

Artículo Original

**DESARROLLO Y APLICACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA
REDUCIR PRODUCTOS QUÍMICOS OCIOSOS Y CADUCADOS
EN LA INDUSTRIA PETROLERA**

**DEVELOPMENT AND APPLICATION OF ALTERNATIVES TO REDUCE THE
DISUSED AND EXPIRED CHEMICALS IN OIL INDUSTRY**

Yamila Navarro Sosa ^{1*} <https://orcid.org/0000-0002-6053-2872>
Lester Rivas Trasancos ¹ <https://orcid.org/0000-0001-9521-4420>
Claudia Chao Reyes ¹ <https://orcid.org/0000-0002-5414-2552>
Carlos César Cañete Pérez ¹ <https://orcid.org/0000-0002-8609-2553>
Yuletsis Díaz Rodríguez ¹ <https://orcid.org/0000-0002-0705-1439>

¹ Centro de Investigación del Petróleo (CEINPET), Churruca # 481, E/ Washington y Vía Blanca, Municipio Cerro, La Habana, Cuba.

Recibido: Abril 15, 2021; Revisado: Mayo 14, 2021; Aceptado: Junio 1º, 2021

RESUMEN

Introducción:

Las sustancias químicas son ampliamente usadas en diferentes procesos productivos y aplicaciones de la vida moderna, por tanto, su uso se ha generalizado. Un número importante de ellas son consideradas peligrosas debido a propiedades o características que pueden afectar el ambiente y los seres vivos. La acumulación de productos químicos ociosos y caducados (PQOC) en la industria petrolera es un problema que data de varios años, por lo que se hace necesario definir y aplicar opciones de manejo que permitan la disminución de los riesgos asociadas a estas sustancias.

Objetivo:

Disminuir los inventarios de PQOC en la industria petrolera, a través de la aplicación de alternativas de manejo.

Materiales y Métodos:

Se realizó el análisis de las existencias de PQOC, atendiendo a los principios de jerarquía en la gestión de residuos, que plantean, después de la minimización de la generación, el aprovechamiento y valorización de los mismos. Cada sustancia fue evaluada para la aplicación de soluciones de tratamiento o eliminación final, considerando el tipo, cantidad, peligrosidad, características particulares y las



Este es un artículo de acceso abierto bajo una Licencia *Creative Commons* Atribución-No Comercial 4.0 Internacional, lo que permite copiar, distribuir, exhibir y representar la obra y hacer obras derivadas para fines no comerciales.

* Autor para la correspondencia: Yamila Navarro, Email: yamilan@ceinpet.cupet.cu



condiciones técnicas disponibles para ejecutarlas, además de los requisitos legales aplicables.

Resultados y Discusión:

Se definieron y aplicaron diferentes opciones de manejo, tales como: la estabilización del lugar, otros usos, transferencia a otros usuarios, aprovechamiento energético, así como la dilución y neutralización.

Conclusiones:

Se redujeron los inventarios de estas sustancias en 736,2 kg y 201,3 L. El análisis económico y ambiental demuestra la factibilidad de la aplicación de estas alternativas, disminuyendo, además, los riesgos generados por su prolongado almacenamiento.

Palabras clave: alternativas de manejo; desecho peligroso; productos químicos.

ABSTRACT

Introduction:

Chemical substances are widely used in different production processes and applications of modern life; therefore, their use has become widespread. A significant number of them are considered dangerous due to properties or characteristics that can affect the environment and living beings. Disused and expired chemical products (PQOC) accumulation in the oil industry is a problem that dates back several years, so it is necessary to define and apply management options that allow the risks associated with these substances reduction.

Objective:

To reduce PQOC inventories in the oil industry, through the application of management alternatives.

Materials and Methods:

The analysis of the PQOC stocks was carried out, taking into account the principles of hierarchy in waste management, which is proposed, after minimizing their generation, use and recovery. Each substance was evaluated for treatment or final disposal solutions application, considering type, quantity, danger, particular characteristics and technical conditions available for run them, in addition to applicable legal requirements.

Results and Discussion:

Different management options were defined and applied, such as: stabilization of the site, other uses, transfer to other users, energy use, as well as dilution and neutralization.

