	0	0	193154	252192	445346	0,77	
A	0,8939	0,8705	0,9613	0,9525	0,9497		Razón olor tratado/olor sin tratar
B			1,1408	0,8959	1,0743		
C			1,1536	1,0364	1,0842		

Por otra parte, si se estudia la variación entre los porcentajes de CO<sub>2</sub> en los olores tratados con ABC – limón y los olores no tratados (ver Tabla 10), se pueden establecer diferencias pequeñas, hecho que aporta mayor evidencia a la hipótesis de que no existen reacciones químicas importantes.

Todas estas pruebas experimentales generaron olores en fase gaseosa y el tratamiento se realizó por contacto también en la misma fase. Por consiguiente, no se aprovecharon las propiedades y características de la niebla producida en un nebulizador. A continuación se presenta los resultados del tratamiento realizado en fase vapor (niebla) generada por un nebulizador.

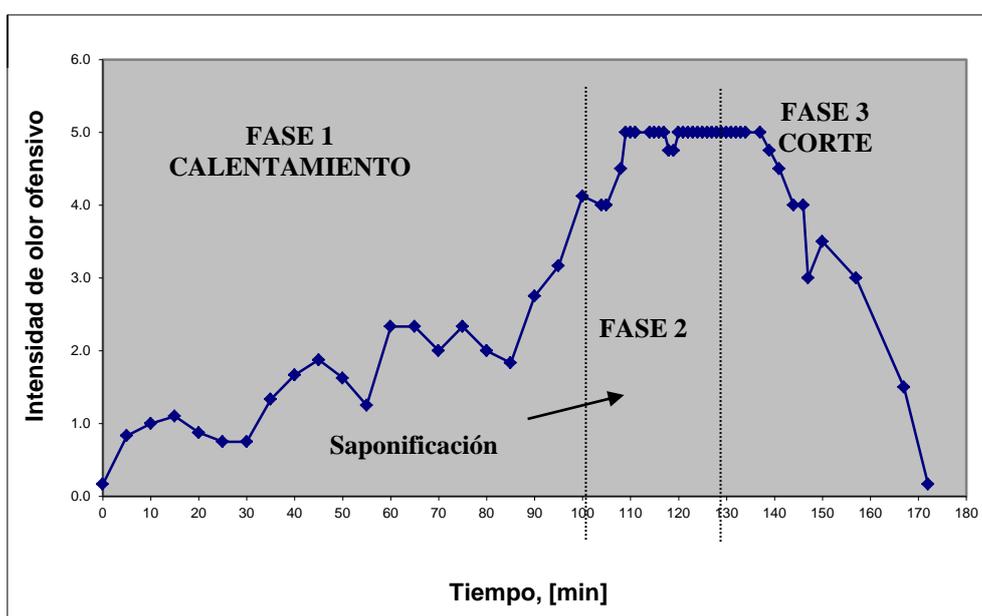
**TABLA 10 - COMPARACIÓN DE LOS PORCENTAJES DE CO<sub>2</sub> ENTRE LOS OLORES TRATADOS CON ESENCIA DE ABC – LIMÓN Y OLORES NO TRATADOS**

Tipo de borra	Porcentaje de CO <sub>2</sub> Gas No Tratado [%]	CV [%]	Porcentaje de CO <sub>2</sub> Gas Tratado [%]	CV [%]
A	19,71	14,92%	16,46	15,95%
C	24,82	45,88%	35,78	34,82%
B	16,82	-	15,96	20,99%

#### 4.3 Pruebas de tratamiento usando nebulizadores de esencias en contacto directo con los olores

- **Análisis sensorial de los olores producidos**

Para una óptima dosificación de la esencia seleccionada, fue necesario determinar en qué etapas del proceso de fabricación de jabones el olor presenta los picos más altos. El comportamiento del olor a través del tiempo, medido con la escala de valores que se presenta en la Tabla 4 [3], se presenta en la Figura 9.



**Figura 9 - Intensidad del olor a través del tiempo en proceso de saponificación sin tratamiento del olor generado por la borra C.**

Durante la etapa del calentamiento no se percibieron olores de tipo amoniacal, sino olores característicos de la borra de soya (VOC's) desde muy leves a leves y fácilmente perceptibles. La segunda etapa, que es la de la saponificación propiamente dicha, generó olores fuertemente amoniacales durante casi toda la etapa hasta la adición de sal que inicia la fase 3 de corte, durante la cual, la intensidad de los olores desciende abruptamente hasta llegar a niveles muy leves debido a la desaparición de los olores amoniacales.

