



**FACULTAD DE FARMACIA
MAGISTER EN TOXICOLOGIA**

Determinación de la peligrosidad de los detergentes de ropa de venta en Chile para la población pediátrica

Estudiante: Silvana del Pilar Rojas Cifuentes

Directora: María Fernanda Cavieres

Abril 2024

Abreviaciones

- **AGAD:** Asociación Gremial de Aseo y Desinfección
- **CITUC:** Centro de Información Toxicológica de la Universidad Católica
- **CPID:** Consumer Product Information Database
- **LAS:** Sulfonato de alquilbenceno lineal
- **MOE:** Margen de exposición
- **NOAEL:** Indicador de los efectos tóxicos de una sustancia
- **NPDS:** National Poison Data System
- **SDBS:** Dodecilbensensulfonato de sodio
- **SERNAC:** Servicio Nacional del Consumidor
- **SLES:** Lauril eter sulfato de sodio

Agradecimientos

Agradezco a mi directora de tesis, la Dra. María Fernanda Cavieres por todo el apoyo, dedicación e interés en este trabajo.

A la asociación gremial AGAD por el aporte el aporte en información a este trabajo y por la confianza entregada.

A mis padres por el apoyo en cada momento de mi vida.

Resumen

En el presente trabajo de magister fue determinada la peligrosidad de los detergentes de ropa utilizados en Chile para la población pediátrica, a través del análisis de su composición y la toxicidad de los principales componentes presentes en su formulación, es decir, los tensoactivos. Por otra parte se determinaron las propiedades fisicoquímicas implicadas en la toxicidad de los detergentes líquidos, tales como pH y viscosidad. Por la falta de políticas públicas en transparentar la composición de los detergentes de venta en nuestro país, se utilizaron bases de datos extranjeras, por lo cual este trabajo es una aproximación a la realidad del mercado nacional.

La población pediátrica es el grupo etario de mayor susceptibilidad, y las estadísticas así lo demuestran.

Primeramente fueron determinados los principales tensoactivos, y posteriormente las dosis tóxicas de los tensoactivos de mayor predominancia en la formulaciones, analizando sus mecanismo de acción y vía de exposición.

Las cápsulas poseen una mayor concentración de tensoactivo en un menor volumen y es la presentación con mayor numero de intoxicaciones graves en los artículos analizados. Por lo tanto, se realizó una caracterización del riesgo para tensoactivo dodecilbenzensulfonato de sodio presente en cápsulas, utilizando el parámetro *MOE (Margin of Exposure)*.

Por otra parte, fue realizado un análisis de los detergentes de venta informal, mercado que ha ido en aumento en nuestro país, para lo cual se generó un convenio marco de colaboración con AGAD y se compraron formulaciones de detergentes informales en un sitio de internet.

Los resultados muestran a tres principales tensoactivos en los tres tipos de formulaciones presentes en el mercado Chileno, presentaciones en líquido, polvo y cápsulas. Estos tensoactivos corresponden al lauril éter sulfato de sodio, dodecilbenzensulfonato de sodio y etoxilatos de alcohol c12-15, así mismo se encontraron grandes cantidades de carbonato de sodio en presentaciones en polvo y cápsulas.

Los detergentes en cápsula son las presentaciones más peligrosas, ya que presentan un riesgo no controlado para los menores de un año de edad, considerando como factor de incerteza 100.

De las propiedades fisicoquímicas analizadas en detergentes del mercado formal, la viscosidad y el pH no son determinantes en las intoxicaciones.

Los detergentes del mercado informal son peligrosos por sus valores de pH, elevada viscosidad y elevada concentración de sal.

Abstract

In this master's work, the danger of laundry detergents used in Chile for the pediatric population was determined, through the analysis of their composition and the toxicity of the main components present in their formulation, that is, the surfactants. On the other hand, the physicochemical properties involved in the toxicity of liquid detergents were determined, such as pH and viscosity. Due to the lack of public policies to make transparent the composition of detergents sold in our country, foreign databases were used, which is why this work is an approximation to the reality of the national market.

The pediatric population is the age group with the highest susceptibility, and the statistics prove it.

First, the main surfactants were determined, and subsequently the toxic doses of the most predominant surfactants in the formulations, analyzing their mechanism of action and route of exposure.

The capsules have a higher concentration of surfactant in a smaller volume and are the presentation with the highest number of serious poisonings in the articles analyzed. Therefore, a risk characterization was carried out for sodium dodecylbenzenesulfonate surfactant present in capsules, using the MOE (Margin of Exposure) parameter.

On the other hand, an analysis of informally sold detergents was carried out, a market that has been increasing in our country, for which a framework collaboration agreement was generated with AGAD and formulations of informal detergents were purchased on an internet site.

The results show three main surfactants in the three types of formulations present in the Chilean market, presentations in liquid, powder and capsules. These surfactants correspond to sodium lauryl ether sulfate, sodium dodecylbenzenesulfonate and c12-15 alcohol ethoxylates, and large quantities of sodium carbonate were found in powder and capsule presentations.

Capsule detergents are the most dangerous presentations, since they present an uncontrolled risk for children under one year of age, considering the uncertainty factor to be 100.

Of the physicochemical properties analyzed in detergents on the formal market, viscosity and pH are not determining factors in poisoning.

Detergents on the informal market are dangerous due to their pH values, high viscosity and high salt concentration

Índice

1) Introducción	8
1.1) Estudios de intoxicaciones por detergentes.....	8
1.2) Composición de los detergentes de ropa.....	11
1.3) Manifestaciones de la intoxicación por detergentes de ropa	16
1.4) Normativas para el mercado de detergentes de ropa en Chile	18
2) Pregunta de investigación	20
3) Objetivos	21
3.1) General.....	21
3.2) Específicos.....	21
4) Métodos	22
4.1) Determinación de la composición de los detergentes de ropa.....	22
4.2) Descripción de la peligrosidad de las formulaciones de detergentes para la ropa.....	23
4.3) Identificación de las dosis tóxicas de tensoactivos y de los productos para la población pediátrica.....	23
4.4) Determinación de la peligrosidad de los detergentes informales	24
5) Resultados	25
5.1) Identificación de las formulaciones de detergentes	25
5.1.a) Detergentes líquidos	25
5.1.b) Detergentes en polvo.....	27
5.1.c) Detergentes en cápsulas.....	28
5.2) Descripción de la peligrosidad de los componentes de las formulaciones de detergentes ..	28
5.2.a) Lauril éter sulfato de sodio (SLES)	29
5.2.b) Dodecilbensulfonato de sodio.....	30
5.2.c) Etoxilatos de alcohol C12-15	31
5.2.d) Carbonato de sodio.....	32
5.2.e) Enzimas	32
5.3) Propiedades fisicoquímicas de los detergentes de ropa implicadas en su toxicidad.....	33
5.3.a) Viscosidad de los detergentes.....	33
5.3.b) Valores de pH en los detergentes líquidos.....	34
5.4) Evaluación de la peligrosidad de los detergentes del mercado informal.....	35
5.5) Información obtenida a través de convenio AGAD	37
6) Identificación de dosis tóxicas de detergentes para la población pediátrica.....	38

7) Caracterización del riesgo para tensoactivo dodecilbenzensulfonato de sodio	40
8) Discusión	41
8.1) Detergentes del mercado formal	41
8.1.a) Detergentes líquidos de bidón	41
8.1.b) Detergentes en cápsulas	43
8.1.c) Detergentes en polvo	45
8.1.d) Enzimas	45
8.2) Detergentes del mercado informal	46
9) Conclusión	48
9.1) Detergentes del mercado formal	48
9.2) Detergentes del mercado informal	48
10) Bibliografía	49
11) Anexo	55

1) Introducción

1.1) Estudios de intoxicaciones por detergentes

La intoxicación accidental en niños pequeños es una situación que ha generado preocupación a lo largo del tiempo, siendo el agente causal en la mayoría de los casos medicamentos o productos de limpieza.

Un estudio realizado por el Centro Toxicológico de la Pontificia Universidad Católica de Chile (CITUC) (*González et al., 2019*), determinó que los productos de aseo son una de las causas más comunes de intoxicaciones de niños en nuestro país, siendo la segunda causa de intoxicaciones en Chile después de los medicamentos. Los casos reportados son 3.415, de los cuales 238 casos son por detergentes de ropa. Específicamente 141 casos fueron por detergentes líquidos, mientras que 97 casos fueron causados por detergentes en polvo. Casi el total de las exposiciones ocurrieron en el hogar, y fue la ingestión la principal vía de exposición. La sintomatología correspondió a problemas gastrointestinales, seguido de problemas respiratorios, problemas oculares y dérmicos (figura 1).

Similares observaciones fueron publicadas en un estudio realizado en España (*De la Oliva Urieta et al. 2016*), en el cual se cuantificaron las exposiciones a detergentes para ropa entre los años 2008 y 2014, con un total de 7.317 casos, de los cuales el 11% se produjo por exposiciones a cápsulas, 36% a detergentes líquidos y un 10% a detergentes en polvo, siendo el restante no definido. La vía oral correspondió al 88% de los casos reportados, por otra parte, el grupo etario con mayor número de exposiciones fueron los niños (menores de 6 años), destacando el incremento de las exposiciones durante los años analizados. Las estadísticas de intoxicaciones pediátricas por detergentes para la ropa han aumentado considerablemente en el mundo (*Gummin et al., 2019*).

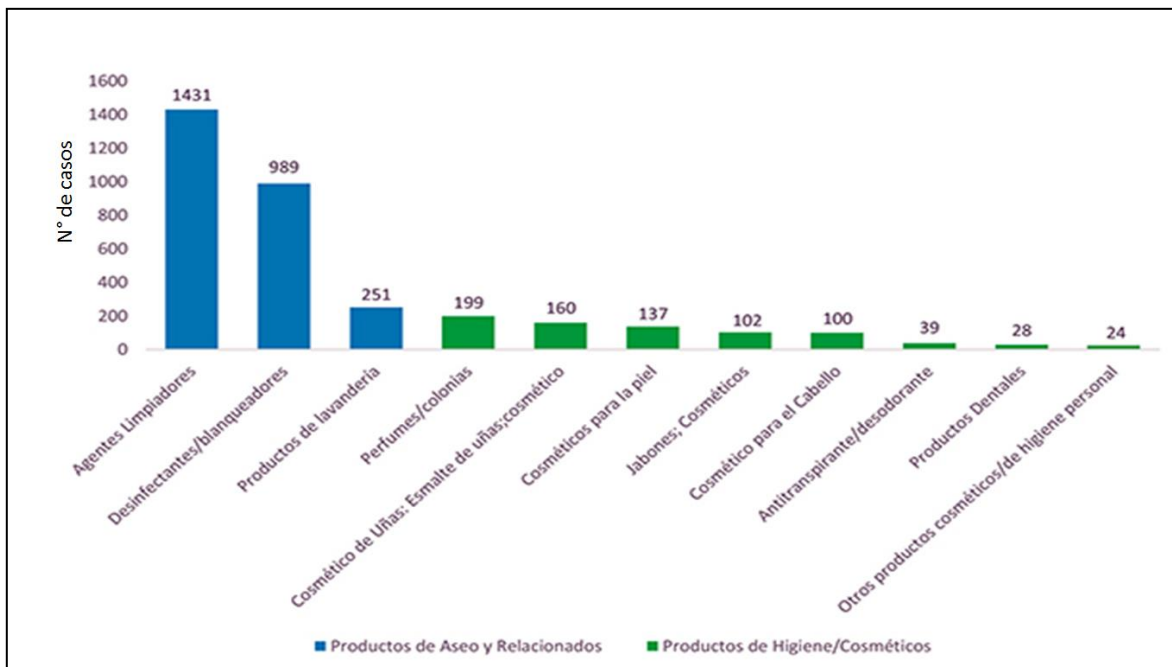


Figura 1: Casos pediátricos reportados al CITUC por productos de aseo y cosméticos en Chile. (Fuente: González et al., 2019).

La base de datos estadounidense National Poison Data System (NPDS) considera como peligro emergente a las cápsulas de detergentes, ya que éstas al ser altamente concentradas en una sola carga pueden causar daños graves a niños pequeños, considerando también que la membrana de cada cápsula está diseñada para disolverse al entrar en contacto con la humedad, por lo cual aumenta el riesgo de exposición al momento de tener contacto con la boca, generando vómitos, sibilancias, problemas respiratorios y abrasiones corneales. Hasta el 31 de enero del 2024 los 55 centros toxicológicos del NPDS han gestionado 117.021 casos de exposición a detergentes en cápsulas en niños menores a 5 años, lo cual se puede visualizar en la figura 2.

La información de la figura 2 concuerda con los resultados de diferentes estudios, que han alertado sobre la peligrosidad de las cápsulas, los que también indican que esta presentación está involucrada en un gran número de intoxicaciones en los últimos años, posiblemente porque sus formulaciones poseen un porcentaje más elevado de tensoactivo que los otros formatos (Valdez et al., 2014; Gray y West, 2014; De la Oliva Urieta et al., 2016; Gummin et al., 2019). El principal grupo etario de riesgo son los niños, primero por su curiosidad que los hace incurrir en una mayor exposición y también debido a su tamaño corporal. Por ejemplo, un niño de 5 años pesa aproximadamente 18,2 kg de peso (MINSAL, 2018) lo que genera una dosis por kilo de peso mayor, en comparación con un adulto.