Conclusions:

These substances inventories were reduced by 736.2 kg and 201.3 L. Economic and environmental analysis show the feasibility of applying these alternatives, also reducing the risks generated by their prolonged storage.

Keywords: management alternatives; hazardous waste; chemical products.

1. INTRODUCCIÓN

Son innegables los aportes que la utilización de las sustancias químicas implica para nuestra sociedad, pero también es indudable que la proliferación y el uso cada vez masivo de sustancias químicas trajeron consigo importantes problemas para la salud

humana y ambiental. Muchos incendios, explosiones y otros desastres resultan del control inadecuado de los riesgos químicos asociados a estas.

Liberadas a la atmósfera, las sustancias químicas pueden contaminar el aire y producir gases como los de efecto invernadero, destructores de ozono, o contribuir con la formación de lluvia ácida. A su vez, los agentes químicos pueden contaminar los recursos de agua a través de descargas directas o por la deposición de contaminantes atmosféricos. Esta contaminación puede tener efectos nocivos en organismos acuáticos y en la disponibilidad de agua para consumo humano (Maffei y Martín, 2014).

Los reactivos utilizados en los laboratorios pueden clasificarse por su peligrosidad química y al medio ambiente. Estos deben almacenarse en recipientes específicos convenientemente señalizados y retirarse siguiendo procesos preestablecidos. Además, pueden considerarse otros factores tales como: volumen de residuos generados; facilidad de neutralización; posibilidad de recuperación, reciclado o reutilización, costo del tratamiento y de otras alternativas (Flores y col., 2013).

Los productos químicos caducados son considerados desechos peligrosos y su acumulación en la industria petrolera, es un problema que data de varios años, por lo que se hace necesario definir y aplicar alternativas de manejo que permitan la disminución de los inventarios de estas sustancias y su adecuado manejo (Navarro y col., 2018).

El manejo de los desechos peligrosos abarca las etapas siguientes: aplicación de estrategias de prevención de la generación en las fuentes de origen, generación, recolección, clasificación, transporte, almacenamiento, aprovechamiento económico (reciclaje, reuso), tratamiento y disposición final (Resolución 136, 2009).

El tipo de tratamiento a aplicar dependerá, entre otros factores, de las características y peligrosidad de los productos químicos, así como de la posibilidad de recuperación, reutilización o reciclado, que para ciertos productos resulta muy aconsejable (Santana y Velásquez, 2010).

El objetivo de este trabajo es disminuir los inventarios de PQOC en la industria petrolera a través de la aplicación de alternativas de manejo.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la propuesta y aplicación de alternativas de manejo se realizó el análisis de las existencias de PQOC, atendiendo los principios de jerarquía en la gestión de residuos, que plantea como primera opción, después de la minimización de la generación, el aprovechamiento y valorización de los mismos (Benítez y col., 2013).

Se consideraron usuarios potenciales que fueran capaces de asimilar los mismos, priorizando siempre su utilización en la propia entidad, lo que se identifica como transferencia a terceros cuando sea a entidades externas y otros usos para el caso que ocurra internamente (Navarro y col., 2019).

Cada sustancia fue evaluada de forma particular para la aplicación de soluciones de tratamiento o eliminación final. Se consideró el tipo, cantidad, peligrosidad, características específicas y las condiciones técnicas disponibles para su manejo (CUPET, 2018). Se consideraron, además, los requisitos legales aplicables como la (Resolución 136, 2009) del CITMA, y la modificación de la licencia ambiental para la aplicación de las alternativas (Resolución 136, 2009).

2.1. Dilución

Para las sustancias que no presentaban características de peligrosidad definidas en la legislación vigente (NC 229, 2014) se aplicó el tratamiento de dilución, considerando que los beneficios obtenidos por la disminución del riesgo asociado al almacenamiento de estas sustancias, fueron superiores a los impactos negativos causados. En la selección de las sustancias a diluir se consideraron los cationes y aniones de baja toxicidad y residuos de laboratorio no peligrosos. Pueden verterse al drenaje soluciones acuosas que son fácilmente biodegradables, residuos que ya hayan sido desactivados por algún tratamiento y disoluciones de sustancias inorgánicas de baja toxicidad (Álvarez y col., 2003).

