

CAPÍTULO II.

IMPACTOS AMBIENTALES DE LA INDUSTRIA QUÍMICA: ANÁLISIS DE UN ESTUDIO DE CASO Y PROPUESTA DE MANEJO FRENTE A DERRAMES ÁCIDOS Y/O BÁSICOS

Environmental impacts of the chemical industry: analysis of a case study and management proposal for acid and/or basic spills

Jonathan S. Pelegrín Ramírez

✉ jonathan.pelegrin00@usc.edu.co

🌐 <https://orcid.org/0000-0001-5954-5476>

Jairo Roberto Suárez Galíndez

✉ jaisual@yahoo.com

🌐 <http://orcid.org/0000-0002-9771-9403>

Universidad Santiago de Cali
Cali, Colombia

Cita este capítulo:

Pelegrín Ramírez, J. S. y Suárez Galíndez, J.R. (2021). Impactos ambientales de la industria química: análisis de un estudio de caso y propuesta de manejo frente a derrames ácidos y/o básicos. En: Freire Tigreros, M. E. (Ed. científica). *Tópicos de Gestión Ambiental: Enlazando ciencia, sociedad y educación* (pp. 41-90). Cali, Colombia: Editorial Universidad Santiago de Cali.

IMPACTOS AMBIENTALES DE LA INDUSTRIA QUÍMICA: ANÁLISIS DE UN ESTUDIO DE CASO Y PROPUESTA DE MANEJO FRENTE A DERRAMES ÁCIDOS Y/O BÁSICOS

*Jonathan S. Pelegrín Ramírez
Jairo Roberto Suárez Galíndez*

RESUMEN. El impacto ambiental del sector industrial ocasionado por derrames accidentales de ácidos y de bases genera la necesidad de proponer soluciones químicamente amigables, que permitan mitigar este tipo de percances y contribuyan así a procesos industriales más sostenibles. En este contexto, se plantea una alternativa de solución empleando una mezcla anfótera de neutralización. El análisis de caso se realizó en la empresa Quimicol S.A., en la cual se caracterizó la ocurrencia de los derrames de sustancias líquidas peligrosas para conocer los contextos y percepciones de los trabajadores frente a los mismos, encontrando conocimiento significativo en el personal técnico. Sin embargo, se detectó exceso de confianza en el manejo de siniestros por parte de operarios de transporte, pero no un manejo correcto en muchos casos. Asimismo, se evaluó la eficacia de diversas combinaciones con potencial de neutralización frente a ácidos (HCl) y bases (NaOH). Se determinó que la concentración más eficaz fue la mezcla 5 constituida por un 40% de $MgSO_4$ y 60% de MgO . Igualmente, las pruebas con materiales mostraron también que los paños poliméricos resultan ser los materiales más eficaces en contención de derrames. Finalmente, este trabajo plantea una alternativa económica, viable y asequible para la mitigación y prevención de los derrames químicos. Desde el enfoque de este libro

recomendamos una fuerte articulación de ciencia y educación, lo cual redundará contundentemente en la reducción de accidentes y en una cultura de cuidado y conciencia ambiental.

PALABRAS CLAVE: neutralización ácido-base, desactivación, anfótero, contaminación química, plan de emergencia.

ABSTRACT. The environmental impact of the industrial sector caused by accidental spills of acids and bases generates the need to propose chemically friendly solutions, which allow mitigating these types of mishaps and thus contribute to more sustainable industrial processes. In this context, an alternative solution is proposed through the evaluation and study of an optimal absorbent material and the use of an amphoteric product. In this context, an alternative solution is proposed using an amphoteric neutralization mixture. The case study was carried out in the Quimicol S.A. company, which the occurrence of spills of dangerous liquid substances was characterized to know the contexts and perceptions of the workers regarding them, finding significant knowledge in the technical staff. However, we detected overconfidence in handling of claims by transport operators, but not correct handling in many cases. Also, we evaluate the efficacy of various combinations with neutralization potential against acids (HCl) and bases (NaOH). The most effective concentration was the solution number 5, consisting of 40% (MgSO₄) and 60% (MgO). Likewise, material tests also showed that polymeric wipes turn out to be the most effective materials in containing spills. Finally, this work proposes an economic, viable and affordable alternative for the mitigation and prevention of chemical spills, from the focus of this book we recommend a strong articulation between science and education, which will strongly

result in the reduction of accidents and improving culture of environmental care and awareness.

KEYWORDS: acid-base neutralization, deactivation, amphoteric, chemical contamination, emergency plan.

INTRODUCCIÓN

En el contexto de la crisis ambiental global, la contaminación química originada por la industria compromete la biodiversidad y la conservación de las especies en los ecosistemas terrestres y acuáticos, origina muertes, daños reproductivos, descensos poblacionales, alteraciones hormonales, enfermedades hepáticas, daños en la tiroides y poca incubación, malformaciones y feminización (Camargo y Alonso, 2007; Walker et al., 2012). Diversos organismos tienen la capacidad potencial de almacenar ciertos contaminantes del ambiente (bioacumulación) en sus tejidos, lo cual hará que los organismos que se alimenten de ellos consuman los contaminantes y en la medida que los estos avanzan en las cadenas tróficas, dosis cada vez más altas se verán reflejadas en especies pertenecientes a los eslabones más altos (biomagnificación) (Ali y Khan, 2019). Ambos procesos impactan en los ecosistemas, reduciendo la diversidad y abundancia de especies (Driscoll et al., 2003; Walker et al., 2012). La exposición a las sustancias químicas peligrosas puede ocasionar en los ecosistemas, eutrofización, pérdida de nutrientes, disminución del tamaño de los organismos, de las cadenas alimentarias y de los servicios ecosistémicos, así como cambios en la actividad enzimática, mutaciones de ADN, fijación del nitrógeno, tumores, entre otras afectaciones (Cockerham y Shane, 2019, Walker et al., 2012).

Actualmente, muchos productos químicos empleados en diversos sectores industriales pueden afectar al ser humano, ocasionando problemas tópicos, así como en vías respiratorias y otros sistemas del organismo, e incluso muchos pueden llegar a ocasionar la muerte debido a su toxicidad y nivel de concentración, igualmente muchos compuestos poseen un destacado potencial ecotoxicológico (Walker et al., 2012; Nicolopoulou-Stamati et al., 2016). Por tanto, la salud humana estará intrínsecamente ligada a la salud ambiental (Barrett et al., 2011). Dado el incremento en las demandas de productos y servicios a nivel global, el desarrollo de nuevos productos y el uso de materias primas del orden químico se ha incrementado en los últimos años (Smith, 2016).

De acuerdo con la regulación para el transporte de material químico peligroso, este implica un manejo adecuado de la sustancia en caso de presentarse derrame, lo cual conlleva a la aplicación de un protocolo de tratamiento que retenga y desactive la sustancia, para mitigar su impacto sobre el medio ambiente (Minambiente, 2003). En este sentido, la Asociación Chilena de Seguridad, ACHS (2011), define el derrame químico como “cualquier liberación no prevista de una sustancia química peligrosa. El nivel de riesgo dependerá de las características de cada sustancia y de los procesos que la utilicen”. Asimismo, una sustancia peligrosa puede ser un elemento, compuesto, mezcla o solución que al ser liberada al ambiente puede generar peligro momentáneo permanente para la salud pública o del ambiente (Meyer, 1999; Sarmiento Ortiz et al., 2003; Smith, 2016).

Por otro lado, existe poca investigación científica publicada sobre derrames de sustancias químicas ácidas y básicas inorgánicas, analizando el impacto ambiental de dichos derrames y las secuelas que a mediano y largo plazo puedan generar dichos derrames en el

aspecto ambiental. El mayor porcentaje de producción científica se enfoca principalmente hacia el derrame de hidrocarburos y alternativas de biorremediación frente a los mismos (Baniyadi y Mousavi, 2018; Chen et al., 2019; Zhang et al., 2019). Los derrames ácidos y básicos acuosos se dispersan de forma rápida y dada su capacidad de disolución son más contaminantes en la columna de agua que los de petróleo, los cuales se esparcen sólo en la superficie dada su naturaleza hidrofóbica. Sin embargo, estos últimos suelen asociarse con mayor frecuencia y visibilidad con desastres ambientales dado el impacto mediático y sensibilidad que generan (Gil Agudelo et al., 2015). En este sentido, el análisis del impacto de compuestos ácidos y básicos de amplio uso es fundamental dadas sus profundas consecuencias ambientales. En el caso de estos compuestos, el efecto ambiental del derrame estará ligado principalmente a variaciones en el pH del medio, lo cual dependerán de la cantidad (volumen) y concentración del líquido vertido (French-McCay et al., 2008). Pese a su control y protocolos de manejo, los derrames de sustancias químicas pueden tener por causas factores humanos, mecánicos, de operación o mantenimiento durante los procesos industriales como daños en válvulas, aberturas en contenedores, impactos o deterioros estructurales que generan goteo o pérdidas de las sustancias (Castro-Delgado y Arcos-González, 1998; Alcántara-Garduño & Ramírez-Camacho, 2012).

En el sector industrial, son muchos los productos químicos que durante su cadena de producción, abastecimiento, transporte y disposición (CaPATD) pueden generar un derrame con sus respectivas afectaciones. En el caso de las sustancias ácidas y básicas, el ácido clorhídrico (HCl) y la soda cáustica o hidróxido de sodio (NaOH), son ampliamente usados en diversos procesos industriales tales como la producción de papel o la elaboración de jabones y detergentes.

De acuerdo a la norma NFPA 704, el HCl se clasifica con riesgo de peligrosidad cero (0) indicando riesgo por inestabilidad, aunque es un material corrosivo que no se quema. Mientras, el NaOH se clasifica con riesgo de peligrosidad tres (3), material que bajo una corta exposición puede causar daños temporales o permanentes (National Fire Protection Association, 2012). El ácido clorhídrico es un líquido incoloro o ligeramente amarillo, peligroso, corrosivo e higroscópico (Merck, 2015). Por su parte, el NaOH es un sólido blanco e higroscópico, su disolución en agua genera una base fuerte y calor, la cual reacciona violentamente con ácidos y es corrosiva con metales (Merck, 2017). Los ácidos inorgánicos (como el HCl) en contacto con la piel, pueden generar irritación de los ojos y quemaduras (Cartotto et al., 1996) y la inhalación de los gases de hidróxido de sodio (NaOH) puede ocasionar problemas respiratorios y sangrados (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2011). Estos productos pueden causar alteración del sistema nervioso e inclusive la muerte de seres humanos y otros seres vivos (Leung y Paustenbach, 1990; Walker et al., 2012). En el ambiente, estas sustancias pueden ocasionar deterioro de las condiciones fisicoquímicas de los suelos y cuerpos de agua, debido a variaciones drásticas en el pH, los rangos fisiológicos de tolerancia de muchos organismos no hacen posible su supervivencia frente a estas alteraciones en las condiciones abióticas del hábitat (Walker et al., 2012; Cockerham y Shane, 2019).

Los tres factores que determinan si un derrame de materiales es peligroso o no, son: la cantidad de la sustancia, las características de la sustancia y su ubicación (American Chemical Society, 1995). Los derrames químicos pueden ocurrir dentro y fuera de las fábricas, en el interior de laboratorios, en camiones cisterna, en tambores, en carreteras y en tuberías. En Colombia, de acuerdo con las estadísticas de los centros de información de seguridad del país, los derrames de

productos químicos aumentan año tras año, y en gran proporción aquellos ocurridos durante las actividades de almacenamiento y transporte por carretera (Consejo Colombiano de Seguridad, 2017). La ACS, clasifica los derrames como mayores o menores pero enfocada en condiciones de laboratorio, considerando los derrames menores como aquellos en cantidades inferiores a un litro y que no ocasionan incendios inmediatos, ni sensación de inseguridad o peligro para el medio ambiente o la salud humana (American Chemical Society, 1995; Minambiente, 2012).

