Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riiit.com.mx

Estudio preliminar sobre las prácticas de manejo de aceites usados industriales, automotores y agrícolas en dos entidades federativas de generación intermedia

Preliminary study on the management practices of industrial, automotive and agricultural waste oils in two intermediate generation states

Cano-Figueroa, M.A.[1]*, Arcos-Gutiérrez, H.[1], Rivera-Arreola, D.E.[2]

[1] CIATEQ A.C., Sede San Luis Potosí. Centro de Tecnología Avanzada, A. C., Eje 126 No. 225. Zona Industrial. San Luis Potosí, S.L.P., C.P. 78395.
[2] Universidad Politécnica de Pachuca, Carretera Cd. Sahagún-Pachuca Km. 20, Ex-Hacienda de Santa Bárbara, Zempoala, Hidalgo, C. P. 43830.
martha.cano@ciateq.mx*; hugo.arcos@ciateq.mx; eduardorivera@upp.edu.mx

Innovación Tecnológica: Ingeniería industrial - química - ambiental. Administración y manejo de residuos de aceites industriales, automotores y agrícolas.

Área de aplicación Industrial: Desecho, manejo, reciclaje y reutilización de residuos oleosos.

Recibido: 06 abril 2023
Aceptado: 09 noviembre 2024

Abstract

In Mexico, used oils have been increasing due to the increase in the manufacture and commissioning of equipment, systems and vehicles that require them for their proper functioning. Once these oils have reached the end of their useful life, they become waste with different uses. However, in this process, since they are considered waste, the figures involved in their removal, handling, storage and destination play an important role in terms of the correct implementation of the protocols and regulations that regulate them, derived from the official competent organizations. It is therefore essential that the companies producing this oily waste are aware of, carry out and maintain their correct management, in order to minimize the negative impact on the environment as a whole, directly or indirectly, and in particular on the environment.

In this sense, the objective of this research was to analyze, study and describe the disposal, containment, storage and destination practices that are carried out on a daily basis in the primary reception facilities of used oils classified as hazardous waste (HW) under the General Law for the Prevention and Integral Management of Waste (LGPGIR), with T and I characteristics, which indicate the degree of hazardousness, toxicity and flammability, respectively, to subsequently

compare them with the current regulations of NOM-052-SEMARNAT-2005, NOM-055-SEMARNAT-2003, NOM-098-SEMARNAT-2002, NOM-161-SEMARNAT-2011, NOM-138-SEMARNAT/SSA-2012 and in accordance with the operating manuals of the INECC (National Institute of Ecology and Climate Change).

The present research was carried out in two states of intermediate generation, with the aim of knowing and preliminary establishing, the in-situ behavior of disposal practices of industrial, automotive and agricultural oils. Based on a thorough bibliographic review, with a descriptive and comparative scope, a non-experimental, cross-sectional design and instrumental validation was carried out in the states of Hidalgo and San Luis Potosí. The results showed significance and reliability in the pairing process and independence of the data, showing the relationship between the size of generators and industrial, automotive and agricultural sectors. The distribution and generation of oils by type and percentage of waste was studied, showing the benefits and consequences of a correct register of Hazardous Waste Generators (PGRP). The recurrent practices of collection, handling (separation, mixing and identification of contaminants), containment and storage were also analyzed. It has also been considered to include in the present research, the real destination and the stimuli that determine the disposal practices of waste oils. The motivating factors for this research are the preliminary generation of evidence and information aimed at studies, actions and corrections in the waste oil disposal process, for sources of recycling, treatment and reuse that impact the environment and the surroundings in which they are developed, as well as a precedent of compliance with regulatory protocols for waste oils.

The results obtained are intended to contribute to research on new ways of using waste oils, since they conclude with important findings that can be estimated, referenced and even indicated in the behavior of current practices of waste oil residues, not only in the target entities, but also in the rest of the Mexican Republic.

Keywords: Waste practices, Waste oils, Industrial oils, Automotive oils, Agricultural oils.

Resumen

En México, los aceites usados han ido en aumento debido al incremento en la fabricación y puesta en marcha de equipos, sistemas y vehículos que los requieren para su correcto funcionamiento. Una vez que estos aceites han llegado al final de su vida útil, se convierten en residuos con diferentes usos. Sin embargo, en este proceso, al ser considerados residuales, las figuras implicadas en su retirada, manipulación, almacenamiento y destino juegan un papel importante en cuanto a la correcta aplicación de los protocolos y normativas que los regulan, derivados de los organismos oficiales competentes. Por ello, es fundamental que los establecimientos productores de estos residuos oleosos conozcan, realicen y mantengan una correcta gestión de los mismos, con el fin de minimizar el impacto negativo sobre el medio ambiente en su conjunto, directa o indirectamente, y en particular sobre el medio ambiente.