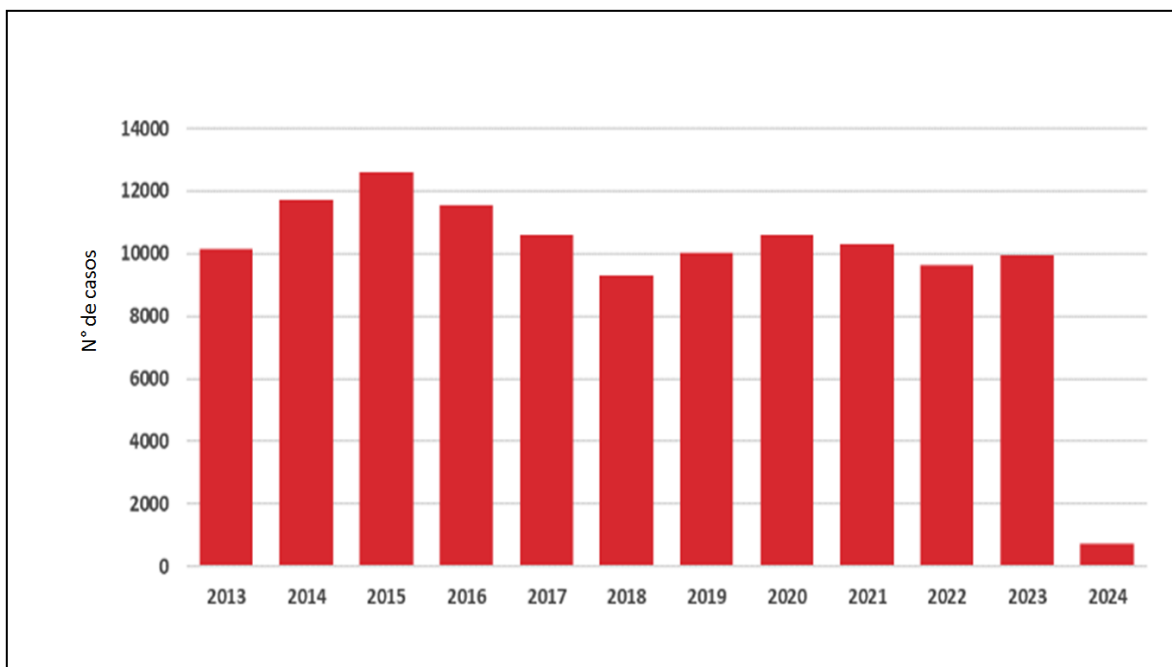


Figura 2: Casos pediátricos de intoxicaciones por capsulas reportados en Estados unidos.
Fuente: Modificado (NPDS) National Poison Data System (<https://www.aapcc.org/national-poison-data-system>)

En un levantamiento preliminar, realizado tanto en forma presencial como visitando las páginas web de supermercados de la V región de nuestro país, se determinó que las presentaciones de detergentes que principalmente se ofrecen al usuario son polvos y líquidos, mientras que la variedad ofertada para detergentes para diluir y cápsulas es menor. En los párrafos anteriores, ya se menciona que estas presentaciones pueden causar intoxicaciones, aunque, con respecto a los detergentes para diluir, no hay información disponible sobre casos de intoxicaciones, esto probablemente debido a su reciente comercialización en Chile. Las presentaciones de estos productos vienen en formato de 500 ml, los que se deben diluir a 2,5 litros para su uso. En comparación a otros formatos es posible presumir que podrían ser más tóxicos que un detergente líquido común.

Por otro lado, ha surgido en el último tiempo un mercado informal de detergentes producido por pequeñas y medianas empresas. En este caso los emprendedores interesados en esta línea de negocios pueden comprar “recetas” o formulaciones que los instruyen para la preparación de los productos. Estas formulaciones en línea están también disponibles para la preparación casera. La fabricación de estos productos sin regulación podría representar un peligro adicional no solo para el usuario de detergentes sino que para las personas que trabajan en su fabricación.

1.2) Composición de los detergentes de ropa

La presentación de los detergentes de ropa tradicionalmente ha ocupado las formas de polvo y líquido. Sin embargo, en estos últimos años han ido surgiendo formas tales como cápsulas y detergentes para diluir, cuya composición depende de su presentación, ya que se requieren diferentes procesos y características al momento de su producción.

Los productos detergentes para la ropa son formulaciones muy complejas. Sus componentes principales son los tensoactivos, acompañados de builders, agentes antiredeposición, agentes alcalinos, inhibidores corrosivos, agentes de control de espuma, opacificadores, blanqueadores, enzimas, fragancias y colorantes. Cada componente individual de un detergente tiene su función específica en el proceso del lavado, además de un efecto sinérgico (*Smulders et al., 2002; Bajpai y Tyagi, 2007*). En la tabla 1 se puede observar, de forma resumida, los principales componentes de las formulaciones de detergentes de ropa, indicando además, su nombre químico y función.

Aun cuando las formulaciones de los detergentes no están disponibles por ser parte del secreto industrial de quienes los fabrican, es sabido que la detergencia (capacidad de eliminar la suciedad) aumenta con la concentración del tensoactivo, e incluso un detergente puede tener más de un tensoactivo. La función de los detergentes es desprender la suciedad de los soportes sólidos, ya sea telas u otras superficies, traspasarla al agua y dispersarla para evitar su redeposición sobre ellas. Esta función es cumplida por las sustancias tensoactivas, lo que las convierte en los principales componentes de los detergentes de ropa (*Smulders et al., 2002*).

En el proceso de lavado la función del agua es actuar como solvente, siendo el primer proceso del lavado la humectación, momento en que el tensoactivo está disperso en el medio acuoso (figura 3 imagen 1). Posteriormente, ocurre la penetración de la solución detergente en la tela, momento en que la actividad del tensoactivo toma relevancia al disminuir la tensión superficial del agua al orientarse en la interfase (líquido-sólido) modificando así sus propiedades (figura 3 imagen 2 y 3), debido a que son moléculas anfifílicas, porción hidrofóbica de los tensoactivos se adhiere a la suciedad, mientras que la hidrofílica se orienta hacia el medio acuoso, formando una micela que mantiene la suciedad en suspensión (figura 3 imagen 4) (*Cabanes, 2014*). Las micelas son agregados macromoleculares de entre 25 y 200 moléculas de tensoactivo (figura 4) (*Jiménez et al., 2010; Cabanes, 2014*).

Tabla 1: Principales componente de los detergentes de ropa

Clase	Componentes	Función
Tensoactivos	No iónicos: Glicol, propilenglicol, alcoholes etoxilados Catiónicos: cloruro de alquiltrimetil amonio, cloruro de dodeciltrimetil amonio, cloruro de alquildimetilbencil amonio Aniónicos: sulfatos, fosfatos y sulfonatos. Anfóteros: N-alquilbetaina	Humectación, dispersión, emulsión y formación de espuma
Builders	Polifosfatos, citrato Carbonato de sodio, silicato de sodio (precipitan los iones responsables de la dureza, especialmente iones de calcio)	Alcalinizante, inactivan los iones responsables de la dureza. Dispersa y suspende la suciedad
Agentes anti-redeposición	Carboximetilcelulosa es la más utilizada Poliacrilato de sodio	Evita que la suciedad ya suelta vuelva a depositarse sobre la tela
Zeolita	Zeolita	Agente secuestrante de iones metálicos multivalentes evita que los tensoactivos aniónicos precipiten en solución
Agentes alcalinos	Carbonato de sodio, silicato de sodio	Eliminan espontáneamente los ácidos grasos, por formación de jabones
Inhibidores corrosivos	Silicato de sodio	Protege las piezas de la lavadora de los efectos de la corrosión
Blanqueadores	Blanqueadores de oxígeno perborato de sodio tetrahidratado y percarbonato de sodio	Al disolverse se convierten en peróxido de hidrógeno (agente oxidante), el cual reacciona con el material orgánico decolorándolo
Enzimas	Hidrolasas (proteasas, lipasas, amilasas y celulasas)	Proteasas: hidrólisis de enlaces peptídicos Lipasas: hidrólisis de enlaces ester presentes en los acilgliceroles Amilasas: hidrólisis de enlaces 1-4 entre las unidades de glucosa Celulasas: hidrólisis del enlace glucosídico entre dos o más hidratos de carbono
Otros	Colorantes, fragancias, opacificantes, agentes de control de espuma, enzimas, abrillantadores ópticos, suavizantes	Sustancias que proporcionan al producto propiedades físicas para su comercialización
Otros con funciones específicas	Sulfato de sodio, agua, alcohol, xileno sulfonato	Sulfato de sodio genera polvos más granulosos; Alcohol actúa como disolvente en detergentes líquidos y da viscosidad a la mezcla

Fuentes: (Domínguez, 1986; Smulders et al., 2002; Bajpai y Tyagi, 2007).

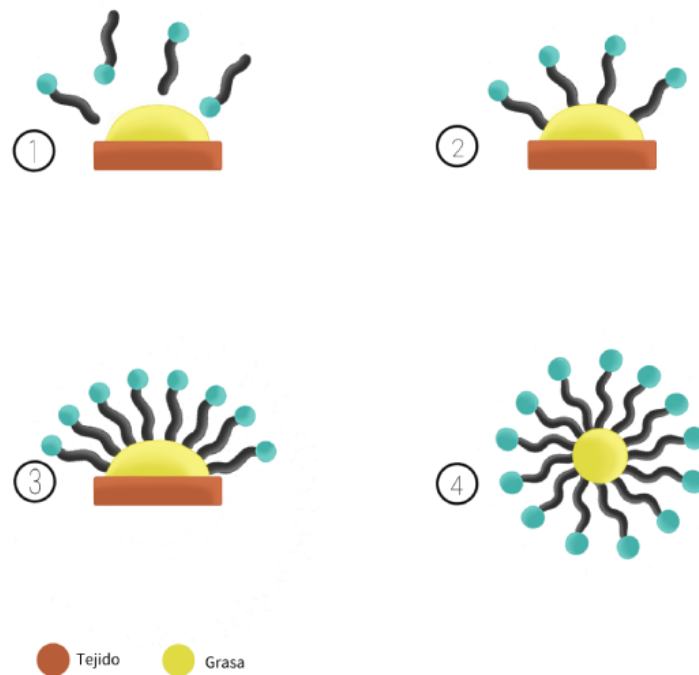


Figura 3: Proceso del lavado del detergente sobre la tela, imagen propia (Fuente: *Cabanes, 2014*).

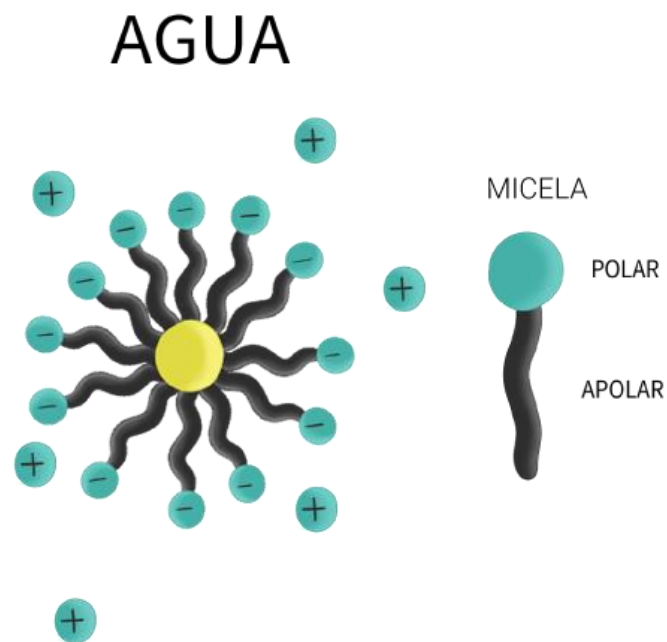


Figura 4: Estructura básica de una micela de tensoactivo aniónico, imagen propia (Fuente: *Jiménez et al., 2010*).

Los tensoactivos aniónicos son los de uso más frecuente en los detergentes de ropa en polvo y se encuentran en el primer lugar de producción y utilización en la industria de los detergentes, debido a su mayor capacidad para eliminar la suciedad por sus características estructurales (cabeza polar aniónica) (SERNAC, 2019).

Por su parte, los tensoactivos no iónicos, están en el segundo lugar en producción y utilización por la industria de los detergentes. En solución acuosa no se ionizan, ya que estructuralmente su cabeza polar no posee ninguna carga. Son compatibles con tensoactivos aniónicos y catiónicos, siendo un ejemplo los etoxilatos y derivados de alcoholes y azúcares. Por otro lado, los tensoactivos catiónicos son igualmente utilizados en la fabricación de detergentes, pero su utilización está relacionada con una aplicación particular que es suavizar telas a través de la fijación a ellas de sus cabezas catiónicas polares, lo que les permite actuar como un excelente agente antiestático (Salager, 2002; Cabanes, 2014). En la tabla 2 se puede observar la Estructura y tipos de tensoactivos aniónicos, no iónicos, anfóteros y catiónicos.

Tabla 2: Estructura y tipos de tensoactivos aniónicos, no iónicos, anfóteros y catiónicos

Tipo de tensoactivo	Características
ANIÓNICOS 	Son aquellos que poseen una cabeza polar aniónica y cadena apolar, son los más utilizados en la industria de los detergentes de ropa
NO IÓNICOS 	Son aquellos que no poseen carga neta en la cabeza o parte hidrofílica. Son usados frecuentemente en las formulaciones de detergentes
ANFOTÉRICOS 	Son aquellos que tienen una cabeza dipolar, es decir, con una carga positiva y otra negativa. Su comportamiento es de acuerdo al pH
CATIÓNICOS 	Son aquellos que tienen la cabeza polar cargada positivamente. No son utilizados como detergentes para el lavado de ropa. Sus cationes se fijan sobre la superficie del tejido

Imágenes propias (Fuentes: Cabanes, 2014; Jiménez et al., 2010).

Un estudio del SERNAC (2019) informó sobre el porcentaje de tensoactivos en detergentes de mayor venta en Chile, detergentes en polvo, el cual varía según la marca del producto (figura 5). En general, la concentración de tensoactivo fue determinada entre 4 y 14 %. Por su parte la literatura indica que los detergentes líquidos podrían poseer hasta un 25% más que los detergentes sólidos (*Bajpai y Tyagi, 2007*). De acuerdo con lo informado por el SERNAC en Chile la Nch 1388.1977 es la que regula los detergentes en polvo y su preparación como muestra final.