En el contexto de los derrames ácidos y básicos y sus efectos en los ecosistemas, el proceso de neutralización o desactivación ácido-base resulta importante para plantear una alternativa de solución; este se basa en el principio de restaurar y mantener el pH en niveles adecuados para asegurar la supervivencia de las especies, contribuyendo así a minimizar los posibles impactos generados a nivel industrial en los ecosistemas. Asimismo, es importante conocer cómo los organismos han desarrollado mecanismos bioquímicos de manera óptima en medios intra y extracelulares relativamente neutros (Harper et al., 2016); por ejemplo, el pH del suelo que asegura la vida se encuentra en el rango de 7.35 a 7.45; el pH del suelo donde crecen las plantas puede tener influencia en el contenido mineral de los alimentos debido a que los minerales actúan como amortiguadores para mantener el pH. Así, el pH ideal del suelo para asegurar la disponibilidad de nutrientes esenciales se encuentra en el rango de 6 y 7 (Walker et al., 2012). Los suelos ácidos con pH inferior a 6 pueden disminuir la disponibilidad de calcio y el magnesio, y el suelo con un pH superior a 7 puede contribuir en la acumulación excesiva de hierro, manganeso, cobre y zinc. A nivel global, el pH del océano ha disminuido en los últimos tiempos, afectando la vida de especies acuáticas y afectando fuertemente a diversos ensamblajes

coralinos (Doney et al., 2009). Por ello, adicionar una sustancia de carácter ácido para neutralizar o desactivar el efecto de una sustancia básica o agregar una sustancia básica para neutralizar o desactivar una sustancia ácida pueden contribuir con el restablecimiento del equilibrio ambiental (Abdullah et al., 2012; Sahu y Chaudhari, 2013).

La acidificación o alcalinización de los suelos se origina por la transferencia de iones hidronio o iones hidroxilo, como ocurre cuando se presentan derrames líquidos que involucran la vegetación, el suelo y los minerales presentes en el suelo y resultan ser procesos irreversibles. Asimismo, variaciones considerables en la acidez y alcalinidad del suelo asociados, pueden estar relacionados con problemas de crecimiento en las plantas por exposición a valores de pH extremos para sus rangos fisiológicos óptimos (Bohn et al., 2002; Xu et al., 2006; Rivera et al., 2018). Sin embargo, se evidencia la falta la investigación de los procesos o causas responsables de la acidificación o alcalinización de los suelos, siendo ampliamente discutida su capacidad de resiliencia frente a la contaminación química (Schaeffer et al., 2016). La causa última de la acidez del suelo a menudo se atribuye a la presencia de ácidos orgánicos, la captación de cationes o la nitrificación (Breemen et al., 1983; Fries y Mihalovic, 2011).

La desactivación es un “método, técnica o proceso utilizado como pretratamiento para volver inertes los residuos peligrosos y similares, de manera que puedan transportarse y almacenarse previamente a la incineración o envío al relleno sanitario” (Ministerio de Salud, 2010). Esta definición está enfocada en el contexto de residuos peligrosos hospitalarios, aunque resulta útil para este trabajo dado que se pretende más que llevar el pH a un valor de 7.0 en un derrame, regular su impacto por lo cual se adopta el término ya que en el argot químico no se define. El proceso de desactivación de los derrames,

dependiendo de la naturaleza de la sustancia, se constituye en una técnica de neutralización (Morris y Cook, 1994) (USA Patente nº 5.342.543), precipitación-adsorción (Gubela, 1988) (USA Patente nº 4.769.084, 1988), (Palm et al., 2004) (USA Patente nº 10/675.812) y/o absorción (Johnson, 1989) (USA Patente nº 4.840.734). La neutralización es la reacción de un ácido con una base en que se forma una sal y agua. Después de reaccionar todo el ácido y toda la base, el pH de la disolución será 7 (neutro); de ahí el nombre de neutralización para el proceso (Sahu y Chaudhari, 2013). Por otro lado, de acuerdo con el Decreto 1609 de 2002, la mitigación puede definirse en el contexto colombiano como “aquellas medidas de intervención dirigidas a reducir o minimizar el riesgo o contaminación” (Presidencia de la República de Colombia, 2002), resulta entonces que la desactivación se constituye en la principal forma de tratamiento de los derrames de sustancias peligrosas (Yilmaz et al., 2020).

Actualmente, diferentes tipos de sustancias son usadas para la desactivación de los derrames, por ejemplo, derrames ácidos son desactivados usualmente con carbonato o bicarbonato de sodio mientras que las bases son desactivadas con ácido cítrico, ácido ascórbico o ácido acético líquido (Grainger Inc., 2015). Otra forma de tratar los derrames ácidos o básicos consiste en utilizar un agente sólido de tal forma que se genere un sólido o pasta fácil de recoger (American Chemical Society, 1995). Usualmente el material para el tratamiento de los derrames consta de un material absorbente y otro componente que contribuye con la desactivación del producto, generalmente una solución amortiguadora. Comúnmente, está constituida por una mezcla de un ácido débil y una sal del mismo ácido proveniente de una base fuerte o también, una base y una sal de esta base proveniente de un ácido fuerte (Harper et al., 2016).

Considerando el fuerte impacto que el desarrollo industrial ha generado en los diferentes ecosistemas del planeta, surge la necesidad de articular Ciencia y Educación Ambiental como alternativa clave para generar los cambios sociales y culturales necesarios, con miras en capacitar y formar de manera integral al individuo, de tal manera que aplique sus conocimientos, habilidades y experiencias en la comprensión y solución de las problemáticas ambientales (Pita-Morales, 2016). Esto le permite a la persona comprender que la contaminación química ocasionada por la industria exige implementar una ética frente a la actividad productiva y profesional, así como frente a un sistema que promueve el consumismo. En el campo industrial, la educación ambiental debe formar a la persona con actitud crítica y en valores para enfrentar los nuevos desafíos y participar en acciones que permitan alcanzar un desarrollo sostenible, esto sustenta la importancia de la formación y educación científica centrada en el medio ambiente para todos los ciudadanos (Afsah et al., 1996; Cutter-Mackenzie & Smith, 2003).

De acuerdo al contexto planteado, este trabajo pretende generar una propuesta para una mezcla generada a partir de sales de magnesio (a la que se ha denominado NeutroMag-D). Los componentes que se emplean son $MgSO_4$ anhidro y MgO , en lugar de óxido de calcio o cal viva (CaO) como método convencional en muchos casos, el cual además presenta restricción para su transporte y utilización dentro del territorio nacional (Resolución 009 de 2009, República de Colombia). De esta manera, el uso de una mezcla magnésica presenta ventajas técnicas y logísticas. Asimismo, la mezcla presenta propiedades anfóteras, son sustancias de fácil manipulación, estables a las condiciones ambientales, relativamente económicas y tienen un riesgo químico de nivel bajo. Específicamente, el sulfato de magnesio anhidro presenta cristales blancos, es poco tóxico, no

inflamable, muy soluble en agua y con potencial fertilizante. Por tanto, este trabajo evalúa la efectividad de la mezcla magnésica, dentro del plan de contingencia para desactivar los derrames líquidos ácidos y básicos. Se espera que este trabajo pueda ser un importante punto de partida para mitigar el impacto ambiental debido a la contaminación por el HCl y el NaOH generadas en la industria. Finalmente, considerando el papel clave de la Educación como puente entre la Ciencia y la Sociedad, este trabajo también propone una herramienta pedagógica que permite fortalecer a los actores industriales de los derrames ácidos y básicos sobre medidas de precaución, afectaciones al medio ambiente y sus ecosistemas, así como en protocolos de actuación frente a esta emergencia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de Estudio

Este trabajo fue desarrollado en las áreas de producción, transporte y laboratorio de la empresa Quimicol S.A., especializada en la producción de químicos derivados de la sal como el NaOH, NaClO, HCl y cloro gaseoso. La empresa está ubicada en el kilómetro 13 de la autopista Cali-Yumbo, sector Cencar. Asimismo, el contexto espacial de estudio involucró las instalaciones y el laboratorio de la firma Phoenix Products Colombia, ubicada en Santiago de Cali y proveedora de productos y servicios medioambientales para la industria.

Indagación sobre la frecuencia en derrames químicos dentro y fuera de la empresa

A manera exploratoria se realizaron entrevistas al personal de planta, laboratorio y transporte con quienes se indagó sobre los accidentes químicos ocurridos en la empresa, cuáles tenían que ver con compuestos ácidos y alcalinos, cantidad vertida y cómo fue el manejo que se dio frente a la contingencia ocurrida. Esto permitirá comprender el contexto de la ocurrencia de los eventos, así como su potencial afectación humana y ambiental.

Evaluación de la capacidad absorbente de los materiales para contener el derrame

Previamente a efectuar la evaluación de la eficacia de desactivación de la mezcla magnésica, fue importante evaluar por comparación diferentes materiales absorbentes como: gránulos de zeolita², aserrín y materiales poliméricos (en forma de bayetas o paños, rollos, almohadas y medias³) para seleccionar los de mejor eficacia. Mediante la simulación de derrames con agua tratada para minimizar riesgos, se definió la carga como la cantidad (volumen) de líquido que cada material evaluado puede absorber, además que existe una analogía en la presentación comercial que tienen los ácidos y bases que se manipulan y transportan en solución líquida. Posteriormente a los ensayos de estandarización con agua en la capacidad absorbente, cada uno de los materiales mencionados

-
- 2 La zeolita es un tipo de arcilla natural de origen volcánico que tiene la propiedad de capturar iones en el suelo, aumentando la productividad del sistema suelo-planta y reduciendo la contaminación de las aguas subterráneas
- 3 En la industria química, dichos elementos son llamados materiales naturales o poliméricos

posibles para retener derrames líquidos de sustancias corrosivas, se sometieron a pequeños derrames de ácido clorhídrico al 32% peso/peso e hidróxido de sodio al 50% peso/peso.

Para efectos de comparación entre los diversos tipos de materiales absorbentes, se definió el indicador eficacia, E_f , como el volumen absorbido del líquido en cada escenario (ácido/básico), por kilogramo requerido del material, se utilizó la fórmula:

$$E_f = [V_1 / (W_i - W_f)] * 1000$$

Donde:

V_1 : Volumen (ml) absorbido de la sustancia en laboratorio

W_i : Peso inicial en recipiente que contenía el material absorbente (A), caja de Petri o vaso de precipitado.

W_f : Peso final en recipiente que contenía el material absorbente (A), caja de Petri.

Materiales empleados para los ensayos

Se empleó un kilo de cada material absorbente para el trabajo de laboratorio. Estos materiales poliméricos se cortaron en cuadrados de 5 cm x 5 cm. Igualmente se usaron dos vasos de precipitado de 500 ml, una probeta de 1000 ml, dos cajas de Petri, tres muestras de hidróxido de sodio (NaOH) al 50% y tres muestras de ácido clorhídrico (HCl) al 32% peso/peso, una báscula electrónica y finalmente, un agitador electromagnético.