- **Pruebas de dosificación de esencias en sistema abierto**

Una vez determinado el comportamiento del olor y con el fin de optimizar el tratamiento y utilizar eficientemente la esencia, se procedió a realizar las pruebas dividiendo la dosificación de emulsión-esencia en tres etapas diferenciadas: una primera etapa correspondiente al calentamiento con vapor de agua donde la dosis es pequeña. Una segunda etapa correspondiente a la saponificación propiamente dicha donde la dosis se incrementa significativamente para disminuir la percepción a olores amoniacales y, finalmente, una tercera etapa donde nuevamente se disminuye la dosis.

Luego de varias pruebas preliminares donde se estudiaron varios incrementos de la dosis determinada para las pruebas en Sistema Cerrado, se decidió probar el tratamiento incrementando la dosis de esencia en la fase de saponificación en 20 veces la dosis normal (se tomó el valor de 40 mg esencia/200g de borra, aproximadamente un promedio de las dosis estudiadas en el sistema cerrado para la borra de la empresa A, ver Tabla 8).

Se realizaron 2 pruebas, una con borra A y la otra con C. Las condiciones de operación de las pruebas mencionadas se presentan en la Tabla 11.

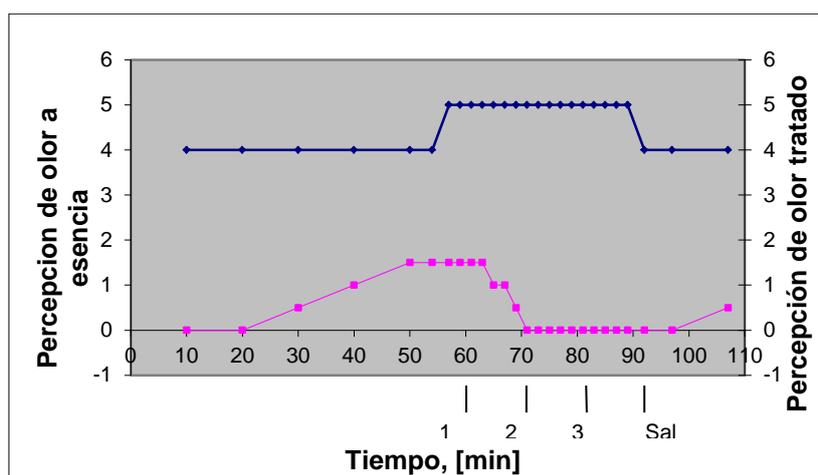
**TABLA 11 - CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LAS PRUEBAS CON EL SISTEMA DE NEBULIZACIÓN**

Tipo de borra	Peso de borra [kg]	Presión aspersion [kg/cm <sup>2</sup> ]	Flujo de mezcla [l / s]	Volumen del contactor, [l]	Tiempo de contacto, $\theta$ [s]	Dosis Esencia		
						F1 [mg/kg]	F2 [mg/kg]	F3 [mg/kg]
A	0,705	0,40	0,315	6,5	20,6	306	2873	315
C	0,705	0,40	0,314	6,5	20,7	299	2824	296

A medida que se llevaba a cabo el proceso de saponificación, se determinó la intensidad de olor a borra tratada y a esencia sobre la base de la calificación establecida en la escala que se presenta en la Tabla 4.

**(a) Tratamiento de olores de la borra de A**

En la Figura 10 se presenta la intensidad de ambos olores después del tratamiento. Se observa que los picos correspondientes a la etapa de saponificación propiamente dicha, Figura 9, ya no existen. Además, el olor percibido a borra (olor tratado) en las otras etapas no pasa de ser leve. Esto sugiere la posibilidad de obtener mejores resultados aumentando la dosis en la primera etapa. En el eje del tiempo se colocaron indicadores que permiten ubicar el momento en el que se agrega NaOH y sal.



**Figura 10 - Intensidad de olor del gas tratado prueba con borra A.**

**(b) Tratamiento de olores de la borra de C y B**

En la Figura 11 se presenta la intensidad de ambos olores después del tratamiento de la borra C. Prácticamente se obtiene el mismo comportamiento que con la borra A. Los resultados en el tratamiento de la borra B fueron muy similares.