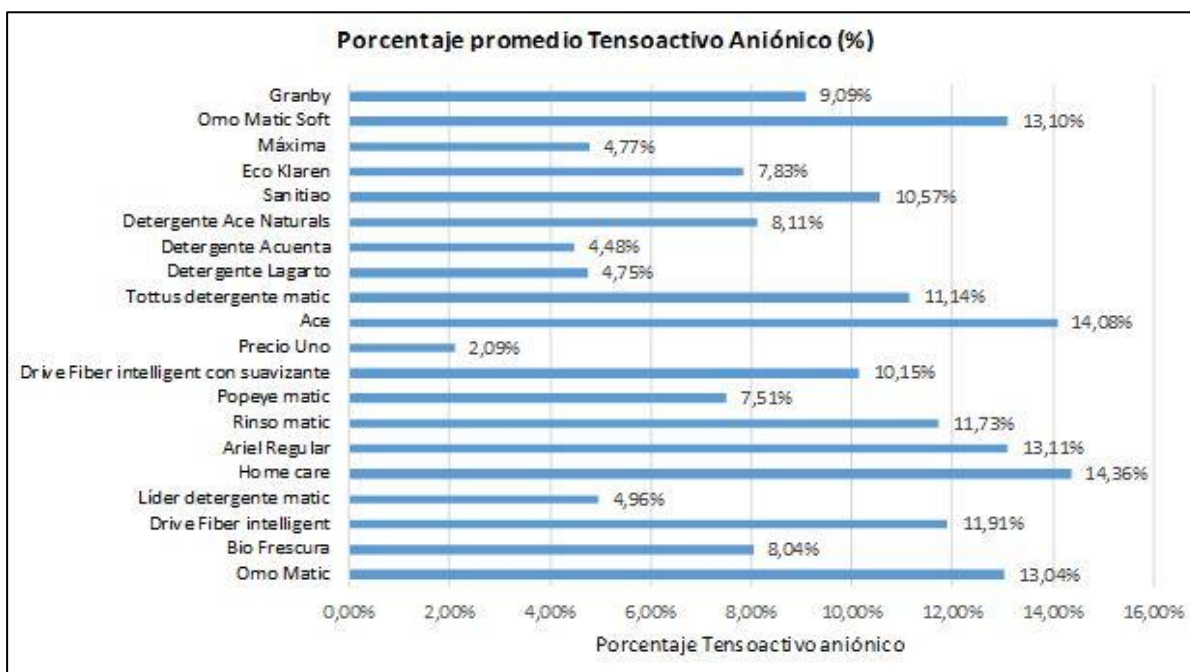


Figura 5: Detergentes en polvo con mayor acción detergente (mayor cantidad de tensoactivo) de venta en Chile. Servicio Nacional del Consumidor (Fuente: SERNAC, 2019).

1.3) Manifestaciones de la intoxicación por detergentes de ropa

La sintomatología asociada a la exposición a detergentes de ropa es variable y depende principalmente de los siguientes tres factores. La presentación del detergente, ya que éste incide directamente en la dosis (considerando el volumen de una cápsula en comparación con un bidón por ejemplo), de su formulación (componentes que están agregados con el objetivo de aumentar la eficacia del tensoactivo) y de la vía de exposición.

Tal como se describió más arriba, la principal vía de exposición para las intoxicaciones por detergentes de ropa es la oral, manifestándose clínicamente por vómitos, náuseas, diarrea, somnolencia y sialorrea. La intoxicación por detergentes en cápsulas puede resultar en manifestaciones de mayor severidad. Por ejemplo, una menor de un año, tres meses desarrolló depresión del SNC, acidosis metabólica y dificultades para tragar, requiriendo intubación y ventilación (*Williams et al., 2014*). Si bien los estudios no han determinado con exactitud la causa de esta sintomatología, se presume que es debido a la concentración de tensoactivos presente en la formulación y a la viscosidad de estos compuestos (*Williams et al., 2014, Yin et al., 2015*).

Por su parte la vía inhalatoria presenta una amplia sintomatología, luego de exposición a detergentes líquidos (bidones y cápsulas) y detergentes sólidos, como tos, estornudos, disminución ventilatoria y, en los casos más extremos, toxicidad pulmonar (*Williams et al., 2014*). Un estudio reciente determinó que el tensoactivo aniónico dodecilmencensulfonato de sodio induce una inflamación eosinofílica de las vías respiratorias, acompañada de un aumento de la expresión de IL-33 y la activación de las células linfoides innatas del grupo 2 (ILC2) (*Saito et al., 2023*). Otro estudio realizado en células bronquiales epiteliales humanas demostró que el tensoactivo dodecilmencensulfonato de sodio genera alteración en la integridad de la barrera celular y una alta citotoxicidad (figura 6) (*Wang et al., 2019*).

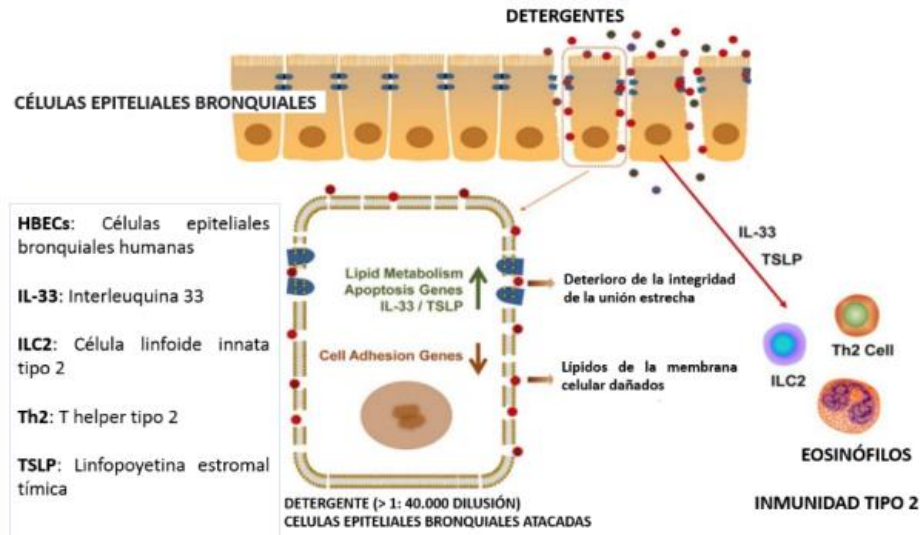


Figura 6: Citotoxicidad en células bronquiales epiteliales humanas por el detergente dodecilmencensulfonato de sodio (Wang *et al.*, 2019).

Las cápsulas pueden ser ingeridas. Sin embargo, otra vía de exposición es la ocular, relacionado únicamente con esta presentación, ya que al ser pequeñas y cubiertas por un plástico muy delgado, son apretadas fácilmente por las manos de los niños. Al reventarse, el contenido sale expulsado con presión, llegando a los ojos. El daño ocular puede estar relacionado, tanto al efecto del tensoactivo por su elevada concentración o al pH que varía entre 8 y 11 según la literatura. Se ha reportado que, los daños oculares son severos e incluyen quemaduras corneales (Gray y West, 2014; Valdez *et al.*, 2014). Esta vía de exposición ha demostrado mayor predominancia que la inhalatoria y la dérmica (Williams *et al.*, 2014, Yin *et al.*, 2015). El mecanismo por el cual se entiende este daño es que el tensoactivo produce una elevación del calcio intracelular y produce acidificación intracelular, disipación del potencial de membrana mitocondrial, produciendo una disminución de la relación ATP/ADP y posteriormente generando la muerte celular (Yang y Acosta, 1995).

La vía dérmica resulta ser la de menor incidencia y peligrosidad. Sin embargo, los tensoactivos generan daños y sensibilización en la barrera cutánea, disminuyendo la resistencia eléctrica transepitelial (Valdez *et al.*, 2014; De la Oliva *et al.*, 2016; Wang *et al.*, 2019; Xian *et al.*, 2016). Un estudio reciente (Rinaldi *et al.*, 2023) demostró que los detergentes afectan la función de la barrera epitelial en un modelo de células epiteliales humanas *in vitro*, a través del aumento de moléculas proinflamatorias y cambios en el transcriptoma y proteoma de la piel. Los detergentes para ropa domésticos alteran la integridad de la barrera epitelial e inducen inflamación en la piel humana y de ratones.

1.4) Normativas para el mercado de detergentes de ropa en Chile

Actualmente en Chile no es obligatorio para las empresas declarar la composición de sus productos. La Ley 19.496 sobre Protección de los Derechos del Consumidor, regula la información básica comercial como datos, instructivos e indicaciones del proveedor, y a la fecha de la redacción de este documento, solo existe una normativa voluntaria con respecto a la rotulación NCh1477.Of2003. Esta norma, establece los siguientes requisitos que deben cumplir las rotulaciones de los envases de detergentes de uso doméstico para el lavado de la ropa, aplicable a presentaciones líquidas y sólidas, producidas a nivel nacional e importadas que son comercializadas en nuestro país.

- Información legible, visible e indeleble, escrita en español, la cual debe estar impresa en la parte externa de la caja o en la parte interna si contara con doble cubierta.
- No puede tener ambigüedades en su función, ilustraciones o adornos que induzcan a engaño, ni descripción de características del producto que no se puedan comprobar, según metodología debidamente validada, incluidos los protocolos del fabricante.
- Incluir marca comercial, dirección del fabricante o distribuidor, marca del producto, país de origen, lote o fecha de elaboración.
- Precauciones e identificación de una entidad con quien comunicarse, para asistencia las 24 horas, en caso de accidente, ya sea por ingestión o contacto con el producto.
- Rotulación debe indicar la palabra detergente.
- Contenido neto.
- Instrucciones de uso.

Esta recomendación voluntaria no es suficiente al momento de determinar si es o no peligroso un detergente de ropa, ya que carece de la información necesaria para que las entidades pertinentes desarrollen protocolos frente a las intoxicaciones y a la vez realizar una buena gestión del riesgo en la población.

Un análisis realizado por el SERNAC en el año 2019 a 20 marcas de detergentes en polvo, determinó que solo 7 rotulaciones contenían toda la información que recomienda la norma, mientras que el resto de los productos omitía información relevante como las instrucciones de almacenamiento. De los productos en el mercado, solo una marca de detergente declara en su etiqueta el contenido de tensoactivo en su formulación e incluso el informe del SERNAC destaca que la norma técnica que establece las directrices sobre la rotulación esta desactualizada con la realidad del mercado. Solo 8 marcas indicaban los componentes de la formulación. Frente a esto el SERNAC recomendó fijarse en la entidad recomendada por el fabricante al momento de una intoxicación y en caso de no existir recomendación, asistir a un servicio de urgencia y señalar a su médico los ingredientes del

producto presentes en la etiqueta, en orden decreciente de proporciones, es decir, desde el ingrediente con mayor cantidad o porcentaje, hasta el que tiene menos cantidad. De acuerdo con lo antes visto, es imposible cumplir con este protocolo, ya que justamente el usuario no posee esa información, que debiese estar rotulada en el envase del detergente.

La revisión de etiquetas de productos vendidos en supermercados de la quinta región así como la búsqueda de información en las páginas web de los fabricantes de detergentes, llevó a constatar que solo un detergente de ropa en formato de cápsulas contaba con su formulación plasmada en el envase, aunque sin mención del porcentaje de cada componente. La ausencia de esta información es una carencia importante para la gestión del riesgo tóxico ya que no permite la identificación de sus dosis.

Es también común encontrar a la venta en Chile formulaciones de detergentes caseros, los cuales podrían no estar siguiendo los protocolos necesarios de seguridad, para el trabajador que las produce o para el usuario final. Se une a esta situación, la reciente aparición de ventas por internet de formulaciones e ingredientes para la elaboración de estos detergentes informales.

Dado los antecedentes presentados en cuanto a las estadísticas de intoxicaciones por estos productos, la peligrosidad de los componentes de su formulación, la falta de requerimientos actualizados para su etiquetado y la gran importancia de esta información como herramienta básica en la gestión del riesgo de toxicidad, se plantea en este trabajo final de grado realizar un análisis de la composición de los detergentes de ropa vendidos en Chile, aproximando una caracterización de su peligrosidad para la población pediátrica, ya que las estadísticas demuestran que este grupo etario es el de mayor susceptibilidad.

2) Pregunta de investigación

Se planteó la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuán peligrosos son los detergentes de ropa utilizados en Chile para la población pediátrica?

Para mejor contestar la pregunta de investigación, se plantearon las siguientes preguntas específicas:

1. ¿Por qué son peligrosos los detergentes de ropa?, ¿Cuál es su composición? ¿Cuál es la toxicidad de los componentes de su formulación?
2. ¿Cuáles son las dosis tóxicas de los detergentes de ropa para la población pediátrica?
3. ¿Existen riesgos emergentes producto de nuevas presentaciones en el mercado como por ejemplos las cápsulas y detergentes para diluir?
4. ¿Es el mercado de los “detergentes caseros o informales” una situación de riesgo de intoxicación pediátrica?

3) Objetivos

3.1) General

Determinar la peligrosidad de los detergentes de ropa de venta en Chile para la población pediátrica, menor de 5 años.

3.2) Específicos

1. Identificar los principales componentes presentes en las formulaciones de detergentes de ropa de venta en Chile bajo sus distintas presentaciones (líquidos, sólidos y presentaciones emergentes de cápsulas y detergentes para diluir).
2. Describir la peligrosidad de los componentes de las formulaciones de detergentes de ropa de venta en Chile bajo sus distintas presentaciones (líquidos, sólidos y presentaciones emergentes de cápsulas y detergentes para diluir).
3. Identificar dosis tóxicas para la población pediátrica de los distintos componentes y/o formulaciones de detergentes de ropa de venta en Chile bajo sus distintas presentaciones (líquidos, sólidos y presentaciones emergentes de cápsulas y detergentes para diluir).
4. Determinar la peligrosidad de los detergentes informales de acuerdo con su formulación.