Especificaciones de los ensayos y simulaciones de los derrames en laboratorio

Teniendo en cuenta la información consultada en la literatura científica y técnica, en particular la patente de Mandel et al. (1989) (USA Patente n° 4.865.761), que relaciona diferentes componentes de una mezcla sólida empleada para neutralizar derrames líquidos de ácidos y básicos, se determinó emplear sulfato de magnesio anhidro ($MgSO_4$) y óxido de magnesio (MgO) como componentes de la mezcla sólida que se ha denominado (NeutroMag-D). Para analizar la efectividad de los diversos ensayos (mezclas), las variables consideradas en el estudio fueron la concentración en porcentaje de los reactivos, el grado de agitación de los sólidos y el pH de la mezcla.

Se analizaron cinco mezclas diferentes de los componentes escogidos con magnesio ($MgSO_4$ y MgO), variando su concentración en peso y se probaron con muestras alcalinas y ácidas para determinar si lograban desactivar los derrames y, por tanto, alcanzaban la regulación del pH. Las cinco mezclas se establecieron variando su concentración peso a peso en diferentes porcentajes 1(20-80), 2 (25-75), 3 (30-70), 4 (35-65) y 5 (40-60) y se probaron con muestras de NaOH al 50% y HCl al 32% para determinar si lograban desactivar derrames alcalinos y ácidos por la regulación del pH. Para cada ensayo, se construyó un perfil de pH y se determinó la cantidad y concentración óptima de la mezcla que lograría mitigar el impacto del potencial derrame. Asimismo, se tuvo en cuenta comparar el resultado del pH obtenido con el límite máximo permisible establecido en la Resolución 631 de 2015 para Colombia, el cual se encuentra en el intervalo de 6 a 9 (República de Colombia, 2015).

Inicialmente, se realizó la preparación de los materiales de zeolita y aserrín, se pesaron y se ubicaron en cajas de Petri, dado su volumen específico menor. Los materiales poliméricos se ubicaron en vasos de precipitado, ambos se pesaron secos inicialmente. En otra caja de Petri, se ubicaron para un primer ensayo, 10 mililitros de solución de ácido clorhídrico (HCl) al 32% peso/peso (V1). A este derrame simulado 1, paulatinamente se fue adicionando zeolita desde la caja de Petri; gradualmente la caja de Petri con el derrame se agitó de forma lenta hasta observar que el líquido fuera totalmente absorbido por el material. La misma experiencia se replicó con el aserrín. Asimismo, con ambos materiales se repitió la experiencia con soda caustica (NaOH) al 50% peso/peso. Luego que se observó total absorbancia del material, se registró para cada caso el peso del material resultante en la caja Petri. De forma similar se procedió para los materiales poliméricos, realizando estos ensayos en vasos de precipitado, en los cuales se agregaron 100 mililitros de solución de ácido clorhídrico (HCl) al 32% peso/peso (V1). Seguidamente se fueron adicionando trozos de material, el vaso precipitado se agitó lentamente hasta que el líquido fue totalmente absorbido por el material. Se repitió la experiencia para cada uno de los materiales con NaOH al 50% peso/peso. Finalmente, se registró para cada caso, el peso del material resultante en el vaso de precipitado.

Proceso de desactivación de una base fuerte y de un ácido fuerte en cada mezcla probada

Mezcla 1. A 5 g de solución de hidróxido de sodio (NaOH) al 50% y a 5 g de solución de ácido clorhídrico (HCl) al 32%, por separado, se agregaron respectivamente 20 ml y 30 ml de la mezcla de NeutroMag-D al 1% y se midió el pH inicial de cada mezcla. Luego,

se agregaron 5 ml de la muestra a la mezcla de la base y 10 ml de la muestra a la mezcla del ácido, en forma gradual y se midió de nuevo el pH. Posteriormente, se realizaron adiciones de 5 ml hasta completar 545 ml de mezcla con la base y adiciones de 10 ml hasta completar 290 ml de mezcla con el ácido y se determinó el valor de pH en cada caso.

Mezcla 2. A 5 g de solución de hidróxido de sodio (NaOH) al 50% y a 5 g de solución de ácido clorhídrico (HCl) al 32%, por separado, se agregaron respectivamente 15 ml y 30 ml de la mezcla 2 de NeutroMag-D al 1% y se midió el pH inicial de cada mezcla. Luego, se agregaron 5 ml de la muestra a la mezcla de la base y 10 ml de la muestra a la mezcla del ácido, en forma gradual y se midió de nuevo el pH. Posteriormente, se realizaron adiciones de 5 ml hasta completar 445 ml de mezcla con la base y adiciones de 10 ml hasta completar 220 ml de mezcla con el ácido y se determinó el valor de pH en cada escenario.

Mezcla 3. A 5 g de solución de hidróxido de sodio (NaOH) al 50% y a 5 g de solución de ácido clorhídrico (HCl) al 32%, por separado, se agregaron respectivamente 15 ml y 30 ml de la mezcla 3 de NeutroMag-D al 1% y se determinó el pH inicial de cada mezcla. Luego, se agregaron 5 ml de la muestra a la mezcla de la base y 10 ml de la muestra a la mezcla del ácido, en forma gradual y se midió de nuevo el pH. Seguidamente, se realizaron adiciones de 5 ml hasta completar 165 ml de mezcla con la base y adiciones de 10 ml hasta completar 220 ml de mezcla con el ácido y se determinó el valor de pH en cada caso.

Mezcla 4. A 5 g de solución de hidróxido de sodio (NaOH) al 50% y a 5 g de solución de ácido clorhídrico (HCl) al 32%, por separado, se agregaron respectivamente 20 ml y 30 ml de la mezcla 4 de

NeutroMag-D al 1% y se determinó el pH inicial de cada mezcla. Consecutivamente, se agregaron 5 ml de la muestra a la mezcla de la base y 10 ml de la muestra a la mezcla del ácido, en forma gradual y se midió de nuevo el pH. Seguidamente, se realizaron adiciones de 5 ml hasta completar 108 ml de mezcla con la base y adiciones de 10 ml hasta completar 220 ml de mezcla con el ácido y se determinó el valor de pH en cada situación.

Mezcla 5. A 5 g de solución de hidróxido de sodio (NaOH) al 50% y a 5 g de solución de ácido clorhídrico (HCl) al 32%, por separado, se agregaron respectivamente 20 ml y 30 ml de la mezcla 5 de NeutroMag-D al 1% y se determinó el pH inicial de cada mezcla. Paulatinamente, se agregaron 5 ml de la muestra a la mezcla de la base y 10 ml de la muestra a la mezcla del ácido, en forma gradual y se midió de nuevo el pH. Seguidamente, se realizaron adiciones de 5 ml hasta completar 95 ml de mezcla con la base y adiciones de 10 ml hasta completar 220 ml de mezcla con el ácido y se determinó el valor de pH en cada evento.

La tabla 1, evidencia los componentes de la mezcla NeutroMag-D así como la concentración de hidróxido de sodio (NaOH) y de ácido clorhídrico (HCl), empleados en las pruebas de laboratorio.

Tabla 1. Reactivos empleados para desactivación de NaOH y HCl.

Reactivo	Concentración/grado
NaOH	50%
HCl	32%

TÓPICOS DE GESTIÓN AMBIENTAL:
ENLAZANDO CIENCIA, SOCIEDAD Y EDUCACIÓN

MgSO ₄ anhidro	Grado comercial
MgO	Grado comercial
Agua destilada	-

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la información de la tabla 1, se observa que la empresa Quimicol S.A. produce, manipula, transporta y comercializa ácidos y bases con una concentración relativamente alta lo cual constituye un riesgo para la salud humana y ambiental. En cuanto al grado de pureza comercial de las materias primas para elaborar el producto NeutroMag-D, corresponde a una pureza alta del 98% para el MgSO₄ y, del 90% para el MgO.⁴ La tabla 2 resume los datos de la concentración peso a peso para los componentes sulfato de magnesio y óxido de magnesio, en cada una de las cinco mezclas experimentales de prueba para el producto NeutroMag-D. De la muestra 1 a la 5, la concentración de sulfato de magnesio se incrementa mientras que la concentración de óxido de magnesio se disminuye.

Tabla 2. Variación de la concentración de los componentes de NeutroMag-D

Muestra de producto	MgSO₄ % w/w	MgO % w/w
NeutroMag-D1	20	80
NeutroMag-D2	25	75

⁴ Grados establecidos en las hojas de seguridad de la empresa colombiana Atequímicos SAS.

NeutroMag-D3	30	70
NeutroMag-D4	35	65
NeutroMag-D5	40	60

Fuente: Elaboración propia

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ocurrencia de derrames químicos dentro y fuera de la empresa

A manera de exploración para conocer la incidencia de accidentes por derrames, las entrevistas aplicadas al personal de planta, laboratorio y transporte sobre la ocurrencia de accidentes químicos logró establecer que han ocurrido seis derrames líquidos al interior de Quimicol S.A., tres de los cuales corresponden a ácido clorhídrico (HCl) con una concentración en peso del 37%, presentados en un tanque, un carrotanque y en un área de almacenamiento, a temperatura ambiente y humedad relativa del 65%; las causas de los derrames están asociadas a fallas mecánicas en el sensor de nivel de líquido, ausencia de tapa en forma de rosca en la línea del vehículo y desperfectos en la válvula para manipular el producto. Se desconoce las cantidades derramadas mientras que los planes de contingencia seguidos fueron detención del llenado del tanque y cierre de la válvula de drenaje para reducir su paso, puesto que resultaba confuso saber cuándo estaba abierta o cerrada. Estos casos verifican la posibilidad de ocurrencia de accidentes por diferentes causas al manipular sustancias peligrosas.

De igual forma, se conoció de la existencia de dos derrames de hidróxido de sodio (NaOH), con una concentración en peso del 50%

dentro de la planta, uno de ellos catalogado como derrame mayor dado su volumen (cerca de 700 litros) mientras que para el otro caso se desconoce la cantidad derramada; uno de ellos presentado en el intercambiador de calor 240 de la planta 1, mientras que el otro fue en el área de almacenamiento de ósmosis, a temperatura ambiente y humedad relativa del 65%, debido a fallas en el empaque de la línea y el desprendimiento de válvula. Los planes de contingencia seguidos fueron la contención del producto que salió del dique a través de un tubo de evacuación para aguas lluvias (sin válvula), recolección del producto derramado utilizando una bomba, limpieza del área y bloqueo del área aledaña con materiales absorbentes para evitar la llegada del mismo hacia el canal de aguas lluvias. En estos derrames ácidos y básicos presentados, se precisa la necesidad de aplicación de un plan de emergencia rápido, seguro y efectivo que mitigue su impacto ambiental.

El sexto evento accidental ocurrido dentro de la compañía no fue de carácter ácido ni básico, sino salino, se presentó un derrame líquido de cloruro férrico (FeCl_3) al 96%, del cual se desconoce la cantidad vertida; sin embargo, también se recalca su importancia dada su capacidad corrosiva frente a los metales, presentar toxicidad aguda, causar irritación y sensibilización cutánea, y lesiones oculares graves en humanos (Menéndez et al., 2015). La causa de este derrame está relacionada también con fallas mecánicas por el daño de válvula, los planes de contingencia seguidos fueron el traslado al área de cloruro férrico líquido para aprovechamiento en el proceso, contención de parte del producto en cajas de inspección y desvío del efluente contaminado hacia la laguna de contingencia.