Analizando los resultados de las pruebas anteriores y considerando los antecedentes recopilados de la literatura existente, se puede afirmar que es posible tratar los olores generados en el proceso de saponificación de los aceites contenidos en borras de soja mediante la aplicación de partículas de solución de aceites esenciales nebulizadas. El tiempo de retención óptimo encontrado fue de 20 s, que es mayor (aproximadamente 2 veces) a lo discutido por Rafson [16] para eficacias de remoción de 90%. Se debe hacer notar, sin embargo, que la dosis en la etapa de saponificación propiamente dicha se incrementa muy significativamente para tratar el amoníaco desprendido de manera rápida debido a la elevación del pH en la suspensión de la paila (segunda fase).

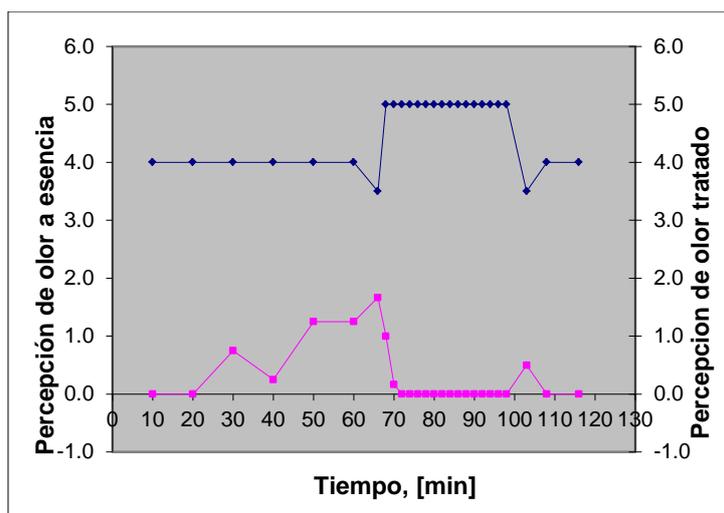


Figura 11 - Intensidad de olor del gas tratado con borra C.

Dado que el problema básico a resolver es la reducción de amoníaco en la segunda fase, se sugirió estudiar la aplicación de un sistema híbrido que combine la absorción de amoníaco en una primera etapa y el tratamiento con nebulización en una etapa final. Los resultados de las pruebas experimentales de este sistema híbrido se discuten en la siguiente sección.

#### 4.4 Pruebas de tratamiento usando el sistema híbrido absorción – nebulización de esencias

##### Pruebas de absorción

Se realizaron 14 corridas de tratamiento con 4 borras diferentes, considerando una velocidad de flujo de gas equivalente al flujo de gas existente en las plantas industriales. El flujo de agua de pozo fue establecido en varias veces el flujo mínimo requerido para el flujo de gas con el objeto de no ser un factor limitante en el proceso de absorción (1 a 3 ml/s). La dosis de esencia a la entrada del contactor se calculó sobre la base de las pruebas que se realizaron en el sistema cerrado, tomando en cuenta la existencia de los compuestos orgánicos volátiles no solubles en agua que se detectaron en los análisis cromatográficos, vale decir, se mantuvieron las mismas dosis de esencia que en el sistema cerrado. Así, para el tratamiento de la borra A, la Figura 12 ilustra el comportamiento de la percepción de olores a esencia de aceite liviano de eucalipto y olores tratados durante los tiempos de proceso, observándose que prevalecen únicamente los olores a esencia. El mismo comportamiento se observó en el tratamiento de las borras B y C con dosis menores de esencia. Los tratamientos con las esencias de ABC-limón en condiciones similares muestran comportamientos similares. Entonces, se puede concluir que el sistema híbrido es apropiado para el tratamiento completo de los olores generados en el proceso de saponificación de las borras de soya utilizadas por la Empresa.