El procedimiento aplicado fue el siguiente:

- Seleccionar las sustancias a diluir.
- Verificar que existan las condiciones para realizar el proceso (disponibilidad de agua en el fregadero).
- Realizar la operación lentamente y solo con un tipo de producto a la vez.
- Verter el producto a diluir en el fregadero con la válvula de agua abierta.
- Realizar monitoreo del vertimiento al alcantarillado antes y después de la dilución.

El muestreo de los residuales líquidos se realizó empleando la (NC 27, 2012) y los ensayos fueron realizados según las normas descritas en la tabla 1.

Tabla 1. Métodos de ensayos utilizados en el procesamiento de las muestras

<i>Parámetros</i>	<i>pH</i> (25°C)	<i>COND</i> μS/cm (25°C)	<i>DQO</i> (mg/L)	<i>DBO₅</i> (mg/L)	<i>S Sed</i> (ml/L)	<i>G y A</i> (mg/L)	<i>Fenol</i> (mg/L)	<i>Sulfuro</i> (mg/L)
Métodos de Ensayos	ISO 10523	APHA 2510	ISO 6060	ISO 5815	APHA 2540	APHA 5520	ISO 6439	APHA 4500

Se realizó el análisis de Zn, Cd, Cu y Cr total, utilizando la espectroscopía de emisión atómica con fuente de plasma.

2.2. Neutralización

Se realizó la reacción entre un ácido y una base, donde se forma una sal y agua, basada en la hidrólisis en medio alcalino de los glicéridos o grasas naturales o de sus ácidos grasos. Cuando la reacción de neutralización tiene lugar entre un ácido orgánico y el hidróxido de sodio o potasio la reacción que ocurre es la saponificación y la sal obtenida se conoce como jabón (Bolaños, 2013). La reacción que ocurre es la siguiente:



Para tales fines se utilizaron los ácidos palmítico, oleico, esteárico, láurico, así como hidróxidos de potasio y sodio, empleando el procedimiento siguiente:

Se pesan 100 g del ácido, se calienta al baño maría en caso que se encuentre en estado sólido. Se mezcla con 100 mL de una disolución de hidróxido al 20 % y se agita (Calderón, 2000). El ácido oleico se encuentra en estado líquido y la sal que se obtiene

es el jabón líquido. En el caso de jabón duro, se vierte en los moldes, dejándose reposar 24 horas y si es jabón líquido se envasa en los recipientes destinados a ese fin.

2.3. Aprovechamiento energético

Se realiza para aquellas sustancias que por sus características presentan un potencial energético. Se previeron dos variantes: el vertimiento a una cisterna de residuos de hidrocarburos, los que se emplean posteriormente como combustible alternativo en entidades autorizadas, y la mezcla dosificada en pequeñas cantidades con el combustible del transporte automotor, para mejorar sus características.

Para ello se tiene en cuenta, según el criterio de expertos, que el número de carbonos fuese mayor que siete (7), lo que garantiza que la presión de vapor no sea elevada, ni el punto de inflamación bajo. Esto evita cualquier incidente que pudiera ocurrir al mezclarse con los productos.

2.4. Evaluación económica de las alternativas aplicadas

Se tuvieron en cuenta los gastos incurridos en la realización de las mismas, los que se describen a continuación:

Estabilización del lugar: se incurre en gastos de salario, medios de protección y electricidad para iluminación, ya que los materiales utilizados son desechos reciclados de otras actividades como cartón, envases, trapos, estantes, etc. Estos gastos tienen valores muy bajos.

Otros usos: se incurre en gastos de salario para la entrega de los productos químicos. Se consideran despreciables ya que se sustituyen los gastos por la compra de nuevos productos químicos.

Transferencia a otros usuarios: se incurre en gastos de salario para la entrega de los productos químicos y transportación hacia la entidad receptora. Se consideran despreciables ya que se sustituyen los gastos por la compra de nuevos productos químicos.

Dilución: se incurre en gastos de salario, medios de protección, agua, electricidad y monitoreos.

Neutralización: se incurre en gastos de salario, medios de protección, productos químicos y electricidad. En esta alternativa se consideran los beneficios por la obtención de productos (jabón duro y líquido) en el proceso realizado.

Aprovechamiento energético: se incurre en gastos de salario, medios de protección y transportación del combustible alternativo a la entidad receptora. Se obtienen beneficios por la sustitución de combustible.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se aplicaron alternativas de manejo para la disminuir los inventarios de productos químicos ociosos y caducados.