Asimismo, cabe recalcar que el impacto de la industria química no está restringido únicamente a los derrames ocurridos en el

interior de la empresa. La existencia de tres casos de derrames líquidos externos a Quimicol S.A., permite demostrar que aquellos pueden ocurrir dentro y fuera del sector industrial, en carreteras, tuberías, en poblaciones y en general en diversos lugares, lo cual hace más relevante el hecho de generar alternativas de manejo en pro de mitigar el impacto ambiental de los derrames. De acuerdo con el sondeo realizado entre trabajadores y operarios, se menciona un accidente con ácido clorhídrico (HCl), en el sitio La Felisa - Supia, ocurrido a temperatura ambiente y humedad relativa del 65%, transportado en un carro tanque, éste fue originado por goteo debido a una abertura en el tanque de almacenamiento del vehículo transportador del producto; el jabón que se había colocado como elemento de contención fue expulsado por la presión del líquido y se inició la fuga del mismo; la cantidad derramada fue de 16900 kg, lo cual se corresponde con un derrame mayor. Los planes de contingencia seguidos fueron la contención del goteo empleando jabón y posteriormente tierra, aserrín y pija de madera, inmovilización y aislamiento del vehículo y vertimiento del líquido del carro tanque a un tanque de recibido.

El segundo incidente relacionado con hidróxido de sodio (NaOH) al 50% se produjo en el sitio Jabonerías Hada, Manizales, a condiciones de manipulación y almacenamiento de temperatura ambiente y humedad relativa del 65%. es un ejemplo de las causas por operación en el transporte, debido a la inclinación que experimentó el tanque del vehículo hacia el lado derecho (mirando de frente), al tratar de tomar una curva en la parte baja del barrio Malhabar, sin que se presentara fuga de la sustancia, para lo cual se realizó la inmovilización, soporte del vehículo con tacos de madera y gatos hidráulicos así como trasiego a otro vehículo como alternativa para contrarrestar este caso. El personal de bomberos tomó la decisión

de depositar el contenido de dos volquetas con tierra cerca del lugar de los hechos, de manera preventiva para evitar que la sustancia se desplazara y afectara los alrededores donde ocurrió el vertido.

El tercer caso de accidente externo a Quimicol S.A no está asociado con un derrame ácido o básico sino con hipoclorito de sodio (NaClO) al 13%. Este fue originado por una fuga debida al rompimiento de la tubería y posterior desprendimiento de las válvulas de descargue del carrotanque que lo transportaba mientras estacionaba; ocurrió en la vereda de Piles, Palmira, en condiciones de temperatura ambiente y humedad relativa del 65%. Resulta importante mencionarlo debido a que el NaClO es una sustancia corrosiva que puede causar quemaduras en la piel y en los ojos e irritación respiratoria en las personas (Ardila-Hani et al., 2018). Igualmente, la cantidad derramada fue significativamente alta (10.080 kg), para lo cual fue necesario la construcción de un par de pijas para disminuir la presión del producto y la canalización de la sustancia derramada hacía un aljibe, para luego extraerla con una bomba hacia recipientes apropiados como medida de contingencia.

De acuerdo con la información derivada de las entrevistas al personal de Quimicol S.A, puede notarse que los transportadores son diestros en su actividad y recursivos al tratar de contrarrestar fugas en las tuberías de los vehículos. Sin embargo, debido a su nivel académico (primaria o bachillerato) desconocen la fundamentación técnica sobre sustancias corrosivas que podrían colocar en riesgo su seguridad, la de las personas que se encuentren a su alrededor y la de los propios vehículos. Por el contrario, el personal de planta y laboratorio conoce y aplica los conceptos, fichas de seguridad y protocolos de seguridad frente a derrames líquidos. De acuerdo con lo evidenciado, resulta necesaria la aplicación de un modelo educativo

para la formación profesional integral donde los diferentes actores puedan interactuar entre sí, compartir conocimientos, experiencias y fortalecer sus habilidades (Konan, 2017). De esta manera, compartiendo los resultados derivados del levantamiento de información sobre los casos de derrame y sus características, así como los resultados experimentales de los procesos de desactivación ácida y básica, se podrá constituir un plan de contingencia y prevención para abordar el problema de contaminación y afectación por derrames con resultados amigables para el ambiente y las personas involucradas con ellos. Así se podrá fortalecer, confrontar y capacitar a los actores sobre las medidas de precaución y protocolos de actuación frente a este tipo de emergencias (Mendoza Bellio, 2011).

Capacidad absorbente de los materiales para contener el derrame

En relación a la comparación de la absorbancia de materiales de diferente naturaleza para seleccionar los de mejor eficacia en la contención de los potenciales derrames, los resultados obtenidos para los diversos materiales ensayados se evidencian en la tabla 3. Desde una perspectiva descriptiva entre los materiales absorbentes naturales y poliméricos utilizados en la simulación de pequeños derrames líquidos, se observa que el peso inicial del material absorbente zeolita fue de 25.4 g, al agregarse un peso de este material para retener el volumen de 10 ml de solución de ácido clorhídrico (HCl), el peso sobrante de este material fue de 10.6 g por lo que el peso utilizado en la retención del volumen de este ácido se obtuvo por diferencia de peso, es decir, $(25.4 - 10.6) \text{ g} = 14.8 \text{ g}$. En forma análoga, el peso de zeolita para retener los 10 ml de solución de hidróxido de sodio (NaOH) fue de 15.3 g. Para el resto de materiales, se realizó un análisis similar. Los resultados mostraron que para contener un

derrame se requiere potencialmente más zeolita, mientras que, para el caso de las almohadas, un derrame demandaría menos material absorbente, seguido por los paños y los rollos respectivamente, los cuales serían los más eficaces en eficiencia de retención. A partir de los datos obtenidos en los experimentos, se calculó la eficiencia de carga ml/ kg de material absorbente (tabla 4).

Tabla 3. Comparación de absorbancia entre materiales de diferente naturaleza empleados potencialmente para contener los derrames químicos ácidos y básicos.

Material Absorbente⁵	Wi (g)	Wf (g)	VI (ml)	Wrara (g)	Wrarb (g)
Zeolita	25.4	10.6	10	14.8	15.3
Aserrín	6.7	2.2	10	4.5	4.3
Polímeros en forma de paños	12.4	4.5	100	7.9	8.2
Rollos	12.4	4.5	100	7.9	8.2
Almohadas	5.2	3.9	100	1.3	1.5
Medias	18.5	3.8	100	14.7	14.7

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4, se pueden evidenciar los resultados obtenidos de la comparación descriptiva realizada para analizar los materiales absorbentes naturales y poliméricos de fácil consecución en el

5 Wi (g): Peso inicial del absorbente; Wf (g): Peso sobrante del absorbente; VI (ml): Volumen medido de sustancia; Wrara (g): Peso requerido del absorbente para retener el HCl al 32% ; Wrarb (g): Peso requerido del absorbente para retener el NaOH al 50% .

mercado; se encontró que los gránulos de zeolita y el aserrín presentaron los valores más bajos de eficacia (675 y 2200 para el caso de los ácidos y 665 y 2350 para las bases). En ese orden, para la retención de líquidos en comparación con los otros materiales absorbentes poliméricos. Además, estos primeros materiales generan mayor cantidad de residuos resultantes para su disposición cuando se presenta una emergencia. Por su parte, se estableció que los rollos y paños presentaron la misma capacidad de absorción y se diferencian básicamente por la presentación comercial de empaque (3M España, 2001). Los paños se comercializan por unidades en paquetes de 100 piezas mientras que los rollos tienen una presentación por unidad de hasta 300 metros, aunque ambos materiales poseen las mismas dimensiones.

Tabla 4. Eficacia de absorbancia de varios materiales usado en emergencias

Material absorbente	Eficacia: Cantidad de carga retenida (ml por kg de material)	
	Derrame de HCl (32%)	Derrame de NaOH (50%)
Gránulos de zeolita (1 kg)	675	655
Aserrín (1kg)	2200	2350
Materiales absorbentes poliméricos (polipropileno, celulosa) en forma de:		
Bayetas o paños ⁶	12700	12200

6 Bayetas o paños 10"x14" (1 pieza equivalente a 0,004 kg es decir 250 piezas corresponden a 1 kg).

TÓPICOS DE GESTIÓN AMBIENTAL:
ENLAZANDO CIENCIA, SOCIEDAD Y EDUCACIÓN

Rollos ⁷	12700	12200
Almohadas ⁸	75000	65600
Medias ⁹	6800	6800

Fuente:Elaboración propia

De acuerdo con los resultados, se encontró que los materiales poliméricos en forma de almohadas presentan la mejor capacidad de absorbanza; sin embargo, su uso se enfoca como retenedor en fugas puntuales debido al poco alcance de área por su disposición física. Caso diferente presentan los paños/rollos que pueden extenderse en el área afectada. El material polimérico en forma de media presenta una eficacia menor que el material polimérico en forma de paño ($6800 < 12700$). De este análisis, se determinó que los paños absorbentes resultan ser la mejor opción por presentar la mejor eficacia y capacidad de extensión en el sitio del derrame, están elaborados con fibras sintéticas inertes que reducen la generación de residuos y presentan manipulación sencilla al momento de su disposición final para eliminarse una vez empleados, por su tamaño y su facilidad de adquisición a través de diferentes marcas comerciales (3M España, 2001; Bereiweriso, 2013; Díaz-Díaz et al., 2018).

7 Rollos 10"x14" de 300 metros (1 pieza equivalente a 0,004 kg es decir 250 piezas corresponden a 1 kg).

8 Almohadas 18"x18" (1 pieza equivalente a 0,1 kg es decir 10 piezas corresponden a 1 kg).

9 Medias 3"x12' (1 pieza equivalente a 0,2 kg es decir 5 piezas corresponden a 1 kg).

Proceso de Desactivación de una base fuerte y de un ácido fuerte en cada mezcla probada

Previamente a exposición de los resultados de los ensayos de desactivación es importante mencionar que dadas las condiciones ambientales donde se encuentra la compañía Quimicol S.A. (con un rango de temperatura de 15 a 33° C y humedad relativa entre 70 y 75%) las cinco mezclas experimentales mostraron ser estables.

Proceso de desactivación de una base fuerte agresiva (NaOH)

El valor inicial del pH de la mezcla de 5g de solución de hidróxido de sodio (NaOH) al 50% y un volumen inicial de 20 ml de la muestra 1 de NeutroMag-D arrojó un valor de 13.47. Para un volumen de mezcla de 360 ml, el pH se acercó a 7 (7.89) y para un volumen de 425 ml de mezcla, el pH llegó a ser ligeramente ácido (6.0). Como se evidencia en la figura 1, el comportamiento de la curva muestra el descenso y estabilización del pH de 13.47 a 6.00 para la mezcla en estudio, indicando la factibilidad de neutralización a escala de laboratorio de este derrame básico. De este análisis, puede extractarse que se logró desactivar 1 g de solución de hidróxido de sodio (NaOH) al 50% utilizando una proporción entre 72 a 85 ml de la mezcla 1 de NeutroMag-D.