4) Métodos

4.1) Determinación de la composición de los detergentes de ropa

Para identificar los componentes de las formulaciones de detergentes para ropa y cumplir con el objetivo 1 se realizaron las siguientes actividades:

- a. Se recopiló información sobre productos detergentes de mayor venta en Chile. Para ello se utilizó el estudio de rotulación de detergentes del SERNAC (2019), realizándose también un levantamiento cualitativo de los productos que se venden en Chile, a través de la visita presencial a supermercados de la V región, así como la visita a las páginas web de los productos y de las empresas que los fabrican.
- b. Se utilizó la base de datos Consumer Product Information Database (CPID) (www.whatsinproducts.com) para obtener formulaciones de detergentes de venta en Estados Unidos y Canadá, siendo el supuesto que las formulaciones de grandes empresas productoras de estos detergentes no cambian o no cambian demasiado entre países, por lo cual sería una aproximación a las formulaciones vendidas en nuestro país. CPID es una gran base de datos estadounidense, hasta hace poco, mantenida por la National Library of Medicine del National Institute of Health de ese país. Actualmente es manejada por la consultora De Lima Associates (<http://www.delimaassociates.com/what-we-have-done/>) la que mantiene información actualizada sobre más de 26.000 productos y sus formulaciones que se utilizan normalmente en el ámbito del cuidado e higiene personal y del hogar, entre otros.
- c. Adicionalmente, se contactó con AGAD, Asociación Gremial de Aseo y Desinfección de Chile, con quienes se conversó sobre esta investigación. Como resultado de este contacto se generó un convenio marco de colaboración. Bajo este convenio, que estableció confidencialidad de datos en caso necesario, la Asociación Gremial proporcionó información sin referencia al nombre del producto o a su fabricante, sobre análisis fisicoquímicos de detergentes del mercado informal, así como también una formulación real comercializada en nuestro país con sus respectivos componentes y concentraciones.
- d. Se compraron formulaciones de detergentes informales en el sitio de internet en www.formumarket.com, la cual al momento de redactar esta tesis ya no se encuentra disponible.

Estas actividades permitieron tener formulaciones de detergentes líquidos, sólidos y formulaciones de presentaciones emergentes de cápsulas. No se tuvo acceso a formulaciones de detergentes para diluir. Para facilitar el análisis de las formulaciones, se consideró solo al tensoactivo de mayor predominancia en cada formulación.

4.2) Descripción de la peligrosidad de las formulaciones de detergentes para la ropa

Para cumplir con el objetivo 2, se realizó una búsqueda bibliográfica en distintas bases de datos, tanto de literatura científica (Pubmed, Scielo, Elsevier), bases de datos de productos químicos (ECHA, CPID, NPDS) para describir las manifestaciones clínicas de los detergentes de acuerdo con su presentación (líquidos, sólidos y cápsulas) y en cuanto a sus dosis de tensoactivos. Así, se revisaron las propiedades toxicodinámicas de los tensoactivos con mayor predominancia en las formulaciones (lauril eter sulfato de sodio, etoxilatos de alcohol C12-15 y dodecylbencensulfato de sodio) y se analizaron artículos científicos que describían estudios de toxicidad, permitiendo identificar dosis umbral para estos compuestos, toxicidad aguda oral, inhalatoria, dérmica y ocular.

A modo muy preliminar, se consideraron propiedades fisicoquímicas de los fluidos que pueden influir en su toxicidad y que son de importancia discutir, tales como la viscosidad y el pH de los productos líquidos. Con este fin, se utilizó un viscosímetro de Brookfield para medir la viscosidad, de un detergente líquido de bidón y de un detergente en cápsula. Esta determinación se realizó en el Laboratorio de Tecnología Farmacéutica de la Facultad de Farmacia. Para la medición del pH de un detergente líquido de bidón y de un detergente en cápsula, se utilizó un pHmetro portátil previamente calibrado. Esta determinación se realizó en el Laboratorio 3-4 de la Facultad de Farmacia.

4.3) Identificación de las dosis tóxicas de tensoactivos y de los productos para la población pediátrica

Para la determinación de las dosis tóxicas en la población pediátrica, en cumplimiento con el objetivo 3, se realizó una búsqueda bibliográfica exhaustiva en bases de datos y catálogos científicos incluyendo Pubmed, Science Direct, Google Académico y Scielo. Se revisaron estudios clínicos u otros tipos de publicaciones que entregaran información sobre intoxicaciones pediátricas por detergentes para la ropa en base a los componentes identificados en las actividades anteriores. A partir del NAOEL, se determinó el Margen de Exposición (MOE) para la formulación/presentación que pudiera resultar con mayor número de intoxicaciones para la población pediátrica, definida en este estudio como niños menores de 5 años. Se utilizó la tabla de crecimiento del Ministerio de Salud como fuente de información para el peso de los niños en Chile.

El MOE es la razón entre el nivel en el que no se observa un efecto adverso (NOAEL), obtenido de estudios en animales de experimentación y el nivel predecido o estimado de la exposición humana. Un MOE se considera riesgoso si es menor o igual a 100.

Para una mejor aproximación a la comunicación de riesgos tóxicos por detergentes, se describió la dosis en términos de volúmenes conocidos para una cuchara de té y una cuchara de sopa. Para determinar estos volúmenes en el laboratorio, se utilizó una probeta, ya que son aproximaciones cualitativas. Por otra parte se midieron las dimensiones de una cápsula de detergente (alto, largo y ancho) y el volumen que contiene cada unidad.

Estos datos permitieron generar diferentes escenarios de exposición, procediendo a calcular estimaciones de concentraciones considerando los porcentajes de los tensoactivos en las diferentes formulaciones y tomando en cuenta los pesos de niños entre 1 a 5 años de edad y su apertura mandibular.

4.4) Determinación de la peligrosidad de los detergentes informales

Para el cumplimiento del objetivo 4, se realizó una búsqueda de información sobre el mercado informal de detergentes. Asimismo, se compraron formulaciones de detergentes en FormuMarket, una empresa que declaraba tener como objetivo el apoyo al desarrollo de negocios en la industria de la limpieza y la cual ya no está disponible. Por otro lado, y por medio del convenio con AGAD se obtuvieron propiedades fisicoquímicas como pH y salinidad de productos reales ofertados en el mercado, información que fue utilizada para hacer un análisis de la peligrosidad de estas formulaciones.

5) Resultados

5.1) Identificación de las formulaciones de detergentes

La revisión de la base de datos CPID (www.whatsinproducts.com), llevó a la identificación de formulaciones de 30 detergentes líquidos, 20 detergentes en polvo y 10 detergentes en cápsulas, lo que llevó a inferir que la presentación de mayor venta en Estados Unidos y Canadá es el detergente líquido, seguido por las otras dos presentaciones. Con respecto a las presentaciones de los detergentes para diluir, estas no estaban presentes en la información declarada en la base de datos y no se ha encontrado alguna fuente adicional para investigar estas formulaciones. Con respecto al mercado chileno, se puede decir que es similar al norteamericano, ya que los detergentes de mayor venta corresponden a los detergentes en polvo y detergentes líquidos (*SERNAC, 2019*). Las cápsulas tienen solamente dos marcas en el mercado, por lo cual la información obtenida a partir del análisis de la base de datos CPID es una aproximación a la realidad del mercado de los detergentes en Chile.

Se puede destacar que, en general, la composición de las formulaciones no varían entre un producto y otro de acuerdo con la presentación, es decir básicamente todos los productos cuentan como mínimo con un tensoactivo, builders, blanqueadores y fragancias.

La revisión de la base de datos del CPID, permitió identificar al carbonato de sodio como un componente predominante dentro de las formulaciones en polvo y pods, por lo cual se hace mención a su funcionalidad dentro de esta y a los peligros inherentes de este compuesto.

Las enzimas están presentes dentro de las formulaciones, de acuerdo con lo revisado en la base de datos del CPID, es uno de los componentes de mayor utilización como coadyuvante en el proceso del lavado, por lo cual se hace mención a su funcionalidad dentro de esta y a los peligros inherentes de este compuesto.

A continuación se detalla la composición de los detergentes en términos de tensoactivo predominante según la forma del producto, ya sea líquido, en polvo o en cápsula.

5.1.a) Detergentes líquidos

Con respecto a los detergentes líquidos el tensoactivo más utilizado es el lauril éter sulfato de sodio (SLES), con una concentración que varía entre el 4% y el 15%. En segundo lugar, se encuentran los etoxilatos de alcohol con una concentración de hasta un 7% mientras que en tercer lugar, aparece el dodecilbencensulfonato de sodio con hasta un 5% de concentración (tabla 3).

Tabla 3: Principales tensoactivos en detergentes líquidos y sus concentraciones

Principales tensoactivos	Tipo de tensoactivo	Concentración
Lauril éter sulfato de sodio	Aniónico	4-15%,
Etoxilatos de alcohol C12-15, Pareth 3	No iónico	1,5-7%
Dodecilbencenosulfonato de sodio	Aniónico	1-5%
Cocamidopropilbetaína	Anfótero	2,5-10%,
Coco-sulfato de sodio	Aniónico	0,1-10%

(Fuente: CPID, www.whatsinproducts.com)

El lauril éter sulfato de sodio se encuentra casi siempre acompañado de un segundo, tercero y hasta cuarto tensoactivo dentro de las formulaciones. Una formulación de venta en Chile, entregada por AGAD, muestra al lauril éter sulfato de sodio como único y principal componente (tabla 4).

Tabla 4: Formulación de un detergente líquido de venta formal en Chile

Componente	%
Agua purificada	52,53%
Lauril éter sulfato de sodio	36,00%
Regulador de viscosidad	4,50%
Alfa olefinsulfonato	4%
Extracto de aloe vera	1%
Agente perlante	1%
Antiespumante	0,55%
Esencia	0,20%
Preservante	0,20%
Abrillantador óptico	0,01%
Color azul	0,002%

(Fuente: convenio AGAD)

Tabla 5: Especificaciones técnicas de una formulación de un detergente líquido de venta formal en Chile

• Apariencia: Líquido viscoso, azul perlado y aroma suave .
• pH: 7.0 – 9.0
• Densidad : 1,01 – 1,03
• Materia Activa Aniónica : 10 % mínimo.
• Viscosidad: 5.500 – 6.500 cps.
• Solubilidad: Completamente soluble en agua fría y caliente en todas proporciones.
• Biodegradabilidad: Contiene tensoactivos biodegradable y libre de fosfatos.

(Fuente: convenio AGAD)

5.1.b) Detergentes en polvo

En el análisis de las formulaciones de detergentes en polvo, se observó que el tensoactivo con mayor utilización fue el dodecibencenosulfonato de sodio, con una concentración de hasta un 15% en 9 formulaciones norteamericanas. De igual manera los etoxilatos de alcohol C12-15, aparecen de manera frecuente como tensoactivos en formulaciones sólidas, con hasta un 7,8% de concentración. A diferencia de los detergentes líquidos, el lauril eter sulfato de sodio solo estuvo presente en 4 formulaciones y con concentraciones menores (tabla 6).

Tabla 6: Principales tensoactivos en detergentes en polvo y sus concentraciones

Principales tensoactivos	Tipo de tensoactivo	Concentración
Dodecibencenosulfonato de sodio	Aniónico	5-15%
Etoxilatos de alcohol C12-15, Pareth 3	No iónico	1-7,8%,
Poli (oxi-1,2-etanodiilo), alfa- (4-nonil fenol) - omega-hidroxi- ramificado	No iónico	<3%
Lauril éter sulfato de sodio	Aniónico	1-7%

(Fuente: CPID, www.whatsinproducts.com)

5.1.c) Detergentes en cápsulas

En general, los productos en cápsulas, son formulados con etoxilatos de alcohol C12-15 y dodecilbenzenosulfonato de sodio en concentraciones que varían entre 1 - 22% y 1 - 15%, respectivamente (tabla 7).

Destaca que una de las etiquetas de los dos productos en cápsulas vendidos en Chile declaran en su etiquetado, la presencia de tres tensoactivos en su formulación, en concentraciones muy por encima de los declarados en la base de datos CPID (tabla 8).

Tabla 7: Principales tensoactivos en detergentes en cápsulas y sus concentraciones

Principales tensoactivos	Tipo de tensoactivo	Concentración
Etoxilatos de alcohol C12-15	No iónico	1-22%
Dodecilbenzenosulfonato de sodio	Aniónico	1-15%

(Fuente: CPID, www.whatsinproducts.com)

Tabla 8: Tensoactivos presentes en un detergente en cápsulas de venta en Chile

Nombre	Tipo de tensoactivo	Concentración
Dodecilbenzenosulfonato de sodio	Aniónico	20-30%
Etoxilato de alcohol C12-15	No iónico	1-5%
Lauril éter sulfato de sodio	Aniónico	10-20%

5.2) Descripción de la peligrosidad de los componentes de las formulaciones de detergentes

A continuación se describe la toxicidad de los tensoactivos lauril éter sulfato de sodio, dodecilbenzenosulfonato de sodio y etoxilatos de alcohol C12-15, del carbonato de sodio y de enzimas, al ser estos los principales componentes identificados en la formulaciones. Se describen también dos propiedades fisicoquímicas de los productos, la viscosidad y el pH, por considerarse que pueden influenciar la inducción de toxicidad.

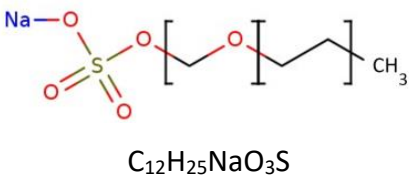
5.2.a) Lauril éter sulfato de sodio (SLES)

Es el tensoactivo aniónico de mayor uso en las formulaciones líquidas revisadas en la base de datos del CPID, lo cual coincide con la formulación entregada por AGAD de un detergente del mercado formal. Su fórmula química es $C_{12}H_{25}NaO_3S$ (Bondi et al., 2015) (tabla 9). Es utilizado principalmente en el área cosmética en la fabricación de champús y jabones para el cuidado e higiene personal, aunque también tiene uso con otros propósitos como el lavado industrial de frutas y verduras, o como componente de formulaciones plaguicidas (Sillué et al., 2022).