3.1. Estabilización del lugar

Se realizó el reenvasado de productos, limpieza de derrames, envasado de materiales contaminados, organización de productos según compatibilidad y estados de agregación, etiquetado (en caso de deterioro de etiquetas), identificación de estantes y

casillas, así como mejoramiento de las condiciones de almacenamiento.

Esta alternativa mejoró las condiciones de almacenamiento de dichas sustancias y aunque no disminuye los inventarios de las mismas, posibilita minimizar el riesgo de ocurrencia de eventos que pudieran ocasionar afectaciones a las personas y a los ecosistemas.

3.2. Otros usos

Los inventarios de las sustancias se divulgaron en la propia entidad, se identificaron otros usos, en diferentes laboratorios y se trasladaron a las áreas solicitantes para ser utilizadas.

El total de productos transferidos a otras áreas fueron de 67,8 kg y 18,7 L. Algunos de estos usos se relacionan con el montaje de nuevas técnicas de análisis, nuevas investigaciones, sustitución de productos químicos similares en ausencia de los mismos, así como el uso de algunos productos químicos como diluyente de pinturas sintéticas y la limpieza de brochas.

3.3. Transferencia a otros usuarios

Se efectuó la entrega de productos químicos ociosos y caducados a otras entidades externas con potencial de empleo de los mismos. La cantidad total de productos transferidos fue 295,9 kg y 36,7 L.

3.4. Dilución

Se realizó como disposición final para sustancias que no presentaban ninguna de las características de peligrosidad definidas en la legislación (figura 1), siguiendo el procedimiento descrito anteriormente.



Figura 1. Operación de dilución

Los resultados de los análisis realizados a las muestras de residuales líquidos tomadas antes y después de la dilución mostraron que la mayoría de los parámetros se encontraban dentro de los límites establecidos en la (NC 27, 2012) para el vertimiento al alcantarillado (tabla 2), excepto en algunos casos, en los que los sólidos sedimentables y el fenol se encontraban ligeramente por encima de los valores límites. Estos fueron corregidos con disminución de la frecuencia de dilución de las sustancias relacionadas con estos parámetros e incrementando el flujo de agua, así como filtrando los productos sólidos.

Tabla 2. Resultados de los muestreos

<i>Muestreo</i>	<i>pH</i> (25°C)	<i>COND</i> $\mu\text{S/cm}$ (25°C)	<i>DQO</i> (mg/L)	<i>DBO₅</i> (mg/L)	<i>S Sed</i> (ml/L)	<i>G y A</i> (grav) (mg/L)	<i>Fenol</i> (mg/L)	<i>Sulfuro</i> (mg/L)
Antes dilución	6,99	868	362,24	134,00	0,2	31,06	< 0,02	3,8
Después dilución	6,61	748	684,32	300,50	12,40	49,30	5,31	4,06
Después dilución	6,90	904	699,50	298,00	< 1	46,05	2,58	4,20
LMPP ^(a)	6-9	<4000	<700	<300	<10	<50	<5	5

(a) Límites máximos permisibles promedio para los parámetros de residuales líquidos (vertimiento en alcantarillado) según la clasificación del cuerpo receptor (NC 27, 2012).

En el caso de los análisis de los metales resultaron valores por debajo de los límites de vertimiento, según se establece en la norma. Las cantidades de productos químicos diluidos, ascendieron a 369,9 kg y 52,7 L.

3.5. Neutralización

Se realizó la saponificación, empleando los ácidos grasos palmítico, oleico, láurico y esteárico y con los hidróxidos, de potasio y sodio (figura 2), obteniéndose jabón duro y líquido. El jabón duro es utilizado en el lavado de las manos de los trabajadores y el líquido en la limpieza de baños.



Figura. 2 Proceso de neutralización

Las cantidades de productos químicos neutralizados fueron 2,6 kg y 5,1 L. Se obtuvieron 14 jabones de 42 g y 13 de 134 g, para un total de 990 g de jabón sólido. En el caso del jabón líquido se obtuvieron 42 frascos de 0,25 L que representan un total de 10,5 L.