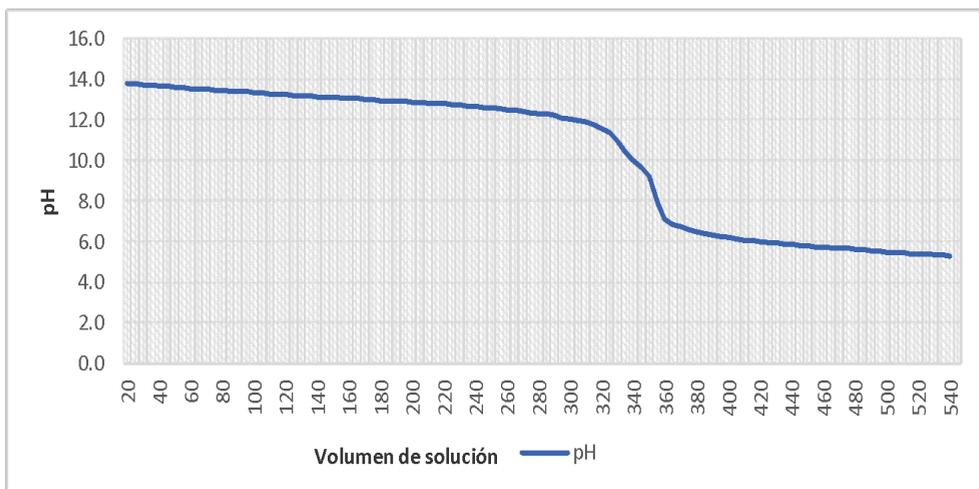


Figura 1. Curva de pH para simulación de derrame NaOH al 50% p/p y muestra 1 de NeutroMag-D como desactivador.

Fuente: Quimicol S.A.

En la figura 2 se observa la distribución de pH para una mezcla de solución de hidróxido de sodio (NaOH) al 50% y la muestra 2 de NeutroMag-D al 1%. En esta prueba, el valor de pH de la mezcla de 5 g de solución de hidróxido de sodio al 50% y un volumen inicial de 15 ml de la muestra 2 de NeutroMag-D, fue de 13.76. Posteriormente, para un volumen de mezcla de 240 ml, el pH se acercó a 8 (8.04) y para un volumen de 285 ml de mezcla, el pH llegó a ser ligeramente ácido (6.00). En la segunda experiencia, se logró desactivar 1 g de solución de hidróxido de sodio al 50% con una proporción entre 48 a 57 ml de la mezcla 2 de NeutroMag-D. La figura 2 muestra cómo el pH desciende de 13.76 a varios valores menores hasta estabilizarse en 6.00 para la mezcla en estudio, mostrando que es igualmente probable neutralizar este derrame alcalino a escala de laboratorio.

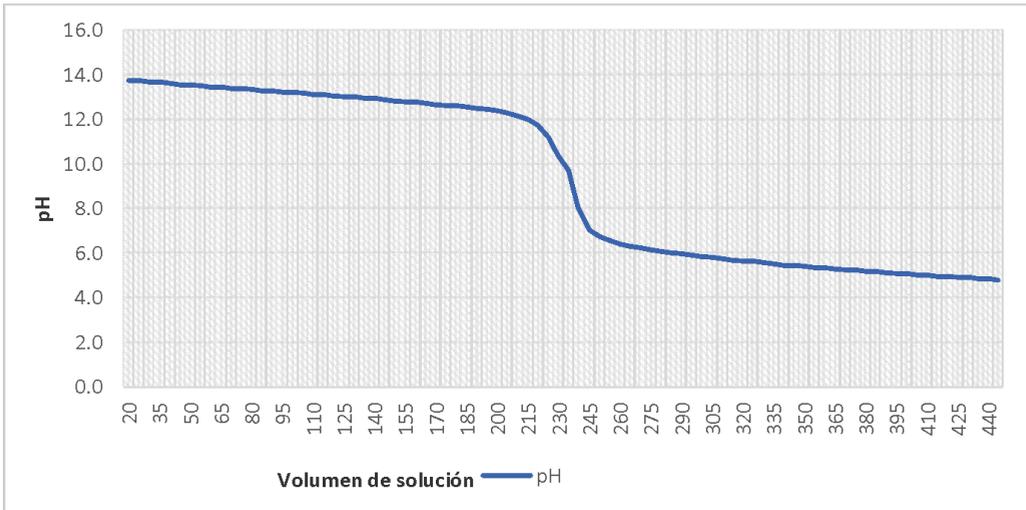


Figura 2. Curva de pH para simulación de derrame NaOH al 50% p/p y muestra 2 de NeutroMag-D como desactivador.

Fuente: Quimicol S.A.

Para los resultados del tercer ensayo, al mezclar 5 g de solución de hidróxido de sodio NaOH al 50% con un volumen inicial de 15 ml de la muestra 3 de NeutroMag-D, el valor de pH obtenido fue de 13.85 mientras que, para un volumen de mezcla de 95 ml, este parámetro se acercó a 6 (6.09). Este tercer análisis indica que es factible desactivar 1 g de solución de hidróxido de sodio al 50% con una proporción de 95 ml de la mezcla 3 de NeutroMag-D, menor que las de las dos pruebas anteriores. La figura 3 muestra cómo cae el pH de 13.85 hasta estabilizarse en 6.09 para la mezcla en análisis, dando a entender la desactivación de este derrame básico. El comportamiento de la curva de la figura 3 ilustra el cambio de pH de una mezcla de solución de NaOH al 50% y la muestra 3 de NeutroMag-D al 1%.

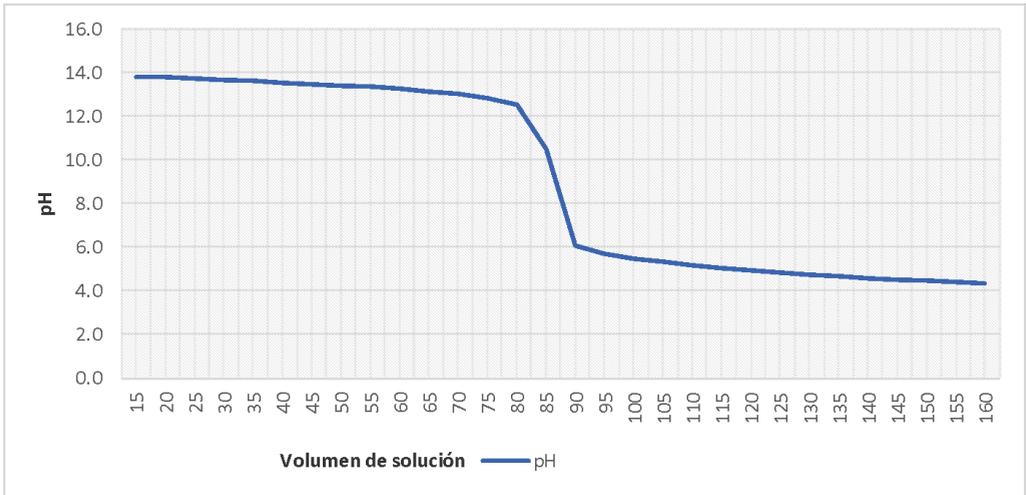


Figura 3. Curva de pH para simulación de derrame NaOH al 50% p/p y muestra 3 de NeutroMag-D como desactivador.

Fuente: Quimicol S.A.

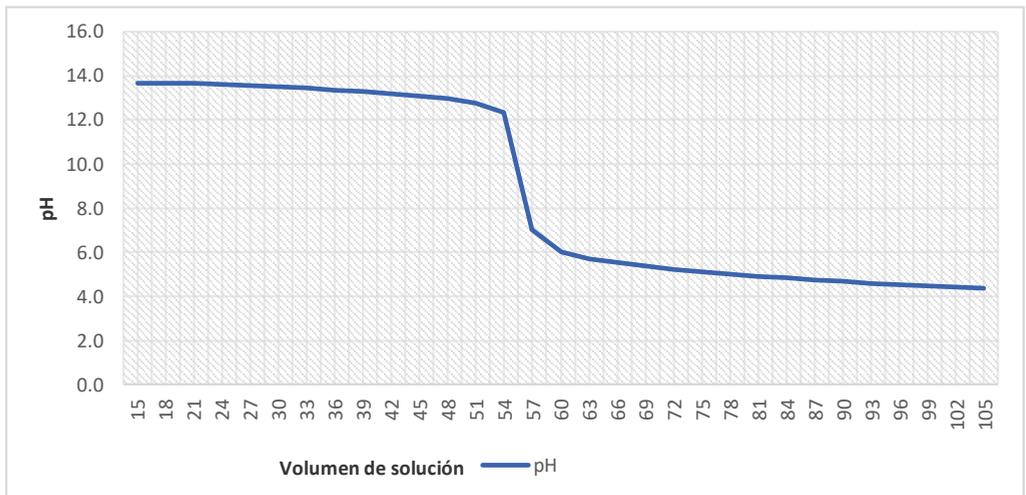


Figura 4. Curva de pH para simulación de derrame NaOH al 50% p/p y muestra 4 de NeutroMag-D como desactivador

Fuente: Quimicol S.A

La variación del pH de la figura 4 muestra que al realizar la mezcla de la misma cantidad de NaOH al 50% empleada en las pruebas anteriores con un volumen inicial de 15 ml de la muestra 4 de NeutroMag-D el pH medido fue 13.75. Para un volumen de mezcla de 60 ml el resultado disminuyó drásticamente a 7.05 y para un volumen de mezcla de 63 ml el pH se atenuó a un valor de 6.04 el cual es ligeramente ácido. Por tanto, con la cuarta prueba, se logró desactivar 1 g de solución de NaOH al 50% utilizando una proporción de 12 ml de la mezcla 4 de NeutroMag-D mucho menor que las obtenidas en los análisis anteriores (figura 4).

Por último, la figura 5 describe con su trayectoria que, para la misma cantidad de solución de hidróxido de sodio al 50% empleada en las cuatro pruebas anteriores y un volumen inicial de 15 ml de la muestra 5 de NeutroMag-D el valor del potencial de hidrógeno fue de 13.75.

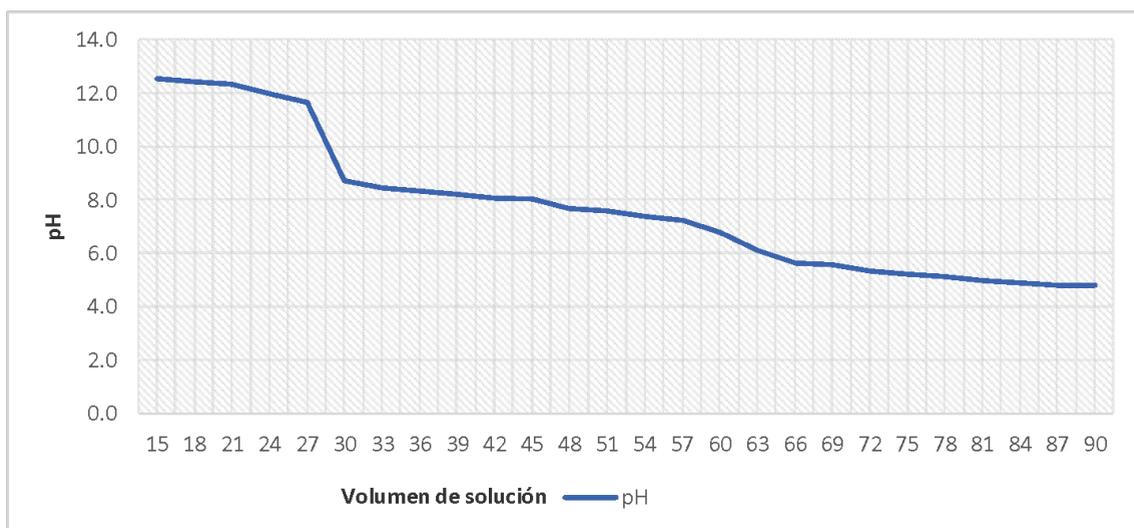


Figura 5. Curva de pH para simulación de derrame NaOH al 50% p/p y muestra 5 de NeutroMag-D como desactivador.

Fuente: Quimicol S.A.