Es eficaz en un amplio rango de pH, posee una buena actividad espumante y es altamente soluble en agua. Es considerado una sustancia no carcinogénica ni genotóxica (ECHA 2023). Su mecanismo de toxicidad a nivel dérmico se debe a que penetra fácilmente las capas celulares de la piel e interactúa con la membrana celular aumentando la entrada de Ca^{+2} intracelular y desencadenando la secreción de IL-1 α y ROS intracelulares en los queratinocitos (Mizutani et al., 2016).

La LD₅₀ vía oral, de este tensoactivo en ratas tiene un rango de entre 540 a 4300 mg/kg de peso corporal. La LD₅₀ dérmica fluctúa entre 540 y 2000 mg/kg. No existe información para la vía inhalatoria. La LD₅₀ vía oral para humanos es mayor a 2000 mg/kg (ECHA 2023).

Tabla 9: Propiedades fisicoquímicas y organolépticas del lauril éter sulfato de sodio

Propiedad	Definición/característica
Formula molecular	 $C_{12}H_{25}NaO_3S$
Estado físico	Líquido
Tipo de sustancia	Orgánico
Color	Incoloro
Densidad	1,03 g/cm ³ a 20°C.
Peso molecular	434 g/mol
pH	9,5

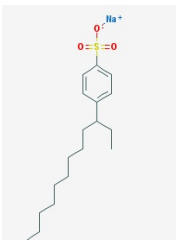
Fuente: Estructura molecular Lauril éter sulfato de sodio (ECHA 2023).

5.2.b) Dodecilbencensulfonato de sodio

El dodecilbencensulfonato de sodio (SDBS), corresponde a una de las presentaciones comerciales de los sulfonatos de alquilbenceno lineal (LAS) (Jiménez y López, 2011). Es un tensoactivo aniónico de color amarillo claro, utilizado por sus propiedades surfactantes y biodegradables. Su estructura incluye un anillo bencénico en posición para, un grupo sulfónico ionizado y una cadena alquílica lineal, la que puede estar unida al benceno en distintas posiciones (tabla 10). Al igual que el (SLES), es incluido en otras formulaciones además de los detergentes de ropa, ya sea en productos de higiene personal como en plaguicidas.

El NOAEL es de 85 mg/kg de peso corporal/día, la dosis más alta probada en ratas (HERA 2007).

Tabla 10: Propiedades fisicoquímicas y organolépticas de dodecilbencensulfonato de sodio

Propiedad	Definición/característica
Formula molecular	 $C_{18}H_{29}NaO_3S$
Estado físico	Sólido
Tipo de sustancia	Orgánico
Color	Amarillo claro
Densidad	1g/cm ³ (20°C)
Peso molecular	348,48 g/mol
pH	7-10,5 (25°C)
Viscosidad	960 mPas
Punto de fusión	287,63 °C
Punto de ebullición	660,62°C

Fuente: Estructura molecular dodecilbencensulfonato de sodio (ECHA 2020).

5.2.c) Etoxilatos de alcohol C12-15

Corresponde a un tensoactivo no iónico y de acuerdo con lo investigado, es el más utilizado en detergentes en cápsulas, aunque se utiliza también en formulaciones líquidas y en polvo. Se sintetiza a partir de alcoholes grasos de origen petroquímico y oleoquímico, resistente a las aguas duras, con un gran poder de humectación. Un pH alcalino mejora la espumabilidad de estos tensoactivos, y son altamente compatibles con otros tensoactivos y aditivos utilizados en las formulaciones de detergentes (tabla 11).

La LD₅₀ oral para este compuesto es >2000 mg/Kg en ratas. No existe información ni para la vía dérmica ni para la vía inhalatoria (ECHA 2023).

Tabla 11: Propiedades fisicoquímicas y organolépticas de etoxilatos de alcohol C12-15

Propiedad	Definición/característica
Formula molecular	$\text{H}_3\text{C}-\left[\text{C}-\text{C}\right]_{10}\text{H}_2-\text{O}-\left[\text{C}-\text{C}\right]_{1-3}\text{H}$
Estado físico	Líquido
Tipo de sustancia	Orgánico
Color	No registrado
Densidad	0,93 g/cm ³ (20°C)
Viscosidad	16 mPa*s
Punto de fusión	7,22°C
Punto de ebullición	271,11 - 516,11 °C

Fuente: Estructura molecular del etoxilato de alcohol C12-15 (ECHA 2023a).

5.2.d) Carbonato de sodio

La revisión de la base de datos del CPID, permitió identificar al carbonato de sodio como un componente predominante dentro de las formulaciones en polvo y cápsulas, por lo cual se hace mención a su funcionalidad dentro de esta y a los peligros inherentes de este compuesto.

El carbonato de sodio es un compuesto presente en las formulaciones de detergentes y su actividad es de builder, vale decir, tiene por función mejorar la acción del tensoactivo y mayoritariamente se encuentra en detergentes en polvo en concentraciones que van desde 25% al 60%, mientras que, en cápsulas varía entre un 30% y un 40% por lo cual es un componente predominante de estas formulaciones. Son pocas las presentaciones líquidas en bidón que lo tienen en su formulación y en concentraciones que no superan el 5%.

Un estudio indica que el carbonato de sodio presente en snuff o rapé de tabaco aumenta las erosiones dentales por el pH elevado (*Singh et al., 2018*). Otro estudio, sobre lesiones gastroesofágicas por sustancias alcalinas en niños pequeños, indica que el carbonato de sodio produce esofagitis, gastritis erosiva y estenosis esofágica (*Chen et al., 2021*).

5.2.e) Enzimas

Las enzimas están presentes dentro de las formulaciones y, de acuerdo con lo revisado en la base de datos del CPID, es uno de los componentes de mayor uso como coadyuvante en el proceso del lavado, por lo cual se hace mención a su funcionalidad dentro de esta y a los peligros inherentes de este compuesto.

Las enzimas son componentes utilizados por la industria para mejorar el lavado. La industria de los detergentes ha implementado el uso de enzimas hidrolasas, con acción coadyuvante de los tensoactivos en el proceso del lavado, mejorando su desempeño, menor costo y mayor sustentabilidad. Su diseño ha ido evolucionando con el fin de adaptarse a las demandas de la industria del detergente (*Vojcic et al., 2015*).

Las enzimas son polímeros formados por veinte aminoácidos, su estructura tridimensional y actividad dependen de la longitud y orden de estos, lo cual también les otorga una enorme especificidad y eficacia catalítica, la cual, a su vez, depende del pH y la temperatura. En general, las enzimas utilizadas en detergentes, provienen de bacterias y hongos, y son encapsuladas para mejorar su estabilidad e inocuidad ya que la encapsulación disminuye su disponibilidad generando menor sensibilización respiratoria y dérmica (*Macario et al., 2013*).

Dentro de las hidrolasas podemos encontrar proteasas, lipasas, amilasas y celulasas. Las primeras en utilizarse fueron las proteasas y son las más empleadas en el mercado de los detergentes de ropa ya que son estables a altas temperaturas y a pH alcalino.

La subtilisina es una enzima proteolítica que se encuentra presente en formulaciones en polvo. Es termoestable, posee amplia especificidad y alta compatibilidad con el pH (*Vojcic et al., 2015; Azrin et al., 2022*). Por otro lado, las amilasas pancreáticas son enzimas utilizadas en los detergentes líquidos y cápsulas, y actúan catalizando la hidrólisis de almidón mediante la ruptura de enlaces glucosídicos α -D-(1,4), obteniendo oligosacáridos. Para su aplicación en la industria de detergentes se necesita un pH alto en la formulación (*Martínez Gallegos, 2005*). De acuerdo con la bibliografía revisada no representan un peligro para el ser humano, dado que, diversos estudios respaldan su utilización y determinan que no representan un riesgo por ejemplo, por dermatitis alérgica de contacto (*Belsito et al., 2002*).

5.3) Propiedades fisicoquímicas de los detergentes de ropa implicadas en su toxicidad

5.3.a) Viscosidad de los detergentes

Los detergentes poseen sustancias viscosantes en su formulación, aditivo que ajusta la viscosidad del producto a la deseada por el consumidor, ya que afecta la fluidez y estética del detergente. Un detergente con alta viscosidad es difícil de dosificar mientras que una baja viscosidad puede causar desperdicio del producto, por lo cual los detergentes están dentro de un rango de viscosidad de 250 a 900 mPa*s (*Rodríguez Rodríguez, 2017*).

Con fines de agregar antecedentes al análisis de peligro de estos productos, se determinó la viscosidad de un detergente líquido en bidón presente en el mercado formal siendo su valor de 575 mPa*s. De la misma manera, se determinó la viscosidad de un pod, resultando en 625 mPa*s. La viscosidad como tal puede ser un indicador de que tan aspirable o deglutible es una sustancia, por lo cual puede determinar la predominancia de una vía de exposición, respiratoria u oral.

Debido a la anatomía de la vía aerodigestiva superior, las vías aéreas están expuestas a la entrada de cualquier sustancia por medio de la aspiración. Es en este punto que la viscosidad juega un papel fundamental, ya que es un indicador de cuan aspirable es una sustancia, es decir, el aumento de la viscosidad disminuye la aspiración y, mejora la deglución (*Clavé et al., 2006*).

A modo de comparación y para un mejor análisis, podemos comparar la viscosidad de los detergentes con la de hidrocarburos, grupo químico para el cual se sabe que este parámetro es determinante en su toxicidad (*Llanos y García, 2007*). Por ejemplo, el kerosene, un combustible ampliamente utilizado en Chile y con alto riesgo de aspiración,

tiene una viscosidad de 1 a 2,4 mPa/seg (ECHA 2023), valor muy por debajo de la viscosidad determinada para los productos detergentes.

5.3.b) Valores de pH en los detergentes líquidos

El SERNAC determinó un rango de pH de 10,36 a 11,16 en detergentes en polvo de venta en Chile (SERNAC 2019). Para tener una aproximación a los pH reales de productos chilenos, se midió el pH de dos detergentes líquidos de venta en nuestro país, uno de bidón y otro en cápsula. El pH del detergente líquido en bidón dio como resultado 8,13, mientras que la cápsula dio como resultado 6,97. Con respecto al mercado chileno, no se cuenta con esta información, pero de acuerdo con las muestras analizadas se puede constatar que sus valores están dentro de los rangos de pH determinados para un detergente de ropa, por lo cual es probable que contengan sustancias ajustadoras de pH. De acuerdo con la literatura el rango de pH de un detergente líquido es entre 9 a 12 (Sellami-Kamoun et al., 2008).

De acuerdo con las formulaciones encontradas en la base de datos CPID, los detergentes líquidos utilizan ajustadores de pH. Los de bidón usan ácido cítrico, hidróxido de sodio y monoetanolamina principalmente. Por otra parte, los detergentes en cápsula solo utilizan monoetanolamina, mientras que las presentaciones en polvo no contienen estos compuestos.

El pH es una propiedad química sumamente importante de analizar, ya que el ser humano posee un pH propio de la superficie de la piel, y estos valores dependen de la edad, sexo, pigmentación de la piel e incluso de la zona del cuerpo analizada. El pH de la sangre es de 7,35, el del estómago es 2,5 (Cardella Rosales, 2007). El pH de la piel en adultos y niños es de tendencia más ácida $\text{pH} < 5,5$ (Sidi y Bourgeois-Spinasse, 1955; Walker, 1961). Los detergentes pueden alterar el pH de la superficie de la piel, considerando que sus valores de pH son muy diferentes a ésta.

5.4) Evaluación de la peligrosidad de los detergentes del mercado informal

En la literatura se encuentran formulaciones que pueden ser utilizadas por fabricantes informales de detergentes. Al inicio del desarrollo de esta tesis, se hizo una compra de formulaciones de detergentes por internet a la empresa FormuMarket, la cual ya no está disponible, al momento de la redacción de este trabajo. El objetivo declarado en la página web de esta empresa era apoyar el desarrollo de negocios en el ámbito de los productos de limpieza, para lo cual, además de las formulaciones, se enviaba una serie de documentos que incentivaban la producción informal de diversos y variados productos, incluyendo instrucciones para la seguridad del trabajador de instituciones nacionales como ACHS o el ISP (figura 7).

Las formulaciones compradas de tres detergentes se pueden visualizar en la tabla 12. Los componentes de las formulaciones compradas son similares a las del mercado formal. Sin embargo, solo cuentan con un tensoactivo, el lauril éter sulfato de sodio y no poseen enzimas ni builders. Dentro de la formulación están incluidos el ácido sulfónico y la soda caustica. Solo una formulación cuenta con ajustador de pH. Las tres formulaciones adquiridas son de presentación líquidas.

Figura 7: Formulaciones de detergentes informales comprados por internet a la empresa FormuMarket.