3.6. Aprovechamiento energético

Se vertieron en la cisterna de residuos de hidrocarburos un total de 61,63 L de productos químicos que pueden contribuir energéticamente en la utilización como combustible de estos residuos en entidades autorizadas, como por ejemplo las fábricas de cemento.

Por otra parte, produce como beneficio la dilución del sedimento acumulado en la cisterna. Se emplearon además 17,41 L para dosificarlo al combustible diésel utilizado en el transporte automotor, lo que contribuyó al ahorro de este portador energético. La cantidad de productos químicos aprovechados energéticamente fue de 78,14 L.

3.7. Evaluación económica de las alternativas aplicadas

Los costos de las alternativas aplicadas (CAA) son bajos con respecto a los gastos que representan el almacenamiento de este tipo de sustancias durante un largo periodo. El costo de almacenamiento (CA) está compuesto por una parte variable (la cantidad de material y el tiempo) y una parte fija (alquiler del almacén, salarios del personal, seguro contra incendio y robo, maquinarias y equipos instalados, entre otros).

A esto, se suma el costo evitado (CE) por las consecuencias que pudiera ocasionar para las personas y el medio ambiente cualquier accidente con este tipo de productos, multas por incumplimiento de la legislación y gastos de enfrentamiento a emergencias.

$$CO = CA + CE \quad (2)$$

CO: Gastos de operación por el almacenamiento de PQOC (CUP)

CA: Costo de almacenamiento (CUP)

CE: Costo evitado (CUP)

Nota: 24 Pesos cubanos (CUP) = 1USD

$$CAA = CD + CN - B \quad (3)$$

CAA: Costo de aplicación de alternativas

CD: costos dilución

CN: costos neutralización

B: Beneficios económicos

Nota: las alternativas de transferencia a otros usuarios, otros usos y aprovechamiento energéticos no incurren en gastos significativos por lo que no fueron considerados.

Existen beneficios económicos (B) por la obtención de productos como el jabón, la no adquisición de nuevos productos químicos (más de 300 kg y 50 L) y la sustitución de combustible (78,14 L).

$$CAA = 7002,86 \text{ CUP} + 278,11 \text{ CUP} - B = 7280,97 \text{ CUP} - B$$

$B \gg 7280,97 \text{ CUP}$ por lo que CAA es despreciable.

Los gastos de operación por el almacenamiento de PQOC son mayores que los costos de las alternativas de manejo por lo que es factible su aplicación.

4. CONCLUSIONES

Se aplicaron diferentes alternativas de manejo para los productos químicos ociosos y caducados, entre ellas la estabilización del lugar, otros usos, transferencia a otros usuarios, aprovechamiento energético, así como dilución y neutralización, lo que dio lugar a:

1. La disminución de los inventarios de estas sustancias en 736,2 kg y 201,3 L.
2. La disminución de los riesgos asociados al almacenamiento de las mismas.
3. El análisis económico y ambiental demostró que es factible la aplicación de las alternativas seleccionadas.

REFERENCIAS

- Álvarez, C., Arce, M., y Parra, N., Manual de manejo de residuos peligrosos químicos para la Universidad de Sonora., División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Universidad de Sonora, México, 2003, pp. 10-45.
<https://qb.unison.mx/PISSA/manual.pdf>
- Benítez, R., Ruiz, D.V., Obando, M.A., Miranda, C.D., y Gil, J.C., Gestión integral de residuos químicos generados en los laboratorios de docencia en química de la Universidad del Cauca., Revista Ciencia en Desarrollo, Vol. 4, No. 2, 2013, pp. 63-72.
- Bolaños, J., Protocolo para la gestión verde en laboratorios de química con fines académicos., Pensamiento Actual, Universidad de Costa Rica, Vol.12, No. 18-19, 2013, pp. 47-58.
- Calderón, C., Utilización del aceite de palma en la fabricación de jabón., Palmas, Vol. 21, No. Especial, Tomo 2, 2000, pp. 337-342.
<https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=Utilizaci%C3%B3n+del+aceite+de+palma+en+la+fabricaci%C3%B3n+de+jab%C3%B3n.%2C+Palmas%2C+Vol.+21%2C+No.+Especial%2C+Tomo+2>
- Flores, R., Valladares, P., y Villegas, A., Propuesta de tratamiento y disposición final de los residuos químicos generados en el laboratorio de calidad de aguas del ministerio de medio ambiente y recursos naturales., Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Químico, Universidad de El Salvador, Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos, San Salvador, El Salvador, 2013.
- Maffei, L., & Martín, L., La gestión racional de sustancias químicas: elemento esencial para mejorar la salud de trabajadores y comunidades en América Latina. Principales logros y resultados de los proyectos implementados por Sustainlabour con apoyo del Programa de Inicio Rápido (QSP) de SAICM., International Labour Foundation for Sustainable Development (Sustainlabor), 2014, pp. 1-140.
<https://www.paho.org/hq/dmdocuments/2013/SAICM-publication-SPA.pdf>
- Navarro, Y., Rivas, L., Chao, C., Cañete, C., Díaz, Y., y Romero, R., Documento de Proyecto 9039 Desarrollo y aplicación de alternativas para la reducción de las existencias de productos químicos ociosos y caducados en CUPET., CEINPET, La Habana, Cuba, 2018, pp. 1- 22.
- Navarro, Y., Rivas, L., Chao, C., Cañete, C., Díaz, Y., y Romero, R., Etapa 01 Elaboración de alternativas de manejo de productos químicos ociosos y caducados.