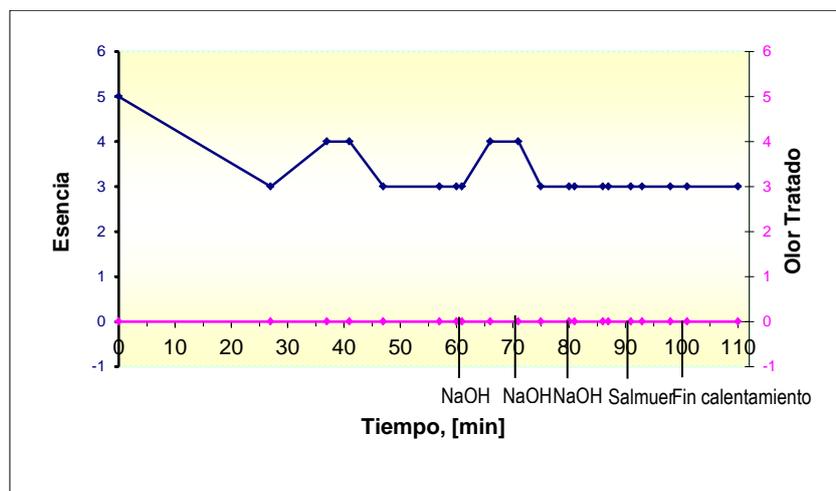
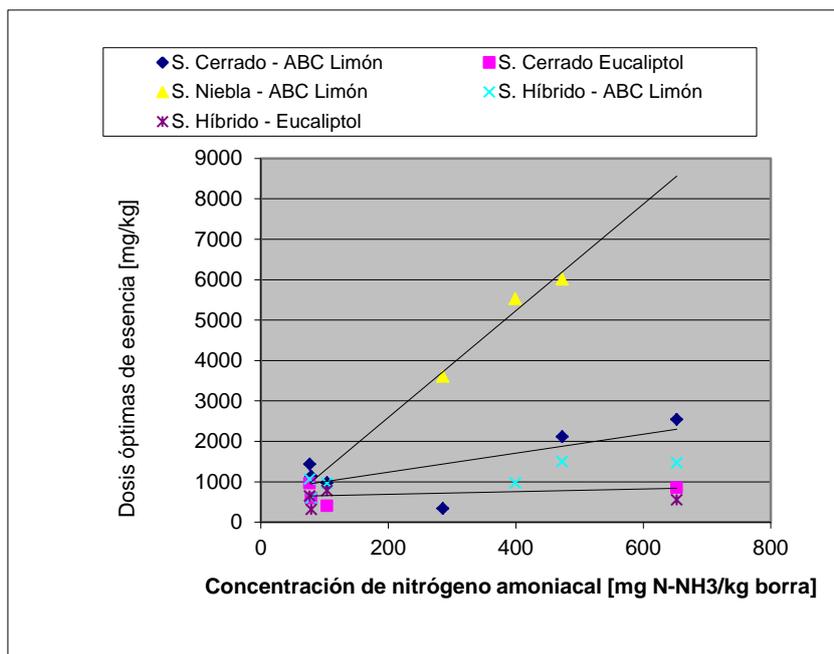


Figura 12 - Percepción de olor a esencia y olor tratado con aceite de eucalipto en el sistema híbrido para borra A.

La Tabla 12 muestra un cuadro comparativo de las dosis de esencias de ABC-limón y eucaliptol registradas en los tratamientos que utilizaron los diferentes sistemas. La Figura 13 presenta las correlaciones de dosis de esencia en mg/kg con la concentración de nitrógeno amoniacal desprendido de las borras de soja en el proceso de saponificación.



**Figura 13** - Relación entre la dosis de esencia de eucaliptol y ABC limón con la concentración de amoníaco libre generado en el proceso de saponificación de borras de soja.

Se puede observar que los órdenes de magnitud de las dosis de esencia en sistema cerrado y en el sistema híbrido son similares en el caso de ambas esencias, presentando muy poca dependencia de las concentraciones de nitrógeno amoniacal (muy poca pendiente). Al contrario, las dosis utilizadas en el sistema con niebla fueron significativamente mayores, demostrando una dependencia mayor de la concentración del amoníaco generado en el proceso (pendientes altas). Las razones de estas diferencias y similitudes son complejas; sin embargo, se puede considerar los siguientes aspectos:

- En el sistema cerrado, la fase gaseosa acumulada en el contenedor se encuentra permanentemente en contacto con la superficie del agua. Esta condición permite la transferencia de masa del amoníaco hacia el agua debido a su alta solubilidad a temperatura ambiente y a la presión dentro del contenedor, disminuyendo su concentración en el gas y por lo tanto la dosis de aceite esencial.
- En el sistema híbrido, la concentración de amoníaco se redujo considerablemente debido al tratamiento por absorción con agua y el olor residual corresponde a los compuestos orgánicos volátiles no solubles en agua que al final son enmascarados con la esencia. Esto se demuestra por la escasa dependencia existente entre las dosis de esencia y la concentración de amoníaco desprendido de las borras.
- En el sistema con niebla se utiliza una solución acuosa de esencia que simultáneamente absorbe el amoníaco desprendido y los VOC's solubles en agua y enmascara a los VOC's no solubles, necesiéndose mayores concentraciones de aceites esenciales para que el tratamiento sea efectivo. Esto se demuestra por la alta dependencia existente entre las dosis de esencia y la concentración de amoníaco desprendido de las borras.

Como conclusión se puede afirmar que los sistemas de tratamiento con niebla y el sistema híbrido son adecuados y eficaces para el tratamiento de los olores que se generan en el proceso de saponificación de los aceites contenidos en las borras de soja. Sin embargo, efectuando el análisis comparativo de los resultados, para el sistema de tratamiento con niebla, la dosis de esencia necesaria para la segunda fase del proceso de saponificación donde se generan los olores amoniacales se incrementa considerablemente. Esta situación podría hacer inviable la aplicación de esta tecnología, por cuanto significaría un incremento de los costos de operación hasta en un 5% debido al consumo de los aceites esenciales utilizados en las pruebas. Además, el tiempo de contacto relativamente grande (20 s) significaría que, en condiciones de flujo de vapores (olores más aire) significativamente grandes, se tendría que instalar contactores de gran volumen, con inversiones mayores y que requerirían disponibilidades grandes de espacio dentro de las fábricas.

**TABLA 12 - CUADRO COMPARATIVO DE LAS DOSIS ÓPTIMAS DE ESENCIAS DE PRODUCTO DE CABEZA DE ACEITE DE EUCALIPTO Y ABC-LIMÓN EN LOS DIFERENTES SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE OLORES UTILIZADOS**

Tipo de Borra	Sistema Cerrado		Sistema con Niebla	Sistema Híbrido		Sistema Híbrido	Sistema Cerrado
	Dosis ABC Limón [mg/kg]	Dosis Eucaliptol [mg/kg]	Dosis ABC Limón [mg/kg]	Dosis ABC Limón [mg/kg]	Dosis Eucaliptol [mg/kg]	Amoníaco Desprendido [mg N-NH <sub>3</sub> /kg borra]	
A	2113		6008	1500		364	473
A	2540	851		1469	551	445	653
C	334		3610			183	286
C	974	403		962	778	77	104
B			5524	969		256	399
B	656		1670			65	
B	1136	591		588	316	59	79

En cambio, el sistema híbrido permite la posibilidad de tiempos de contacto más cortos (8,5 s) entre los aceites esenciales y los olores, hecho que permitiría la instalación de un contactor más pequeño, más aún si se considera que las velocidades de flujo de vapores podrían reducirse a niveles adecuados aprovechando la modificación que debe realizarse en los sistema de ductos para lograr el encauzamiento de los vapores hacia el sistema de tratamiento. Por otra parte, los requerimientos de esencia disminuyen notablemente, especialmente para el caso del aceite de eucalipto. Por estas razones, se seleccionó el sistema híbrido como la alternativa más apropiada para el tratamiento de los olores.

## 5. CONCLUSIONES

- Se demostró que el sistema híbrido de tratamiento de olores consistente en un absorbedor de gases y una torre de contacto provisto de un nebulizador de esencias es eficiente y eficaz para lograr una eliminación completa de los olores desagradables provenientes del proceso de saponificación de borras de soya.
- El tratamiento con nebulización de esencias también es eficaz. Sin embargo, los tiempos de contacto son mayores que en el sistema híbrido (20 s vs. 8,5 s) y las dosis de esencias son aproximadamente 20 veces mayores a las dosis empleadas en el sistema híbrido.
- Los gases provenientes del proceso tienen como principales componentes a compuestos orgánicos volátiles solubles y no solubles, amoníaco y dióxido de carbono.
- Se establecieron relaciones confiables entre las dosis de emulsiones de aceites esenciales, la concentración de compuestos orgánicos volátiles y el umbral de olor mínimo detectable.
- El producto de cabeza de aceite de eucalipto es la esencia más efectiva y adecuada entre las esencias probadas.
- Existen dos compuestos orgánicos volátiles no solubles en agua (no identificados) que son comunes a todas las borras de soya probadas. Estos dos compuestos no son absorbidos por el agua en la torre de absorción, pero son adsorbidos por la niebla de esencias en la torre de contacto.
- Los métodos, equipos y aparatos experimentales usados en el estudio pueden servir para investigaciones similares en problemas de olor que actualmente tienen diversas industrias locales y nacionales.