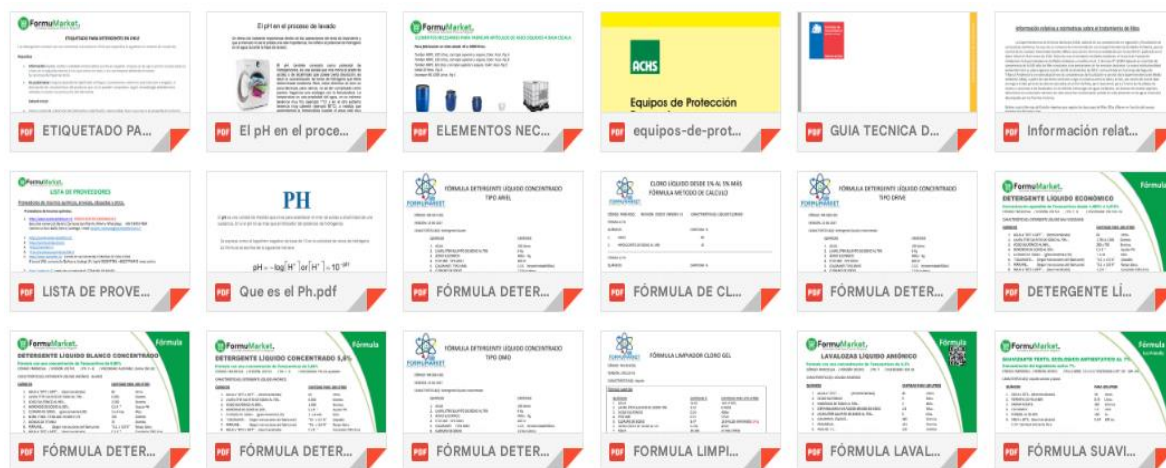


Tabla 12: Formulaciones tipo de detergentes líquidos del mercado informal

Fórmula detergente líquido tipo 1	Fórmula detergente líquido tipo 2	Formula detergente líquido tipo 3
agua 100 litros	agua 100 litros	agua a “20°c o 68°f”, (desmineralizada) 60 litros
lauril éter sulfato de sodio al 70% 6 kg	lauril éter sulfato de sodio al 70% 6 kg	lauril éter sulfato de sodio al 70%, 1.765 a 2.500 gramos
ácido sulfónico 400cc kg	ácido sulfónico 400cc kg	ácido sulfónico al 96%, 265 a 750 gramos
perfume tipo Ariel 400 cc	perfume tipo drive 400 cc	hidróxido de sodio al 50%, c.s.p. * ajustar pH
colorante tipo Ariel c.s.s (recomendado 900 cc)	colorante tipo drive c.s.s (recomendado 900 cc)	cloruro de sodio (granulometría 0,90) 7 a 10 kilos.
cloruro de sodio 11 kg máximo	cloruro de sodio 11 kg máximo	colorante (seguir instrucciones del fabricante) “0.3 a 0,5%” (líquido)
soda caustica liquida 50% c.s.s	soda caustica liquida 50% c.s.s	perfume (seguir instrucciones del fabricante) “0.1 a 0,5 %” rango típico
Agua	agua	agua a “20°c o 68°f” (desmineralizada) c.s.p. *
100 litros	170 litros	100 litros

5.5) Información obtenida a través de convenio AGAD

Actualmente en Chile el mercado informal de los detergentes ha ido en aumento. De acuerdo con información entregada por AGAD Chile (Asociación Gremial de Aseo y Desinfección de Chile A.G.) el comercio informal de detergentes está compuesto por alrededor de 80 marcas, las cuales no cuentan con información de sus componentes en su rotulación, ni control de procedencia. Entre los años 2015 y 2018 hubo un crecimiento de un volumen total de 9.469 toneladas de detergentes informales, cuyas presentaciones son líquidas de bidón y polvo. Las presentaciones líquidas cubren más del 89,9% del mercado informal. Algunos de estos productos líquidos, fueron sometidos a análisis por AGAD, las que al ser comparadas con detergentes de marca demostraron tener menor concentración de tensoactivo y valores de pH extremos (tabla 13), siendo un riesgo para la salud humana (AGAD, comunicación personal). De los 8 productos cuyos datos fueron compartidos, solo uno está dentro del rango de pH de la piel (producto 3), mientras que los productos 5 y 6 aun cuando se acercan, siguen estando por debajo del rango de pH fisiológico dérmico. Las formulaciones 1, 2, 4, 7 y 8 son de carácter básico, valores muy por encima del rango de pH adecuado para la piel. Por lo tanto, es muy probable que el contacto de estas formulaciones con la piel puedan generar algún tipo de alteración y daño en la epidermis. Por otro lado, la viscosidad de la formulación 1 es la más baja y parecida a las cuantificadas en las formulaciones de bidón y cápsulas de productos con marcas comerciales, mientras en el resto de las formulaciones las viscosidades aumentan considerablemente en comparación a los detergentes del mercado formal, probablemente debido a las grandes cantidades de sal que son agregadas para aparentar una mayor consistencia. Esto disminuye el peligro de aspiración, aunque aumentaría la toxicidad al tracto gastro-intestinal.

Tabla 13: Formulaciones de detergentes líquidos de venta informal en Chile

Muestra	Indicación rotulo/etiqueta	pH (25°C)	Viscosidad (25°C) c.s.p	color
1	Detergente premium	9,77	502,2	azul
2	Detergente	9,91	2103	turbio
3	Detergente líquido gel activo	4,29	2560	verde
4	Detergente premium	10,3	3410	Verde
5	Detergente matic	4,01	1665	naranja
6	Detergente sin colorante	3,66	4260	blanco
7	Detergente formula gel	7,13	1055	azul
8	Detergente pH neutro	10,09	1665	verde

Fuente: AGAD Chile 2020

6) Identificación de dosis tóxicas de detergentes para la población pediátrica

Para una mejor estimación del peligro, se realizó una estimación de la dosis a las que posiblemente se podrían exponer los niños en caso de intoxicación. Para una mejor comparación con valores tóxicos umbrales, las dosis fueron estimadas en mg/kg de peso, utilizándose para ello las curvas de crecimiento establecidas por el MINSAL (tabla 14).

Tabla 14: Peso corporal medio (Kg) en niños de 1 a 5 años de Chile

Años	Peso Kg (media)
1	8,9
2	11,5
3	13,9
4	16,1
5	18,2

Fuente: Minsal, 2018

Para la evaluación de la dosis en caso de exposición a cápsulas, se tomó el volumen de detergente que contiene cada unidad (20 ml), dado que este sería el volumen máximo que pudiese ingerir un menor, considerando que las cápsulas son muy fáciles de romper, por ejemplo, al masticar. Para este análisis se tomó en cuenta el tensoactivo de mayor concentración en la formulación de cápsulas de venta en Chile, el dodecilbenzensulfonato de sodio, en una concentración del 30%. Se analizó este detergente, por ser el principal tensoactivo de las cápsulas, las cuales tienen una mayor peligrosidad y estudios de intoxicaciones de detergentes.

Por otro lado, se hicieron estimaciones de volúmenes en el laboratorio, determinándose que una cuchara de té equivale a 4 ml y una cuchara sopera a 8 ml (aproximaciones cualitativas). En la tabla 14 se entregan las dosis calculadas para distintas edades pediátricas.

Tabla 15: Cálculo estimación dosis de exposición del tensoactivo dodecilbenzensulfonato de sodio

Volumen detergente (ml)	Concentración detergente 30% (g/ml)	Dosis por edad expresado en g/kg de peso (1 a 5)				
		1	2	3	4	5
0,5	0,15	0,0168	0,0130	0,0108	0,0093	0,0082
2	0,6	0,0674	0,0522	0,0432	0,0373	0,0330
4	1,2	0,1348	0,1043	0,0863	0,0745	0,0659
6	1,8	0,2022	0,1565	0,1295	0,1118	0,0989
8	2,4	0,2697	0,2087	0,1727	0,1490	0,1319
10	3	0,3371	0,2609	0,2158	0,1863	0,1648
12	3,6	0,4045	0,3130	0,2590	0,2236	0,1978
14	4,2	0,4719	0,3652	0,3021	0,2609	0,2308
16	4,8	0,5393	0,4174	0,3453	0,2981	0,2637
18	5,4	0,6067	0,4696	0,3885	0,3354	0,2967
20	6	0,6742	0,5217	0,4316	0,3727	0,3297

Resultados: El cálculo de la dosis (g/kg) se realizó en base al peso corporal de la tabla 13.

7) Caracterización del riesgo para tensoactivo dodecilbenzensulfonato de sodio

Para la evaluación del riesgo de intoxicación de una sustancia absorbida por el organismo humano, es utilizado el parámetro *MOE (Margin of Exposure)*, que corresponde a la relación entre *NOAEL* (máxima dosis de exposición experimental a la cual no se observan efectos tóxicos) y la dosis de exposición humana a la sustancia. Se consideró como factor de incerteza de 100, para tomar en cuenta la variabilidad e incertidumbre de los datos. Dado que en la literatura se encontraron distintos valores de *NOAEL* se decidió trabajar con el valor de la publicación más reciente 85 mg/kg de peso corporal/día en ratas (*HERA 2007*).

A continuación se caracteriza el riesgo, para dodecilbenzensulfonato de sodio, considerando el *NOAEL* de 85 mg/kg y el peor de los escenarios descritos en la tabla 14 dosis (0,6742 g/kg).

Margen de exposición = NOAEL en animales/ exposición humana

(ecuación 1) $MOE = 0,085 \text{ g/kg} / 0,6742 \text{ g/Kg} = 0,1261$

Este margen tan pequeño (ecuación 1), se puede considerar no seguro, ya que valores bajos indican que los niveles de exposición en el hombre están próximos a los *NAOEL* en animales. Por lo tanto una cápsula de 20 ml, con una concentración del 30% de dodecilbenzensulfonato de sodio, es peligrosa para un niño de 1 año de edad con un peso de 8,9 kg.

Para calcular el *MOE* de dodecilbenzensulfonato de sodio, en una intoxicación por una cucharada de té equivalente a 4 ml y por una cucharada sopera equivalente a 8 ml, en un menor de 1 año, se utilizaron los resultados de la tabla 14, considerando el *NOAEL* de 85 mg/kg.

(ecuación 2) $MOE_{4 \text{ ml}} = 0,085 \text{ g/kg} / 0,1348 \text{ g/Kg} = 0,6305$

(ecuación 3) $MOE_{8 \text{ ml}} = 0,085 \text{ g/kg} / 0,2697 \text{ g/Kg} = 0,3152$

En ambos resultados (ecuación 2 y 3), el margen es pequeño, por lo tanto, se puede considerar no seguro, ya que valores bajos indican que los niveles de exposición en el hombre están próximos a los *NAOEL* en animales. Por lo tanto una cucharada de té y una cucharada sopera, con una concentración del 30% de dodecilbenzensulfonato de sodio, es peligrosa para un niño de 1 año de edad con un peso de 8,9 kg.

8) Discusión

8.1) Detergentes del mercado formal

Primeramente es necesario indicar que la base de datos del CPID es un supuesto para este trabajo, ya que como bien es sabido, no existe en nuestro país una base de datos en la cual estén declaradas las formulaciones de los detergentes, por lo cual fue necesario tener una aproximación de las formulaciones. Un segundo punto es considerar que las empresas internacionales presentes en Estados Unidos como P&G y Unilever, son las mismas que están presentes en el mercado chileno, por lo tanto es posible presumir que sus productos cuentan con las mismas formulaciones en ambos países.

En Chile son comercializadas las mismas presentaciones que en Estados Unidos (detergentes en bidón, polvo, cápsulas y para diluir); Sin embargo, la diferencia está en la cantidad de marcas comercializadas en Estados Unidos, ya que poseen mayor variedad de cada presentación. En general, en ambos países los consumidores optan en primer lugar por los detergentes líquidos, seguidos de los polvos y por último las cápsulas. Esto explicaría en parte el estudio del CITUC (*González et al., 2019*), en el cual en nuestro país hay una bajo número de intoxicaciones por cápsulas, lo cual contrasta con Estados Unidos (*NPDS*) *National Poison Data System*.

8.1.a) Detergentes líquidos de bidón

Para comenzar con el análisis de los datos presentados, hay diferencias significativas en las concentraciones del tensoactivo lauril eter sulfato de sodio, principal tensoactivo de estas presentaciones. Su concentración fluctúa entre un 15% en presentaciones de bidón en CPID, a un 36 % en la formulación comercial donada por AGAD de venta en Chile. Esta diferencia puede sugerir un mayor peligro en la presentación nacional, considerando que este tensoactivo tiene estudios de toxicidad, en los cuales su mecanismos de acción es a través de la interacción con la membrana celular de los queratinocitos.

Sin embargo, los estudios epidemiológicos muestran que a nivel dérmico el daño es mínimo, menos del 5% de los casos presentan quemaduras, y eritema y solo si el contacto es prolongado (*Fraser et al., 2012; Williams et al., 2014; Yin et al., 2015; Day et al., 2019*). De esta manera, se considera que las intoxicaciones dérmicas son de carácter crónico más que agudo, ya que son daños a largo plazo por el mecanismo de acción de los tensoactivos y en ese sentido podrían darse más en adultos que realizan el lavado de ropa.

El Lauril éter sulfato de sodio (SLES) es el tensoactivo aniónico de mayor uso en las formulaciones líquidas revisadas en la base de datos del CPID, y su mecanismo de toxicidad a nivel dérmico incluye una fácil penetración hacia las capas celulares de la piel donde interactúa con las membranas celulares aumentando la entrada de Ca^{+2}

intracelular y desencadenando la secreción de IL-1 α y ROS intracelulares en los queratinocitos (Mizutani et al. 2016). Este mecanismo explicaría el daño a nivel dérmico como enrojecimiento, hinchazón, sequedad y picazón.

Las intoxicaciones a través de la vía inhalatoria producen tos, estornudos y disminución ventilatoria (hipercapnia). La viscosidad determinada en el laboratorio de esta presentación es de (575 mPa*s) menor a la viscosidad de las cápsulas, podría presumirse que es más dispersable por el flujo inhalatorio, disminuyendo así su deglución y aumentando la exposición de las vías aéreas a este producto a través de la aspiración. Sin embargo, al comparar esta viscosidad con la de las sustancias que si tienen estudios de aspiración como los hidrocarburos se puede apreciar que hay una gran diferencia en los valores, por lo cual la viscosidad podría no ser una propiedad determinante de la intoxicación al momento de producirse la exposición por esta vía.

Otra causa de aspiración es el mecanismo de succión que tienen los lactantes, se estima que entre las semanas 32 y 34 recién hay sincronismo entre la acción de succión y deglución, por lo tanto la alimentación oral antes de esa fecha es peligrosa. Esto generaría una mayor exposición de la vía inhalatoria y podría explicar el caso más grave de intoxicación en un lactante (Franco, 2012).