- Proyecto 9039 Desarrollo y aplicación de alternativas para la reducción de las existencias de productos químicos ociosos y caducados en CUPET., La Habana, Cuba, CEINPET, 2019, pp. 1-14.
- NC 27:2012., Vertimiento de residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado-Especificaciones., Oficina Nacional de Normalización, La Habana, Cuba, Edición octubre 2012, pp. 1-14.
<http://ftp.isdi.co.cu/Biblioteca/biblioteca%20universitaria%20del%20isdi/coleccion%20digital%20de%20normas%20cubanas/2012/nc%2027%20a2012%2014p%20sky.pdf>
- NC 229:2014., Seguridad y Salud en el Trabajo. Productos Químicos Peligrosos. Medidas para la Reducción del Riesgo., Oficina Nacional de Normalización, La Habana, Cuba, Edición julio 2014, pp. 1-31.
<http://ftp.isdi.co.cu/biblioteca/biblioteca%20universitaria%20del%20isdi/coleccion%20digital%20de%20normas%20cubanas/2012/nc%2027%20a2012%2014p%20sky.pdf>
- Resolución 136:2009., Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio ambiente (CITMA). Reglamento para el manejo integral de desechos peligrosos., Gaceta Oficial de la República de Cuba No. 037 Ordinaria de 28 de septiembre de 2009, La Habana. Cuba: Ministerio de Justicia, 2009, pp. 1288 - 1304.
- Santana, I., y Velásquez, W., Gestión de los residuos y desechos peligrosos generados en prácticas de laboratorio de química inorgánica y química analítica de la Escuela de Ingeniería Química., Tesis presentada en opción al Grado Científico de Doctor en Ingenierías, Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador, 2010.
<http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/2082/http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/2082/>
- CUPET., Unión CubaPetróleo, Procedimiento OC-MA/P 06 Manejo de Productos Químicos Peligrosos., Versión 02, Gestión Ambiental, La Habana, Cuba, 2018, pp. 3-15. <http://intranet.cupet.cu/GestionMA/Paginas/Instrumentos-de-Gestion.aspx>

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declararan que no existen conflictos de interés.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- M.Sc. Yamila Navarro Sosa. Elaboró, dirigió y desarrolló la investigación. Participó en la aplicación de las alternativas de manejo. Participó en la discusión de los resultados obtenidos. Realizó la escritura del artículo.
- M.Sc. Lester Rivas Trasancos. Participó en la elaboración y desarrollo de la investigación. Participó en la aplicación de las alternativas de manejo. Participó en la discusión de los resultados obtenidos. Colaboró en la escritura del artículo
- Ing. Claudia Chao Reyes. Participó en la elaboración y desarrollo de la investigación, la aplicación de alternativas y en la discusión de los resultados obtenidos.
- M.Sc. Carlos Cesar Cañete Pérez. Participó en la elaboración y desarrollo de la investigación, la aplicación de alternativas y en la discusión de los resultados obtenidos.
- M.Sc. Yuletsis Díaz Rodríguez. Participó en el desarrollo de la investigación y la discusión de los resultados obtenidos.