En este sentido, el objetivo de la presente investigación consistió en analizar, estudiar y describir las prácticas de disposición, confinamiento, almacenamiento y destino, que se realizan cotidianamente en los establecimientos de recepción primaria de aceites usados clasificados como residuos peligrosos (RP) en la Ley General para la Prevención y Administración Integral de los Residuos (LGPGIR), con características T e I, que indican el grado de peligrosidad, toxicidad e

inflamabilidad respectivamente, para posteriormente compararlos con las normatividades vigentes de la NOM-052-SEMARNAT-2005, NOM-055-SEMARNAT-2003, NOM-098-SEMARNAT-2002, NOM-161-SEMARNAT-2011, NOM-138-SEMARNAT/SSA-2012 y de acuerdo con los manuales de operación del INECC (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático).

La presente investigación se realizó en dos entidades federativas de generación intermedia, con el objetivo de conocer y establecer preliminarmente, el comportamiento *in situ* de las prácticas de desecho a aceites industriales, automotores y agrícolas. Con base en una minuciosa revisión bibliográfica, con alcance descriptivo y comparativo, en las entidades de Hidalgo y San Luis Potosí, se desarrolló en campo, un diseño no experimental, trasversal y validación instrumental. Los resultados mostraron significancia y confiabilidad en el proceso de pareo e independencia de los datos, mostrando la relación entre el tamaño de generadores y sectores industriales, automotores y agrícolas. Se estudio la distribución y generación de aceites por tipo y porcentaje de residuos, mostrando los beneficios y consecuencias de contar con un correcto registro del Padrón de Generadores de Residuos Peligrosos (PGRP). También se han analizado las prácticas recurrentes al retiro, manipulación (separación, mezcla e identificación de contaminantes), contención y almacenamiento. Así mismo se consideró incluir para la presente investigación, el destino real y los estímulos que determinan las prácticas de disposición de aceites usados. Los factores motivadores de la presente investigación son la generación preliminar de evidencia e información orientada a estudios, acciones y correcciones en el proceso de desecho de aceites desgastados, para fuentes de reciclaje, tratamiento y reutilización que impacten el medio ambiente y entorno en el que se desarrollan, así como un antecedente de cumplimiento de protocolos normativos para aceites residuales.

Los resultados obtenidos pretenden contribuir en investigaciones de nuevas formas de aprovechamiento de los aceites usados, puesto que concluye con hallazgos importantes que pueden ser estimados, referenciados e incluidos en el comportamiento de las prácticas actuales de los residuos de aceites usados, no solo en las entidades objetivo, sino en el resto de la República Mexicana.

Palabras clave: Prácticas de desecho, Aceites usados, Aceites industriales, Aceites automotores, Aceites agrícolas.

I. Introducción

Los residuos de aceite de motor, industriales y agrícolas son sustancias altamente contaminantes que deben manejarse con responsabilidad; debido a que pueden dañar el medio ambiente cuando se desechan en el suelo o en vías fluviales, incluidas las alcantarillas[1]. Por lo tanto, un manejo inadecuado provoca contaminación de las aguas subterráneas y del suelo. Los residuos antes mencionados contienen diversos compuestos clasificados como metales pesados (cromo, cadmio, arsénico, plomo, etc.)[2], hidrocarburos aromáticos policíclicos y benceno. Además, en ocasiones se presentan disolventes clorados que se generan durante el uso, debido a que el aceite reacciona con los compuestos halogenados de los aditivos, así como los disolventes añadidos por los fabricantes para limpiar las piezas metálicas. Por mencionar algunos tenemos al tricloroetano, el tricloroetileno y el percloroetileno[3], donde su presencia combinada con altas concentraciones de algunos metales pesados, son los principales factores de riesgo en los aceites usados. Los metales deben su presencia al desgaste y contacto con el combustible en el motor o

máquina que lubrica. Estos compuestos tienen efectos directos sobre la salud humana y algunos de estos productos son cancerígenos[3].

Un estudio integral de la Agencia de Protección al Ambiente (EPA)[4], sobre alternativas reglamentarias a los aceites lubricantes usados, determinó que más de 3000 casos de cáncer podrían resultar de la ingestión de cromo y sus compuestos durante la combustión. La quema de aceite lubricante usado contaminado con bifenilos policlorados (PCB) en condiciones no controladas y a temperaturas insuficientes, produce emisiones de dioxinas y furanos que se consideran también precursores del cáncer. Lo mismo se aplica a los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), producidos en todos los motores de combustión interna.