## 6. REFERENCIAS

- [1] R. P. Bowker. *Chemical Scrubbing: Other Designs*, Odor and VOC Control Handbook, Ed. Mc Graw-Hill, New York, 1998.
- [2] P. Capel. mencionado por R. Rafson, *Adsorption: Fog*, Odor and VOC Control Handbook, Ed. Mc Graw-Hill, New York, 1998.
- [3] S. Cha. *Sensory Test methods*, Odor and VOC Control Handbook, Ed. Mc Graw-Hill, New York, 1998.

- [4] *Control and Corrosion Control in Sanitary Sewerage Systems and Treatment Plants*, U. S. Environmental Protection Agency, Detection Center for Environmental & Research Information, Office of Research and Development, Cincinnati, Ohio, 1985.
- [5] M. L. David and D. A. Cornwell. *Introduction to Environmental Engineering*, 2a. Ed., McGraw–Hill, New York, 1991, pp. 466-467.
- [6] L. Frost and L. Conroy. *Health Effects and Exposure Assesments of VOC's*, Odor and VOC Control Handbook, Ed. Mc Graw – Hill, New York, 1998.
- [7] C. Geankoplis. *Transport Processes and Unit Operations*, 3<sup>rd</sup> Ed., Prentice Hall, New Jersey, 1993.
- [8] R. T. Haug. *The Practical Handbook of Compost Engineering*, Lewis Publishing, Boca Raton, Fl., 1993.
- [9] D. Hill. *Exhaust Odour Neutralization*, 1995, mencionado por I. Howard and G. Vance, *Good News for Bad Smells– Odour Neutralization with Essential Oils*, Ecolo® Odor Control Systems, 1996. Available: <http://www.esemagcom/0596/badsmell.html>.
- [10] I. Howard and G. Vance. (1996). *Good News for Bad Smells – Odour Neutralization with Essential Oils*, Ecolo® Odor Control Systems. Available: <http://www.esemagcom/0596/badsmell.html>
- [11] C. McGinley. *Chemical Scrubbing: Packed Columns*, Odor and VOC Control Handbook, Ed. Mc Graw–Hill, New York, 1998.
- [12] Metcalf and E. Inc. *Ingeniería de Aguas Residuales Tratamiento, Vertido y Reutilización*, 3<sup>a</sup>. Ed, vol. I, Mc Graw - Hill, Madrid, 1995.
- [13] P. Nannipieri. *The Potential Use of Soil Enzymes as Indicators of Soil Productivity, Sustainability and Pollution*, Soil Biota: Management in sustainable farming systems, 1994, pp. 204.
- [14] N. J. Pinto et al. *Managing Milk Plant Odors*, Clearwaters, vol. 30, 2000.
- [15] T. W. Planker. *Masking and Odor Neutralization*, Odor and VOC Control Handbook, Ed. Mc Graw–Hill, New York, 1998.
- [16] R. Rafson, *Adsorption: Fog*, Odor and VOC Control Handbook, Ed. Mc Graw–Hill, New York, 1998.
- [17] R. Rafson, *Chemical Scrubbing: Mist Scrubbing*, Odor and VOC Control Handbook, Ed. Mc Graw–Hill, New York, 1998.
- [18] M. Shoda. “Methods for the biological Treatment of Exhaust Gases,” in *Biological Degradation of Wastes*, Ed. Martin, Elsevier Applied Science, London, 1991, pp. 1-30.
- [19] *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, American Public Health Association, American Waterworks Association and Water Environment Federation, U.S.A., 1999.
- [20] *Technical Data – Carbon Absorbency Guide*, Ficha técnica publicada por Nederman Inc., 2002, pp. 30-088 - 30-089.