Nótese que para un volumen de mezcla de 33 ml (cada vez menor que el empleado en las cuatro experiencias anteriores para tratar de desactivar este derrame alcalino) el pH fue de 8.70 y para un volumen de mezcla de solo 69 ml el pH obtenido fue ligeramente ácido con un valor de 5.60, indicando que para desactivar 1 g de solución de hidróxido de sodio al 50% solo es necesaria una proporción de 7 a 10 ml de la mezcla 5 de NeutroMag-D.

Proceso de desactivación de un ácido fuerte agresivo (HCl)

De manera similar a lo anteriormente descrito, a continuación, se muestran los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio para desactivar 5 g de solución de HCl al 32% p/p con un volumen inicial de 30 ml considerando las cinco muestras de NeutroMag-D. Los resultados del primer ensayo se presentan en la figura 6. A partir de estos se observa que el valor inicial del pH de la mezcla fue de 3.30 que corresponde a la muestra 1 del producto. Posteriormente, para un volumen de mezcla de 290 ml el pH se incrementó a 4.21 manteniéndose relativamente constante a lo largo del experimento. Por tanto, se infiere que, con la primera prueba experimental, no hubo éxito significativo en el proceso de neutralización del ácido utilizando la mezcla 1 de NeutroMag-D. Se alcanzó una baja factibilidad de neutralización con una proporción 58:1.

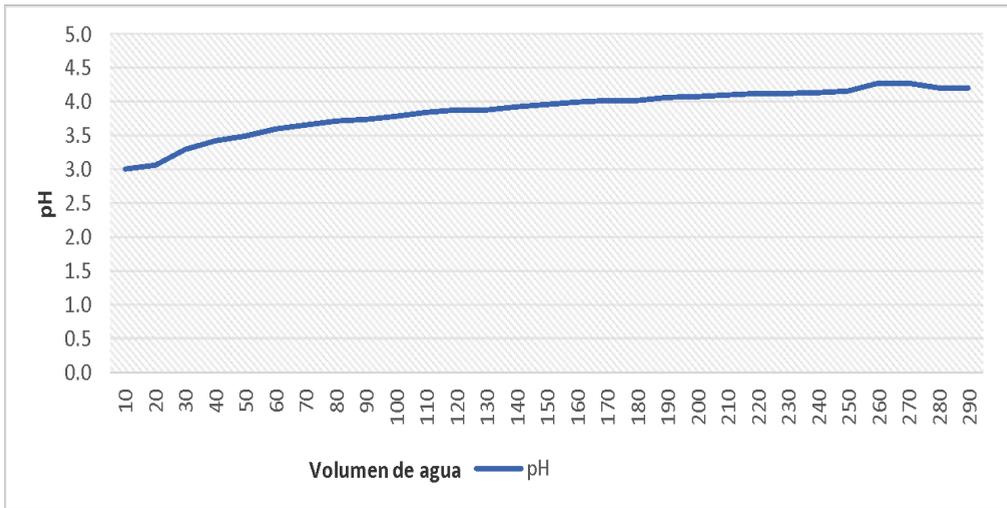


Figura 6. Curva de pH para simulación de derrame HCl al 32% p/p y muestra 1 de NeutroMag-D como desactivador.

Fuente: Quimicol S.A.

La figura 7 presenta un valor inicial de pH de la mezcla de 3.30 que corresponde a la muestra 2 del producto, resultado similar al obtenido en la primera experiencia de desactivación del ácido. Sin embargo, para un volumen de mezcla de 170 ml el pH fue de 6.32 y para un volumen de mezcla de 220 ml, el pH fue ligeramente básico arrojando un valor de 7.69. Con la segunda prueba experimental, se logró desactivar 5 g de solución de ácido clorhídrico (HCl) al 32% utilizando una proporción entre 34 a 44 ml de la mezcla 2 de NeutroMag-D. La figura 7 evidencia claramente el ascenso y estabilización del pH de 3.00 a 7.69 para la mezcla en estudio, indicando la factibilidad de neutralización a escala de laboratorio de este derrame ácido.

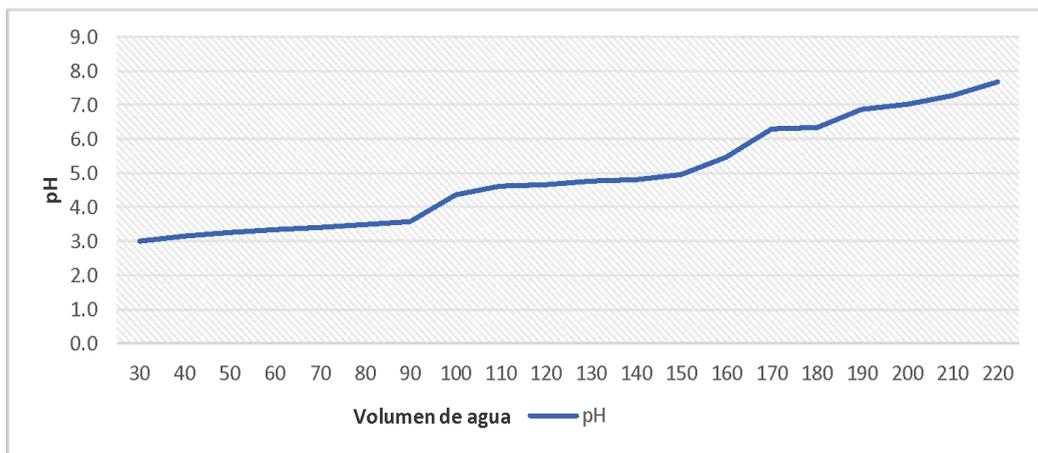


Figura 7. Curva de pH para simulación de derrame HCl al 32% p/p y muestra 2 de NeutroMag-D como desactivador.

Fuente: Quimicol S.A.

La figura 8 indica de nuevo un pH inicial de la mezcla de 3.00 involucrando la muestra 3 del producto. Al alcanzar un volumen de mezcla de 130 ml el pH fue de 6.45 y para un volumen de mezcla de 220 ml, el pH fue ligeramente básico arrojando un valor de 6.95. La tercera prueba experimental, indica que es posible desactivar 5 g de solución de ácido clorhídrico al 32% utilizando una proporción entre 26 a 44 ml de la mezcla 3 de NeutroMag-D. Considerando el perfil de pH mostrado en la figura 9 indica una vez más, un pH inicial de la mezcla de 3.00 incluyendo la muestra 4 de NeutroMag-D. En este experimento, cuando se alcanzó un volumen de mezcla de 120 ml, se obtuvo un pH de 6.25 mientras que un volumen de mezcla de 220 ml mostró un pH que ligeramente básico con un valor de 8.15.

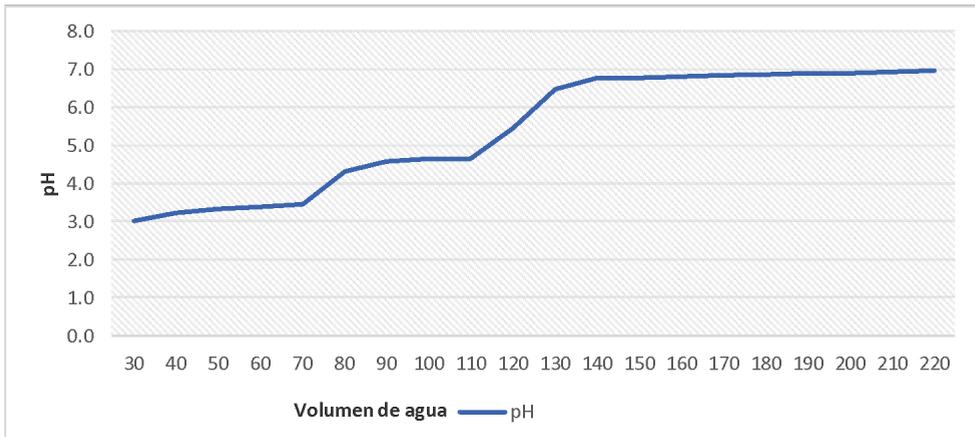


Figura 8. Curva de pH para simulación de derrame HCl al 32% p/p y muestra 3 de NeutroMag-D como desactivador.

Fuente: Quimicol S.A.

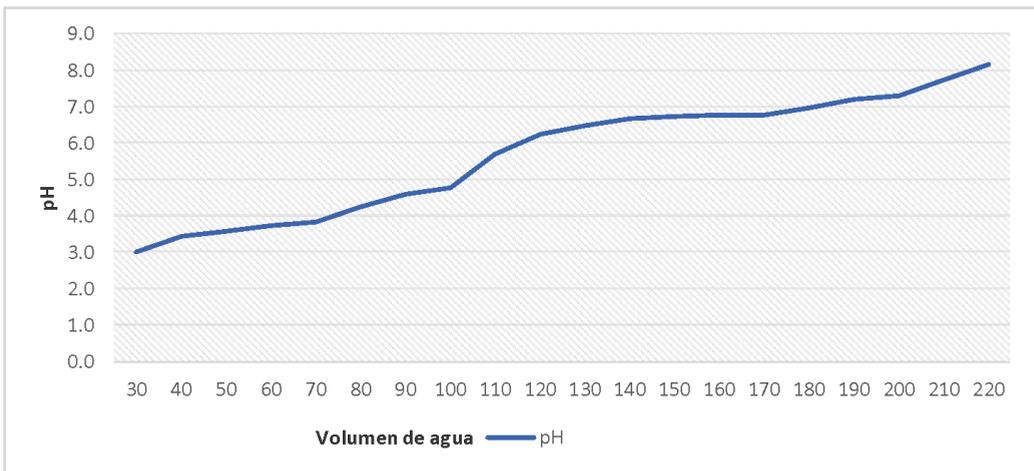


Figura 9. Curva de pH para simulación de derrame HCl al 32% p/p y muestra 4 de NeutroMag-D como desactivador

Fuente: Quimicol S.A.

Con la cuarta prueba experimental, se logró desactivar 5 g de solución de ácido clorhídrico al 32% utilizando una proporción entre 24 a 44 ml de la mezcla 4 de NeutroMag-D. La figura 9 muestra el ascenso y estabilización del pH de 3.00 a 6.25 para la mezcla en estudio, indicando la factibilidad de neutralización a escala de laboratorio de este derrame ácido.

Por último, la distribución de pH de la figura 10 muestra un pH inicial de la mezcla de 3.00 con la muestra 5 de NeutroMag-D. Con un volumen de mezcla de 100 ml el pH fue de 6.06 y con un volumen de mezcla de 220 ml, el pH fue ligeramente básico con valor de 8.15. Con la quinta prueba experimental, se logró desactivar 5 g de solución de HCl al 32% utilizando una proporción entre 20 a 44 ml de la mezcla 5 de NeutroMag-D. La figura 10 permite detallar el ascenso y estabilización del pH de 3.00 a 8.15 para la mezcla en estudio. La desactivación a escala de laboratorio de este derrame ácido resulta entonces también factible.