Las intoxicaciones por la vía oral generan irritación de la mucosa oral o gastrointestinal, náuseas, vómitos, secreción excesiva y diarrea. Esta sintomatología puede estar relacionada con los tensoactivos y también con su basicidad. A pesar de que estos productos cuentan con ajustadores de pH, en nuestras manos resultaron más alcalinos que el rango de pH de la piel (pH 8,13). En esta presentación líquida, la concentración de carbonato de sodio, está muy por debajo de las utilizadas en detergentes en cápsula y en polvo, no alcanzando a ser mayor al 5%, por lo cual los carbonatos no tendría relación con su pH.

En la tabla 16 se puede ver de forma resumida las manifestaciones clínicas de las intoxicaciones con detergentes líquidos a través de diferentes vías de exposición.

Tabla 16: Principales manifestaciones clínicas asociadas a los detergente líquidos y su vía de exposición

Vías de exposición	Manifestación
Inhalatoria	Tos, estornudos, disminución ventilatoria.
Dérmica	Enrojecimiento, hinchazón, sequedad y picazón.
Oral	Irritación mucosa oral o gastrointestinal, náuseas, vómitos, secreción excesiva, diarrea.

Fuentes: (Williams et al., 2014; Yin et al., 2015).

8.1.b) Detergentes en cápsulas

También existen diferencias en las concentraciones y en el tensoactivo predominante en cápsulas, siendo el etoxilato de alcohol C12-15 en un 22% el compuesto predominante en formulaciones norteamericanas CPID, mientras que la presentación de venta en Chile tiene como principal tensoactivo al dodecylbencensulfonato de sodio con un 30% (única presentación con la información disponible al público).

Las intoxicaciones por vía inhalatoria generan tos, estornudos y disminución ventilatoria. Cabe señalar que el dodecylbencenosulfonato de sodio es el principal tensoactivo en la formulación de pods de venta en nuestro país, este tensoactivo induce una inflamación eosinofílica de las vías respiratorias acompañada de un aumento de la expresión de IL-33 y la activación de las células linfoides innatas del grupo 2 (ILC2), por lo cual es un tensoactivo peligroso. Este mecanismo de acción explica la sintomatología a nivel respiratorio. Sin embargo, para poder llegar a las vías aéreas es necesario que ocurra aspiración de estos compuestos, por lo cual se midió la viscosidad de las cápsulas dando como resultado 625 mPa*s. Este resultado está dentro de los parámetros de viscosidad de los detergentes (similares a la medida en el detergente de bidón) y está muy por encima de otras sustancias aspirables como los hidrocarburos. Por lo tanto, al ser una sustancia más viscosa, mecánicamente el aire de la inhalación no es capaz de romper la tensión superficial de la solución, por lo tanto no se formarían pequeñas gotas que lleguen al pulmón. Es decir, el aumento de la viscosidad disminuye la aspiración y mejora la deglución. Por lo tanto, se puede decir que la viscosidad en este producto no influye en el proceso de aspiración (*Bisch et al., 1994; Clavé et al., 2006; Cámpora y Falduti, 2012*).

Las intoxicaciones a través de la vía ocular producen dolor intenso, enrojecimiento, hinchazón, vista borrosa y abrasión corneal. De la revisión de las formulaciones en la base de datos se desprende el alto porcentaje de carbonato de sodio en las cápsulas, lo cual podría tener relación con el pH del producto y estar relacionado a las quemaduras corneales. Sin embargo, las cápsulas cuentan con ajustadores de pH, por lo cual para verificar esta hipótesis se midió pH de las cápsulas, el cual resultó ser de 6,97, es decir neutro, lo que nos permite descartar al pH como el responsable de las quemaduras corneales. Por lo tanto el daño corneal se atribuye únicamente al tensoactivo y su concentración, sabiendo que su mecanismo es a través de la elevación del calcio intracelular y acidificación intracelular, generando la muerte celular (*Yang y Acosta, 1995*).

Para las cápsulas, la vía de exposición más común es la oral, siendo sus dimensiones 4 cm alto, 4 cm largo y 2,5 ancho. Estas dimensiones pueden otorgar un mayor peligro a esta presentación, considerando que un niño de 7 años ya tiene una apertura mandibular de 40 mm (*Cortez y Molina, 2004*). La facilidad al romperlos con los dientes es también un causal de estas intoxicaciones, considerando que la dentición de los niños comienza a los seis meses. Las cápsulas poseen grandes cantidades de carbonato de sodio, y diferentes

estudios indican que el carbonato de sodio aumenta las erosiones dentales por el pH, también lesiones gastroesofágicas produciendo esofagitis, gastritis erosiva y estenosis esofágica. Sin embargo, el etoxilato de alcohol, es también un tensoactivo presente principalmente en las cápsulas, y la literatura lo define como eméticos, probablemente debido a su efecto irritante, por lo cual se puede deducir una toxicidad sistémica poco probable (*Gingell and Lu, 1991*).

En la tabla 17 se puede ver de forma resumida las manifestaciones clínicas de las intoxicaciones con detergentes en cápsulas a través de diferentes vías de exposición.

Tabla 17: Principales manifestaciones clínicas asociadas a los detergente en cápsula y su vía de exposición

Vías de exposición	Manifestaciones
Inhalatoria	Tos, estornudos, disminución ventilatoria.
Dérmica	Enrojecimiento, hinchazón, sequedad y picazón.
Ocular	Dolor intenso, enrojecimiento, hinchazón, vista borrosa, abrasión corneal en niños de 12 meses.
Oral	Irritación mucosa oral o gastrointestinal, náuseas, vómitos, disfunción de la deglución, secreción excesiva, diarrea, úlceras esofágicas.

(*Smith et al., 2014; Williams et al., 2014; Yin et al., 2015; Shi et al., 2021*).

A partir de la estimación de la dosis tóxica del tensoactivo dodecilbenzensulfonato de sodio, principal tensoactivo de estas formulaciones, se calculó el MOE (margen de exposición). Los resultados obtenidos para la vía oral, considerando el peor escenario para una intoxicación por cápsulas (20 ml) en un menor de 1 año de edad, da como resultado, un MOE= 0,1261, menor al límite de <100, y que representa un riesgo no controlado. Por otra parte, los mililitros equivalentes a una cuchara de té y una sopera también serian un peligro para los menores de 1 año bajo las mismas condiciones del tensoactivo MOE_{4 ml} = 0,6305; MOE_{8 ml} = 0,3152.

8.1.c) Detergentes en polvo

Las intoxicaciones por detergentes en polvo tienen como manifestación clínica el estridor y dificultad respiratoria, las que podría explicarse de la siguiente forma: Las presentaciones en polvo son volátiles y fáciles de inspirar, justificando la exposición por vía inhalatoria. Por otra parte, el daño e inflamación a nivel pulmonar puede tener directa relación con el tensoactivo utilizado en estas presentaciones, principalmente el dodecilbencenosulfonato de sodio, compuesto que inducen una inflamación eosinofílica de las vías respiratorias (*Saito et al., 2023*).

Las presentaciones en polvo no contienen ajustadores de pH a diferencia de los detergentes líquidos, y aun que un estudio del SERNAC determinara estos valores entre 10,36 y 11,16, estas presentaciones poseen altas concentraciones de carbonato de sodio, el cual está asociado a lesiones gastroesofágicas, gastritis erosiva y estenosis esofágica, lo cual explicaría su causticidad a nivel oral y dérmico. (*Chen et al., 2021*).

En la tabla 18 se puede ver de forma resumida las manifestaciones clínicas de las intoxicaciones con detergentes en polvo a través de diferentes vías de exposición.

Tabla 18: Principales manifestaciones clínicas asociadas a los detergente en polvo y su vía de exposición

Vías de exposición	Manifestación
Inhalatoria	Estridor, dificultad respiratoria
Dérmica	Dermatitis
Oral	Babeo
Ocular	No registrada

(*Einhorn et al., 1989; Belsito et al., 2002*).

8.1.d) Enzimas

La utilización de enzimas disminuiría el peligro de los detergentes ya que estos al tener presentes las enzimas en su formulación requieren una menor concentración de tensoactivos y la utilización de otros agentes coadyuvantes para el lavado. Sin embargo, dado que su actividad depende del pH, las formulaciones deben mantener pH alto para su mejor actividad. Esto coincide con el uso de la enzima subtilisina presente en la formulaciones en polvo las cuales poseen altas concentraciones de carbonato de sodio (hasta 60%). Por otra parte, en la base de datos del CPID se indica que las enzimas son agentes asmágenos, pero diversos estudios respaldan su utilización, por lo tanto se puede pensar que ese efecto más bien pueda ser causado por el tensoactivo que justamente genera daño e inflamación de las vías respiratorias.

8.2) Detergentes del mercado informal

Los detergentes del mercado informal utilizan principalmente el lauril eter sulfato de sodio, y casi en su totalidad utilizan solo un tensoactivo en la formulación a diferencia de los detergentes industriales, lo cual podría indicar una menor eficiencia del lavado, y aun más importante, un menor peligro asociado al número de tensoactivos. Es importante mencionar que el tensoactivo utilizado en las formulaciones revisadas (lauril eter sulfato de sodio), es también el de mayor uso en las formulaciones líquidas revisadas en la base de datos del CPID, y también coincide con la formulación del mercado formal entregada por AGAD.

Por lo general los detergentes son de carácter básico ya que los tensoactivos y sus coadyuvantes son más eficientes a un pH elevado, lo cual se contrarresta con los pH menores a 5 de tres formulaciones de la tabla 12 (muestra 3, 5 y 6). Sin embargo, esto explicaría por qué al momento de fabricar es utilizado este tensoactivo y no otros, debido a que el lauril eter sulfato de sodio es eficaz en un amplio rango de pH, lo cual sería una preocupación menos al momento de fabricar el detergente, pero generaría un mayor peligro al no tener precaución y conocimiento de esta propiedad, tanto para el usuario como para quienes los fabrican en sus hogares. Por otra parte no cuentan con enzimas como coadyuvantes, esto también relacionado al pH ya que la función enzimática depende directamente de este, un pH básico aumenta su actividad, sin mencionar que las enzimas poseen un costo elevado y probablemente sea la razón de no utilizarlas.

Dentro de la información proporcionada por AGAD, se encuentra el pH de 8 productos del mercado informal de detergentes. Los pH presentan un amplio rangos de pH desde 3,66 a 10,3. De los datos entregados, tres están por debajo de pH 5 (4,29; 4,01 y 3,66), cinco son básicos (9,77; 9,91; 10,3 y 10,09) y uno es neutro (7,13). Para que un detergente tenga un comportamiento caustico es necesario que sus valores de pH sean inferiores a 3 o superiores a 11, ya que estos valores extremos pueden producir inflamación y lesiones en las paredes del aparato digestivo (orofaríngeo, esófago y estomago) principalmente, lo cual coincide con las manifestaciones clínicas por intoxicaciones de detergentes líquidos del mercado formal (*Ramírez y Manuel, 2010*). Si bien los valores informados en los análisis de AGAD no están en estos rangos, se le acercan mucho, como es el caso de 3,66 (ácido) y 10,3 (básico) y pueden significar un peligro para los niños. A nivel dérmico estos valores de pH igualmente están fuera del rango mencionado anteriormente pH 4,1 a 5,8, y si bien no pudiesen generar daños tan graves, igualmente pueden producir alteraciones en la piel.

Otra característica son las altas concentraciones de sal NaCl, tal como lo indica AGAD utilizada como espesante con el fin de aparentar una consistencia similar al mercado formal. La sal genera daños en las lavadoras y es irritante para la piel. Tal como se mencionó, las altas concentraciones de esta sustancia, aumentan la viscosidad de los productos, que son muy superiores a las del mercado formal (rango de 502,2 a 4260

mPa*s). Estas altas viscosidades en los detergentes del mercado informal podrían producir lesiones más profundas que unas formulaciones menos viscosas, ya que se prolonga el contacto con el aparato digestivo, además de mejorar la deglución, lo cual aumenta la exposición por vía oral.

AGAD indica que el crecimiento del mercado informal entre los años 2015 y 2018 fue de un 6,1% a un 48, 2%, produciéndose un total de 31.139 toneladas de detergente líquido en el último año, la presentación líquida es la predominante ya que la presentación en polvo es producida en menor proporción.

9) Conclusión

9.1) Detergentes del mercado formal

- Los principales componentes de los detergentes líquidos, en polvo y cápsulas son los tensoactivos. Sin embargo, en algunas presentaciones en polvo el carbonato de sodio supera al tensoactivo en cantidad. Los principales tensoactivos presentes en las formulaciones de detergentes son lauril eter sulfato de sodio, dodedilbencensulfonato de sodio y etoxilato de alcohol C12-15.
- Los tensoactivos presentes en las formulaciones estudiadas son inherentemente peligrosos, ya que tienen mecanismos de acción por los cuales generan daño a nivel dérmico, oral, ocular e inhalatorio. Por otra parte, los detergentes en cápsulas son la presentación más peligrosa por vía oral del mercado formal, por su tipo de tensoactivo y por su exposición y por las concentraciones elevadas de tensoactivo, presentando un mayor número de intoxicaciones de mayor gravedad.
- A partir de la estimación de la dosis tóxica del tensoactivo dodecilbensulfonato de sodio, a través del cálculo del MOE (margen de exposición) por la vía oral, un volumen de 20 ml (equivalente a una cápsula) representa un riesgo no controlado para un niño de 1 año de edad. Por otra parte, los mililitros equivalentes a una cuchara de té y una sopera también serían un peligro para los menores de 1 año.
- Es importante conocer de manera más amplia los peligros y riesgos de los detergentes de ropa y el manejo de las intoxicaciones.

9.2) Detergentes del mercado informal

- El principal tensoactivo de los detergentes informales es el lauril eter sulfato de sodio.
- El mayor peligro de los detergentes informales son los valores de pH extremos que pueden generar causticidad por vía oral.
- La viscosidad de estas formulaciones es mucho mayor a las del mercado formal.
- Viscosidades muy elevadas facilitan su deglución y acentúan el daño a nivel gastrointestinal, disminuyendo el riesgo de aspiración.
- Elevada cantidad de sal presente en su formulación, puede generar daño dérmico e irritación.