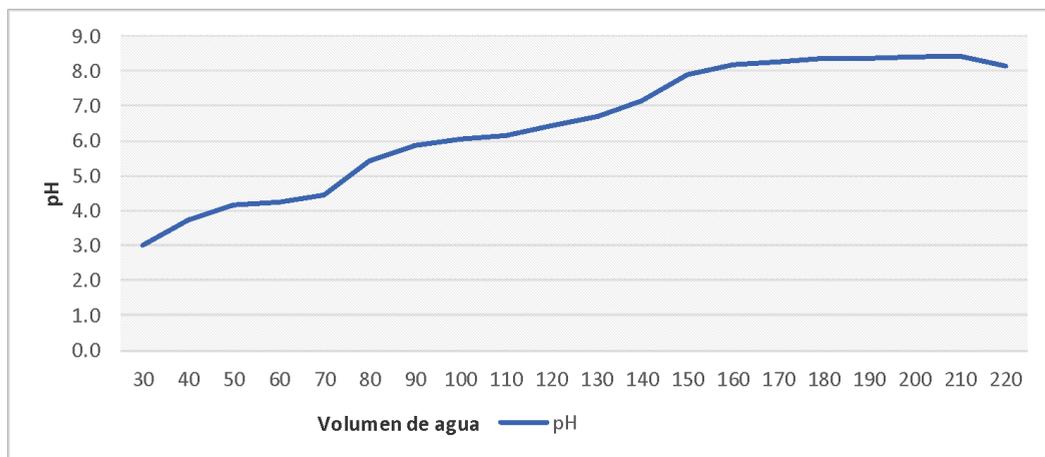


Figura 10. Curva de pH para simulación de derrame HCl al 32% p/p y muestra 5 de NeutroMag-D como desactivador.

Fuente: Quimicol S.A.

De acuerdo con los resultados de las pruebas de laboratorio, se encontró que la mezcla 5 es la óptima para desactivar derrames alcalinos de soluciones de hidróxido de sodio (NaOH) puesto que se logró desactivar 1 g de solución de NaOH al 50% utilizando solo de 7 a 10 ml de la mezcla 5 de NeutroMag-D la cual cumple con el límite permisible de pH establecido en la Resolución 631 de 2015, para aguas residuales domésticas (ARD) y aguas residuales de los prestadores de servicio público de alcantarillado a cuerpos de agua superficiales, con una carga menor o igual a 625,00 kg/DIA DBO5, dado que el valor de pH de 5.60 alcanzado, se encuentra cercano a 6,00 como lo establece esta norma (República de Colombia, 2015). De forma similar, se encontró que la mezcla 5 es la óptima para desactivar derrames ácidos de soluciones de ácido clorhídrico (HCl), puesto que se logró desactivar 5 g de solución de HCl al 32%, utilizando solo de 20 a 44 ml de NeutroMag-D 5, la cual cumple con el límite permisible de pH establecido en la misma resolución, dado que el valor de pH de 8.15 obtenido, se encuentra cercano a 9,00 como lo establece esta norma.

Teniendo en cuenta los resultados a la luz del error relativo, definido como la diferencia entre el valor real y el valor observado dividida entre el valor real, el porcentaje de error en la regulación del pH para la desactivación del derrame alcalino fue $\% \text{ error} = (6,00 - 5,60) / 6,00 * 100 = 6,67\%$. Por su parte, el porcentaje de error en la regulación del pH para la desactivación del derrame ácido fue $\% \text{ error} = (9,00 - 8,15) / 9,00 * 100 = 9,44\%$ Estos dos errores porcentuales relativamente bajos, dan cuenta de la efectividad del producto NeutroMag-D como una alternativa rápida y económica para el tratamiento de derrames líquidos alcalinos y ácidos.

Asimismo, los componentes de la mezcla de NeutroMag-D y la mezcla en sí misma no resultan ser nocivos para el ambiente de acuerdo con la información de sus fichas técnicas. El producto NeutroMag-D tiene propiedades anfóteras que permiten regular el pH cuando ocurren derrames accidentales de líquidos ácidos y/o básicos como lo demuestran los resultados a escala de laboratorio obtenidos en este trabajo. Para el caso del presente trabajo, se propone una mezcla basada en el uso de sales y óxidos con presencia de Magnesio para la neutralización de derrames ácidos y básicos. De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede evidenciar que ésta podría presentar ventajas desde el punto de vista de la minimización de los impactos ambientales, dado que el crecimiento de las plantas está relacionado con las proporciones de cationes de hidrógeno (H), magnesio (Mg), potasio (K), sodio (Na) o calcio (Ca), que son intercambiables y que están presentes en el suelo, siendo el Ca y el Mg los principales cationes intercambiables. Investigaciones reconocen que ciertas plantas de cultivo pueden presentar infertilidad por su baja relación Ca/Mg o baja saturación de calcio. Por ello, es necesario intercambiar o suministrar alguno de estos minerales para contribuir con la fertilidad de los terrenos y el crecimiento de las plantas (Walker et al., 1995; Gransee y Führs, 2013). La evidencia parece indicar que su deficiencia se correlaciona con la pérdida del color verde en las plantas (clorosis) y por tanto en capacidad fotosintética, así como efectos en la expresión genética vegetal (Gransee y Führs, 2013; Hermans et al., 2013). Sin embargo, resultan necesarios nuevos estudios para esclarecer cómo se comportan las plantas por la deficiencia de Mg. La movilidad del magnesio permite que sea intercambiable con cationes como el aluminio, dependiendo del pH de los suelos. Por ello, es necesario reponerlo de acuerdo con los requerimientos de las diversas plantas (Gransee y Führs, 2013). Históricamente, el incremento de la productividad de los cultivos se

logró a través de la fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio (N – P – K) la cual resultó nociva para el medio ambiente en muchos casos. La no consideración del magnesio como elemento secundario afectó la producción y la calidad nutricional de los cultivos (Hermans et al., 2013).

El conocimiento derivado de la ciencia debe impactar en la cultura científica y ambiental de los individuos, es por ello clave la articulación entre la ciencia y la industria con la educación (Orr, 2006; Koner, 2017). Es claro que los derrames líquidos de sustancias peligrosas pueden ocurrir en cualquier sitio así se tenga el conocimiento y la experiencia para manejarlos y aun siguiendo los protocolos de seguridad establecidos. Por ello es fundamental, como parte del plan de acción anti-derrame, la aplicación del modelo pedagógico basado en la formación profesional integral para realizar el fortalecimiento de una cultura de seguridad y autocuidado en los actores involucrados frente a los diversos riesgos y accidentes que pueden suceder en el entorno industrial (Aranda, 2020). Por tanto, se debe buscar aprovechar en los operarios y trabajadores, los conocimientos previos sobre el tema, su experiencia en el desempeño de sus labores en el sector productivo, de transporte, de laboratorio o como ciudadano, integrando el conocimiento de las sustancias peligrosas estudiadas para motivar una cultura de autocuidado, así como de cuidado frente al medio ambiente. Mediante la divulgación de los resultados de esta investigación se puede contribuir con una solución y mitigación a la problemática de los vertidos líquidos y mitigación de su impacto en las comunidades aledañas al siniestro.

De esta manera, el individuo formado de una manera holística, puede construir nuevos conocimientos a través de su diario vivir, en lo que observa, escucha, lee o experimenta; es sensible frente a

lo que sucede en su entorno, puede ser tolerante y respetuoso de las ideas de los otros, buscando el bien común (Martínez Barrera, 2009). El proceso de aprendizaje y de fortalecimiento de los actores para controlar el problema de los derrames ácidos y básicos, se centra en el desarrollo de un pensamiento y una actitud crítica que se convierta en un estilo de vida en las relaciones socioambientales de cara a aplicar alternativas de solución que representen un mayor beneficio socioeconómico y menor costo ambiental.

Frente a los materiales probados, los paños absorbentes resultan ser la mejor opción para retener los derrames líquidos ácidos y básicos, por presentar la mejor eficacia y capacidad de extensión en el sitio del derrame. Los resultados de este estudio permiten concluir que es factible emplear con buenos resultados a escala de laboratorio, alternativas económicas, con materiales disponibles en el país y amigables con el medio ambiente, para la desactivación de derrames ácidos y básicos originados en procesos de producción, abastecimiento, transporte y disposición. Es de recalcar, que el presente estudio se limitó a realizar pruebas controladas en laboratorio, que no representaran un peligro al entorno ni generaran impactos negativos a la empresa. Realizar ensayos provocando un derrame real –pero controlado– implicaría una logística empresarial y gubernamental, que se sale de lo contemplado en el presente estudio. Asimismo, las empresas son las responsables en desarrollar el trabajo de educación ambiental con sus propios empleados, ya que no todos los empleados, son los responsables de aplicar el producto para minimizar el impacto o mejorar sus prácticas gracias al conocimiento y la cultura que se puede genera de este, lo cual redundará en la disminución y mitigación de emergencias por derrames. Se recomienda efectuar a futuro, como complemento de este trabajo, bioensayos de toxicidad que permitan evaluar

el grado agudo o crónico de afectación de los derrames ácidos y básicos en organismos vivos como plantas y analizar cómo puede la concentración de magnesio afectar las propiedades del suelo y su actividad.

Referencias bibliográficas

- 3M España. (2001). *Absorbentes industriales*. Obtenido de <http://multimedia.3m.com/mws/media/3308530/sorbents-product-catalogue.pdf>
- Afsah, S., Laplante, B., & Wheeler, D. (1996). *Controlling Industrial Pollution: a new paradigm* (No. 1672). Washington. World Bank, Policy Research Department, Environment, Infrastructure, and Agriculture Division.
- Abdullah, N. H. S., Karsiti, M. N., & Ibrahim, R. (2012). A review of pH neutralization process control. In *2012 4th International conference on intelligent and Advanced Systems (ICIAS2012)* 2, 594-598.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2011). *Pautas de gestión médica para el hidróxido de sodio (NaOH): CAS 1310-73-2; UN 1823 (solid); UN 1824 (solution)*. Obtenido de <https://www.atsdr.cdc.gov/MHMI/mmg178.pdf>
- Alcántara-Garduño, M. E., & Ramírez-Camacho, J. G. (2012). Causas y consecuencias de accidentes químicos ocurridos entre la población civil. Caso: Ciudad de Tapachula, Chiapas, México (2002-2010). *Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*, 12(2). 233-244.
- Ali, H., & Khan, E. (2019). Trophic transfer, bioaccumulation, and biomagnification of non-essential hazardous heavy metals and metalloids in food chains/webs—Concepts and implications

- for wildlife and human health. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 25(6), 1353-1376.
- American Chemical Society, ACS. (1995). *Guide for chemical spill response planning in laboratories*. Obtenido de American Chemical Society: <https://www.acs.org/content/acs/en/about/governance/committees/chemicalsafety/publications/guide-for-chemical-spill-response.html>
- Aranda, T. G. (2020). La capacitación del técnico en prevención de riesgos laborales en relación a la educación y formación como indicador de la cultura preventiva. *REJIE: Revista Jurídica de Investigación e Innovación Educativa*, (21), 99-121.
- Ardila-Hani, A., María Leguizamo, A., Costa, V., & Hani de Ardila, A. C. (2018). Intoxicación por cáusticos. ¿Qué hay de nuevo?. *Revista Colombiana de Gastroenterología*, 33. 2-9.
- Asociación Chilena de Seguridad. (2011). *Documento 02. Fugas y derrames, evacuación*. Obtenido de Asociación Chilena de Seguridad: <https://www.achs.cl/portal/Empresas/fichas/Paginas/fichas.aspx>
- Baniasadi, M., & Mousavi, S. M. (2018). A comprehensive review on the bioremediation of oil spills. *Microbial action on hydrocarbons*, 223-254.
- Barrett, M. A., Bouley, T. A., Stoertz, A. H., & Stoertz, R. W. (2011). Integrating a One Health approach in education to address global health and sustainability challenges. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(4), 239-245.
- Bęczkowska, S. A., & Grabarek, I. (2021). The Importance of the Human Factor in the Safety at the Transport of Dangerous Goods. *Preprints 2021*, 2021060254
- Bereiweriso, M. O. (2013). Sorbents Performance Efficiency Test. *Universal Journal of Environmental Research and Technology*, 3(3).

- Breemen, N., Muder, J., & Driscoll, C. (1983). Acidification and alkalization of soils. *Plant and Soil*, 75(3), 283-308.
- Camargo, J. A., y Alonso, A. (2007). Contaminación por nitrógeno inorgánico en los ecosistemas acuáticos: problemas medioambientales, criterios de calidad del agua, e implicaciones del cambio climático. *Ecosistemas*, 16(2), 98-110.
- Cartotto, R. C., Peters, W. J., Neligan, P. C., Douglas, L. G., & Beeston, J. (1996). Chemical burns. *Canadian Journal of Surgery*, 39(3):205–11.
- Castro Delgado, R., & Arcos González, P. (1998). El riesgo de desastre químico como cuestión de salud pública. *Revista española de salud pública*, 72(6), 481.
- Chemical Safety Board. (2017). *Impact report 2017*. Obtenido de U.S. Chemical safety and hazard investigation board: https://www.csb.gov/assets/1/6/csb_impact_report_2017.pdf
- Chen, J., Zhang, W., Wan, Z., Li, S., Huang, T., & Fei, Y. (2019). Oil spills from global tankers: Status review and future governance. *Journal of cleaner production*, 227, 20-32.
- Cockerham, L. G., & Shane, B. S. (2019). *Basic environmental toxicology*. Routledge.
- Consejo Colombiano de Seguridad. (2016). *Intoxicaciones entre los trabajadores colombianos por manejo de químicos*. Obtenido de Consejo Colombiano de Seguridad: https://ccs.org.co/salaprensa/index.php?option=com_content&view=article&id=412:diamundial&catid=261&Itemid=792
- Consejo Colombiano de Seguridad. (2017). *Noticias: En elaboración manual de normas mínimas para la gestión de riesgos frente a accidentes químicos*. Obtenido de Consejo Colombiano de Seguridad: https://ccs.org.co/salaprensa/index.php?option=com_content&view=article&id=520:normasminimasderrames&catid=297:noticias-febrero-2015&Itemid=836

- Consejo Colombiano de Seguridad y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2003). *Guías ambientales de almacenamiento y transporte por carretera de sustancias químicas peligrosas y residuos peligrosos*. Obtenido de Ministerio del medio ambiente: http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/sustancias_qu%C3%ADmicas_y_residuos_peligrosos/guias_ambientales_almacenam_transp_x_carretera_sust_quim_res_pelig.pdf
- Cutter-Mackenzie, A., & Smith, R. (2003). Ecological literacy: the 'missing paradigm' in environmental education (part one). *Environmental Education Research*, 9(4), 497-524. http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/decreto_1295_1994.html
- Díaz-Díaz, M. Á., Rivas-Trasancos, L., León-Barrios, M., & Acosta-Sánchez, J. (2018). Material absorbente para recogida de hidrocarburos en derrames en aguas y suelos. *Revista cubana de química*, 30(2), 289-298.
- Driscoll, C. T., Driscoll, K., Mitchell, M. J., & Raynal, D. J. (2003). Effects of acidic deposition on forest and aquatic ecosystems in New York State. *Environmental Pollution* (123), 327-336. doi:10.1016/S0269-7491(03)00019-8.
- Doney, S. C., Balch, W. M., Fabry, V. J., & Feely, R. A. (2009). Ocean acidification: a critical emerging problem for the ocean sciences. *Oceanography*, 22(4), 16-25.
- French-McCay, D., Whittier, N., & Payne, J. (2008). Evaluating chemical spill risks to aquatic biota using Modeling. *Proceedings of the 31st AMOP Technical Seminar on Environmental Contamination and Response*, (págs. 243-272). Calgary: Canadá.
- Fries, E., & Mihajlović, I. (2011). Pollution of soils with organophosphorus flame retardants and plasticizers. *Journal of Environmental Monitoring*, 13(10), 2692-2694.

- Gil, D., Nieto, R., Ibarra, D., Guevera, A. M., & Gundlach, E. (2015). Environmental sensitivity index for oil spills in marine and coastal areas in Colombia. *CT&F - Ciencia, Tecnología y Futuro*, 1(6), 17-28.
- Grainger Inc. (2015). *Neutralizing Acids and Bases: quick tips # 148*. Obtenido de Grainger. Quick tips: <https://www.grainger.com/content/qt-148-acids-bases>
- Gransee, A., & Fühns, H. (2013). Magnesium mobility in soils as a challenge for soil and plant analysis, magnesium fertilization and root uptake under adverse growth conditions. *Plant and soil*, 368(1-2), 5-21.
- Gubela, H.-E. (1988). USA Patente n° 4.769.084.
- Harper, H., Gross, P. L., Jacob, M., Mayes, P. A., Murray, R. K., & Varghese, J. (2016). *Harper: bioquímica ilustrada (30 ed.)*. México: Mc Graw-Hill Interamericana.
- Hermans, C., Conn, S., Chen, J., Xiao, Q., & Verbruggen, N. (2013). An update on magnesium homeostasis mechanisms. *Metallo-mics: integrated biometal science in plants*, 5, 1170-1183. doi:DOI: 10.1039/c3mt20223b
- Johnson, E. R. (1989). USA Patente n° 4.840.734.
- Koner, S. (2017). Need for and Importance of Environmental Education. *International Journal Of Applied Research & Studies*, 2(2), 198-199.
- Leung, H. W., & Paustenbach, D. J. (1990). Organic acids and bases: review of toxicological studies. *American journal of industrial medicine*, 18(6), 717-735.
- Mandel, F. S., Engman, J. A., Whiting, W. R., & Nicol, J. (1989). USA Patente n° 4.865.761.
- Martinez, F. (2009). Formación integral: compromiso de todo proceso educativo. *Revista Docencia Universitaria*, 10(1), 123-135.
- Mendoza, M. (2011). Prevención de riesgos en el manejo de sustancias químicas. *Técnica industrial (296)*, 62-70.

- Menéndez, J. M., Abramson, L., Vera, R. A., Duza, G. E., & Palermo, M. (2015). Total gastrectomy due to ferric chloride intoxication. *Acta Gastroenterológica Latinoamericana*, 45(3), 212-216.
- Merck. (2015). Ácido clorhídrico SDS: ficha de datos de seguridad de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006. Obtenido de Merckmillipore: http://www.merckmillipore.com/WebCO-Site/es_ES/-/COP/ProcessMSDS-Start?PlainSKU=MDA_CHEM-113136&Origin=SERP
- Merck. (2017). Sodio hidróxido en lentejas SDS: ficha de datos de seguridad de acuerdo al Reglamento (CE) No. 1907/2006. Obtenido de Merckmillipore: http://www.merckmillipore.com/WebCO-Site/es_ES//COP/ProcessMSDSStart?PlainSKU=MDA_CHEM-106482&Origin=PDP
- Meyer, E. (1999). *Chemistry of Hazardous Materials*. New York: Prentice Hall.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2012). *Perfil nacional de sustancias químicas en Colombia*. Obtenido de Ministerio de Ambiente: http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/sustancias_qu%C3%ADmicas_y_residuos_peligrosos/Perfil_Nacional_de_Sustancias_Quimicas_en_Colombia_2012.pdf
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2003). *Guías ambientales de almacenamiento y transporte por carretera de sustancias químicas peligrosas y residuos peligrosos*. Obtenido de Minambiente: http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/sustancias_qu%C3%ADmicas_y_residuos_peligrosos/guias_ambientales_almacenam_transp_x_carretera_sust_quim_res_pelig.pdf
- Ministerio de Salud. (2010). *Manual de Gestión integral de residuos*. Obtenido de Ministerio de Salud: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/IA/INS/manual-gestion-integral-residuos.pdf>

- Morris, C. H., & Cook, J. K. (1994). USA Patente n° 5.342.543.
- National Fire Protection Association - NFPA. (2012). NFPA 704: Standard System for the Identification of the Hazards of Materials for Emergency Response. Quincy, Massachusetts, USA: NFPA.
- Nicolopoulou-Stamati, P., Mipas, S., Kotampasi, C., Stamatis, P., & Hens, L. (2016). Chemical Pesticides and Human Health: The urgent need for a new concept in agriculture. *Frontiers in Public Health*, 4, 1-8. doi:<https://doi.org/10.3389/fpubh.2016.00148>
- Orr, D. (2006). Ecological literacy. *Thinking and Knowing about the Environment and Nature*, 175-181.
- Palm, S. K., Smith, T. R., Shiu, J. C., & Roulston, J. S. (2004). USA Patente n° 10/675.812.
- Pita-Morales, L. A. (2016). Línea de tiempo: educación ambiental en Colombia. *Revista Práxis*, 12, 118-125. doi:<http://dx.doi.org/10.21676/23897856.1853>
- Pollution Issues. (2015). *Disasters: Chemical Accidents and Spills*. (2015). Obtenido de Pollution issues: <http://www.pollutionissues.com/Co-Ea/Disasters-Chemical-Accidents-and-Spills.html>
- República de Colombia. (2002) Decreto 1609 de 2002. Por el cual se reglamenta el manejo y transporte terrestre automotor de mercancías peligrosas por carretera. Bogotá, Colombia: D.O. 44892.
- República de Colombia (2009). Resolución 009 del 24 de junio de 2009. Por medio de la cual se subroga la Resolución número 019 de 30 de octubre de 2008. Bogotá, Colombia.
- República de Colombia (2015). Resolución 631 de 2015. Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. Bogotá, Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

- Rivera, E., Sánchez, M., & Domínguez, H. (2018). pH como factor de crecimiento en plantas. *Revista de iniciación científica*, 4, 101-105.
- Sarmiento Ortiz, M. R., Ortiz Espinoza, E., & Álvarez Rosas, J. (2003). Emergencias ambientales asociadas a sustancias químicas en México. *Gaceta ecológica*, (66), 54-63.
- Sahu, O. P., & Chaudhari, P. K. (2013). Review on chemical treatment of industrial waste water. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 17(2), 241-257.
- Schaeffer, A., Amelung, W., Hollert, H., Kaestner, M., Kandeler, E., Kruse, J., ... & Roß-Nickoll, M. (2016). The impact of chemical pollution on the resilience of soils under multiple stresses: a conceptual framework for future research. *Science of the Total Environment*, 568, 1076-1085
- Smith, J. K. (2016). The evolution of the chemical industry: a technological perspective. In *Chemical Sciences in the Modern World* (pp. 137-157). University of Pennsylvania Press.
- Walker, C., Sibly, R., Hopkin, S., & Peakall, D. (2012). *Principles of Ecotoxicology*. CRC Press.
- Walker, R. B., Walker, H. M., & Ashworth, P. (1995). Calcium-Magnesium nutrition with special reference to serpentine soils. *Plant physiology*, 30(3), 214-221. doi: DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.30.3.214>
- Xu, J. M., Tang, C., & Chen, Z. L. (2006). The role of plant residues in pH change of acid soils differing in initial pH. *Soil Biology and Biochemistry*, 38(4), 709-719.
- Yılmaz, T., Ercikdi, B., & Cihangir, F. (2020). Evaluation of the neutralization performances of the industrial waste products (IWPs) in sulphide-rich environment of cemented paste back-fill. *Journal of environmental management*, 258, 110037.

Zhang, B., Matchinski, E. J., Chen, B., Ye, X., Jing, L., & Lee, K. (2019). Marine oil spills—oil pollution, sources and effects. In *World seas: an environmental evaluation* (pp. 391-406). Academic Press.