10) Bibliografía

- Azrin, N. A. M., Ali, M. S. M., Rahman, R. N. Z. R. A., Oslan, S. N., and Noor, N. D. M. (2022). Versatility of subtilisin: A review on structure, characteristics, and applications. *Biotechnology and Applied Biochemistry*, 69(6), 2599–2616.
- Bahceci Erdem S., Nacaroglu H. T., Isgüder R., Unsal Karkiner C. S., Alper H., and Can D. (2016). Complicaciones pulmonares de la neumonía química: A propósito de un caso. *Archivos argentinos de pediatría*, 114(4), e245-e248.
- Bajpai D., & Tyagi V. K. (2007). Laundry detergents: An overview. *Journal of Oleo Science*, 56(7), 327–340.
- Belsito D. V., Fransway A. F., Fowler J. F., Jr. Sherertz E. F., Maibach H. I., Mark J. G., Jr. Mathias C. G. T., Rietschel R. L., Storrs F. J., and Nethercott J. R. (2002). Allergic contact dermatitis to detergents: A multicenter study to assess prevalence. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 46(2), 200–206.
- Bisch E. M., Logemann J. A., Rademaker A. W., Kahrilas P. J., and Lazarus C. L. (1994). Pharyngeal effects of bolus volume, viscosity and temperature in patients with dysphagia resulting from neurologic impairment and in normal subjects. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research: JSLHR*, 37(5), 1041–1049.
- Bondi C. A. M., Marks J. L., Wroblewski L. B., Raatikainen H. S., Lenox S. R., and Gebhardt K. E. (2015). Human and environmental toxicity of sodium Lauryl sulfate (SLS): Evidence for safe use in household cleaning products. *Environmental Health Insights*, 9, EHI.S31765.
- Cabanes A. S. (2014). Tensioactivos en la industria textil. *3C Tecnología* 3(3), 137-151.
- Cámpora H., y Falduti Al. (2012). Evaluación y tratamiento de las alteraciones de la deglución. *Revista americana de medicina respiratoria*, 12(3), 98-107.
- Cater K. C., and Harbell J. W. (2013). Prediction of eye irritation potential of liquid and granular laundry detergent formulas using the bovine corneal opacity and permeability (BCOP) assay. *Cutaneous and Ocular Toxicology*, 32(3), 210–221.
- Chen C.-C., Chen A.-C., and Wu S.-F. (2021). Alkaline substances gastroesophageal injury in young children: emphasis on Asian food preparation habits. *Taiwan Yi Zhi [Journal of the Formosan Medical Association]*, 120(10), 1907–1913.
- Clavé P., de Kraa M., Arreola V., Girvent M., Farré R., Palomera E., and Serra-prat M. (2006). The effect of bolus viscosity on swallowing function in neurogenic dysphagia. *Alimentary Pharmacology and Therapeutics*, 24(9), 1385–1394.
- Corrales E. (2018). Enzimas en la industria de detergentes. *Revista ambientellania*, 1(1).

Cortez Albornoz, A., & Molina Rodríguez, G. (2004). Examen funcional en niños de 5 a 10 años, atendidos en la Clínica de Odontología y Traumatología Dental Infantil de la Universidad de Valparaíso.

Day R., Bradberry S. M., Thomas S. H. L., and Vale J. A. (2019). Liquid laundry detergent capsules (PODS): a review of their composition and mechanisms of toxicity, and of the circumstances, routes, features, and management of exposure. *Clinical Toxicology (Philadelphia, Pa.)*, 57(11), 1053–1063.

De la Oliva Urieta S., Mencías Rodríguez E., Ucha Domingo M. S., Agudo Ordóñez J., and Conejo Menor J. L. (2016). Exposiciones tóxicas a las cápsulas de detergentes de ropa en España. *Revista española de medicina legal*, 42(1), 17–23.

ECHA (2020). Agencia europea de productos químicos. *Dodecylbencensulfonato de sodio*. disponible en: <https://echa.europa.eu/es/registration-dossier/-/registered-dossier/11639/7/3/4> [acceso: 26-09-23].

ECHA (2023). Agencia europea de productos químicos. Etoxilatos de alcohol c12-15. disponible en en: <https://echa.europa.eu/es/registration-dossier/-/registered-dossier/12510/1/2> [acceso: 26-09-23].

ECHA (2023). Agencia europea de productos químicos. Lauril eter sulfato de sodio. disponible en: <https://echa.europa.eu/brief-profile/-/briefprofile/100.105.723> [acceso: 26-09-23].

ECHA (2023). Agencia europea de productos químicos. *Queroseno*. disponible en: <https://echa.europa.eu/es/registration-dossier/-/registered-dossier/15567/10> [acceso: 15-02-2024].

Einhorn A., Horton L., Altieri M., Ochsenschlager D., and Klein B. (1989). Serious respiratory consequences of detergent ingestions in children. *Pediatrics*, 84(3), 472–474.

Franco L. V. (2012). Lactancia materna. *Dr. Rogelio Rodríguez Bonito*, 56.

Fraser L., Wynne D., Clement W. A., Davidson M., and Kubba H. (2012). Liquid detergent capsule ingestion in children: an increasing trend. *Archives of Disease in Childhood*, 97(11), 1007.1-1007.

Gingell R., and Lu C. C. (1991). Acute, subchronic, and reproductive toxicity of a linear alcohol ethoxylate surfactant in the rat. *Journal of the American College of Toxicology*, 10(4), 477–486.

González F., Retamal C., Silva L., Cerda P., Medel P., Solari S., Mellado R., y Ríos J.C. (2019). Caracterización de las consultas realizadas a un Centro de Información Toxicológica por productos de aseo y productos cosméticos en niños. *Revista chilena de pediatría*, 90(5), 500-507.

Gray M. E., and West C. E. (2014). Corneal injuries from liquid detergent pods. *Journal of AAPOS*, 18(5), 494–495.

Gummin D. D., Mowry J. B., Spyker D. A., Brooks D. E., Beuhler M. C., Rivers L. J., Hashem H. A., and Ryan M. L. (2019). 2018 annual report of the American Association of Poison Control Centers' National Poison Data System (NPDS): 36th annual report. *Clinical Toxicology (Philadelphia, Pa.)*, 57(12), 1220–1413.

HERA (2003). Human and environmental risk assessment ingredients of european households cleaning products. Alcohols ethoxysulphates, human health risk assessment. edition 1. disponible en: <https://www.heraproject.com/files/1-hh-04-hera%20aes%20hh%20web%20wd.pdf> [acceso: 31-10-23].

Jiménez Islas D., Medina Moreno S. A. y Gracida Rodríguez J. N. (2010). Propiedades, aplicaciones y producción de biotensoactivos: una revisión. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 26(1), 65-84.

Jiménez M. R., Pajares A. L., Bartolomé A. A., Bartolomé E. P., Prada C. N. y Pereda G. A. (2014). Análisis de la validez de diferentes fórmulas para estimar el peso en función de la edad en urgencias de pediatría. *Revista española de pediatría: clínica e investigación*, 70(1), 33-7.

Jiménez Y., y López M. (2011). Aplicabilidad de la técnica de espectroscopia de reflectancia en el infrarrojo cercano para determinar dodecibenceno sulfonato de sodio en limpiadores líquidos. *Avances en Química*, 6(2), 38-46.

Llanos J. y García C. (2007). Caso Radiológico Pediátrico. *Revista chilena de enfermedades respiratorias*, 23(1), 53-55.

Macario A., Verri F., Diaz U., Corma A. and Giordano G. (2013). Pure silica nanoparticles for liposome/lipase system encapsulation: Application in biodiesel production. *Catalysis Today*, 204, 148–155.

Mizutani T., Mori R., Hirayama M., Sagawa Y., Shimizu K., Okano Y., and Masaki H. (2016). Sodium Lauryl sulfate stimulates the generation of reactive oxygen species through interactions with cell membranes. *Journal of Oleo Science*, 65(12), 993–1001.

Monsante L., Martinez C., Vega-Briceño L., Gutierrez M., Chiarella P. y Caravedo L. (1997). Derrame pleural como complicación respiratoria de la ingesta de kerosene en niños.. *Revista Medica Herediana*, 8(1), 19-22.

NPDS (2024). National Poison Data System disponible en: <https://www.aapcc.org/track/laundry-detergent-packets> [acceso: 15-02-24].

Proksch E. (2018). pH in nature, humans and skin. *The Journal of Dermatology*, 45(9), 1044–1052.

Ramírez R. y Manuel J. (2010). Control y tratamiento médico por ingestión de sustancias cáusticas. *Medisan*, 14(3), 0-0.

Rodríguez Rodríguez, J. (2017). Diseño óptimo de la composición de un detergente líquido para la ropa teniendo en cuenta las preferencias del mercado. Universidad de los Andes. Disponible en: <http://hdl.handle.net/1992/61645>

Saito K., Orimo K., Kubo T., Tamari M., Yamada A., Motomura K., Sugiyama H., Matsuoka R., Nagano N., Hayashi Y., Arae K., Hara M., Ikutani M., Fukuie T., Sudo K., Matsuda A., Ohya Y., Fujieda S., Saito H., Morita H. (2023). Laundry detergents and surfactants-induced eosinophilic airway inflammation by increasing IL-33 expression and activating ILC2s. *Allergy*, 78(7), 1878–1892.

Salager J. L. (2002). Surfactantes. Plan piloto en especialidades químicas. Laboratorio de Formulación, Interfases, Reología y Procesos. Escuela de Ingeniería Química. *Universidad de los Andes*, Venezuela. 114-126.

Salager J. L. y Fernández A. (2004). Surfactantes. Plan piloto en especialidades químicas. Escuela de ingeniería química. *Universidad de los Andes*, 114-126.

Sellami-kamoun A., Haddar A., AliN. E. H., Ghorbel-frikha B., Kanoun S. and Nasri M. (2008). Stability of thermostable alkaline protease from bacillus licheniformis rp1 in commercial solid laundry detergent formulations. *Microbiologicalresearch*, 163(3), 299-306.

SERNAC 2019. Estudio de deficiencia en la rotulación de detergentes. [en línea]. available: <http://www.sernac.cl> [último acceso: 26-nov-2020].

Shi Y., Jiang N., Bikkannavar P., Cordeiro M. F., and Yetisen A. K. (2021). Ophthalmic sensing technologies for ocular disease diagnostics. *Analyst*, 146(21), 6416-6444.

SilluéS. M., RamdaniH. B., Hernandol. H. and López R. (2022). Informe del comité científico de la agencia española de seguridad alimentaria y nutrición (AESAN) en relación con la seguridad del uso de una solución acuosa de lauril éter sulfato sódico como coadyuvante tecnológico para el lavado de manzanas, melocotones, plátanos, tomates, pimientos y cítricos en las plantas de procesado. *Revista del comité científico de la aesan*, (35), 139-150.

Singh I., Singh A., Kour R., Singh A., Singh R., and Bali, A. (2018). Is sodium carbonate in snuff a causative factor for oral mucosal lesions: A cross-sectional analysis. *Journal of International Society of Preventive and Community Dentistry*, 8(4), 339-342.

Smith E., Liebelt E., and Nogueira J. (2014). Laundry detergent pod ingestions: is there a need for endoscopy?. *Journal of medical toxicology*, 10, 286-291.

- Soderlund E. (1993). Sodium dodecylbenzene sulfonate. *Health effects of selected chemicals: volume 2*, 209.
- Valdez A. L., Casavant M. J., Spiller H. A., Chounthirath T., Xiang H. and Smith G. A. (2014). Pediatric exposure to laundry detergent pods. *Pediatrics*, 134(6), 1127-1135.
- Vojcic L., Pitzler C., Körfer G., Jakob F., Martinez R., Maurer K. H. and Schwaneberg U. (2015). Advances in protease engineering for laundry detergents. *New biotechnology*, 32(6), 629-634.
- Walker, G. T. (1961). The pH of the skin. *Drug and cosmetic industry*, 89, 585.
- Wang M., Tan G., Eljaszewicz A., Meng Y., Wawrzyniak P., Acharya S. and Wang C. (2019). Laundry detergents and detergent residue after rinsing directly disrupt tight junction barrier integrity in human bronchial epithelial cells. *Journal of allergy and clinical immunology* 143(5), 1892-1903.
- Whitney R. E., Baum C. R. and Aronson P. L. (2015). Diffuse corneal abrasion after ocular exposure to laundry detergent pod. *Pediatric emergency care*, 31(2), 127-128.
- Williams H., Jones S., Wood K., Scott R. A., Eddleston M., Thomas S. H. and Vale J. A. (2014). Reported toxicity in 1486 liquid detergent capsule exposures to the UK national poisons information service 2009–2012, including their ophthalmic and CNS effects. *Clinical toxicology*, 52(2), 136-140.
- Xian M. U., Wawrzyniak P., Rückert B., Duan S., Meng Y., Sokolowska M. and Akdis C. A. (2016). Anionic surfactants and commercial detergents decrease tight junction barrier integrity in human keratinocytes. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 138(3), 890-893.
- Yang W. and Acosta D. (1995). A digitized fluorescence imaging study of intracellular Ca²⁺, pH, and mitochondrial function in primary cultures of rabbit corneal epithelial cells exposed to sodium dodecyl sulfate. *In vitro cellular & developmental biology-animal*, 31, 499-507.
- Yin S., Behrman A. and Colvin J. (2015). Laundry pack exposures in children 0–5 years evaluated at a single pediatric institution. *The journal of emergency medicine*, 48(5), 566-572.

11) Anexo

- Convenio marco de colaboración con AGAD, asociación gremial de aseo y desinfección de Chile.
- Compra de formulaciones de detergentes del mercado informal, realizada por el laboratorio de toxicología de la Universidad de Valparaíso.