Por esta razón, es muy importante un manejo particular y cuidadoso al desechar el aceite usado, debido a que muchas sustancias químicas concentradas pueden ingresar a los tejidos humanos y causar diversas enfermedades, (EPA, 2015)[4].

La Real Academia Española (RAE) define a un residuo como un material peligroso e inservible después de haber realizado un trabajo u operación para el que fue creado (RAE, 2022)[5]. La Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2019)[6], define los residuos en LGPGIR[7], como todos los materiales o productos que los usuarios desechan en cualquier estado de la materia. Los cuales pueden estar o no contenidos en recipientes o depósitos y ser candidatos susceptibles a su valorización siempre y cuando sean sujetos de algún procedimiento para su disposición final.

De acuerdo a lo dictado por esta Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación (DOF, 2003)[7] y según sus características, así como sus orígenes se clasifican en tres grandes grupos: Residuos sólidos urbanos (RSU), Residuos de manejo especial (RME) y Residuos peligrosos (RP)[6,7].

Estos últimos son aquellos que poseen alguna de las características CRETIB[8], lo que les confiere algún grado de peligrosidad: C (corrosividad), R (reactividad), E (explosividad), T (toxicidad), I (inflamabilidad), B (biológico-infecciosos). Se incluyen además los envases, recipientes y embalajes que los contienen con alcance a los suelos contaminados como consecuencia de contacto por el uso de estos[7,8].

Por otro lado, las empresas y establecimientos que generan residuos peligrosos (RP), brindan información para el Padrón de Generadores de Residuos Peligrosos (PGRP) de la SEMARNAT[9,10], al que se encuentran inscritos. Las cifras por estos desechos son alarmantes, considerando el impacto que estas pueden ocasionar al medio ambiente, de acuerdo al PGRP, a datos de la Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades (DGGIMAR)[10] y el Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales (SNIARN)[11] de la SEMARNAT, donde menciona la generación total registrada a nivel nacional del 2004 al 2021 fue de 4,190,718.93 toneladas, y los aceites gastados, alcanzaron un 21% del total de los RP, con una cantidad asentada del 2004-2021 de 880,050.98 toneladas.

Los principales contribuyentes de estos remanentes son principalmente empresas y establecimientos clasificados en micro, pequeños y grandes generadores[11].

Desde este punto de vista, las entidades que producen mayormente estos residuos son[11]: la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), Chihuahua, Campeche y Tamaulipas alcanzando 1,624,525.42 toneladas lo que representa un 38.76%.

Por otro lado, las entidades de mediana

generación son: San Luis Potosí, Puebla, Querétaro e Hidalgo, quienes alcanzan la cifra de 199,646.44 toneladas, equivalentes al 4.76%. Y finalmente las entidades que reportan menor volumen de residuos son: Guerrero, Chiapas, Nayarit y Oaxaca, con un registro de 16,139.78 toneladas representando el 0.38%. Los datos de diferentes aceites de desecho generados por empresas y establecimientos, pudieron conocerse por medio de los informes del Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos (DBGIR, 2020)[12], donde se identifican los equipos o sistemas que propician su generación, denotándose de la siguiente manera: lubricantes de servicios de mantenimiento a automotores (53%), reparación de maquinaria y equipos de diversos giros industriales (38%), servicios hidráulicos (6%) y otros solubles (3%). Por lo que el sentido del presente estudio, se direccionó hacia los tres primeros, con central indagación en los aceites automotores, industriales y agrícolas.

Por otra parte, derivado a que estos aceites próximos al desecho resultan inertes, pero no inocuos para el ser humano o el ambiente, las proporciones de los efectos adversos pueden resultar particularmente peligrosos. Además, cuando se vierten al ambiente accidentalmente o se utilizan inadecuadamente y su manejo no se realiza conforme a ciertos protocolos[8,9] resultan en desechos tóxicos.

Sin embargo, los destinos que enuncia la SEMARTAT por medio de planes de manejo de residuos aceitosos[6,9], tienen un fin conocido con empresas de co-procesamiento (recuperación de bases lubricantes), aprovechamiento (nuevos destinos de aceites sin tratamiento) y reutilización (como materia prima en procesos escalados), todos ellos descritos de forma general.

Por lo anterior, surge el cuestionamiento sobre cuáles son las practicas reales que se llevan a cabo sobre los RP en el día a día y específicamente en los aceites usados. En este sentido, el objetivo de la presente investigación, consistió en un minucioso análisis descriptivo sobre las prácticas de desecho de estos residuos. También se consideró analizar la forma de contención, resguardo y destino en los establecimientos de recepción primaria de aceites usados, fundamentados en la clasificación RP, con características T e I. Lo anterior se debe a que estos remanentes confieren grados de peligrosidad, toxicidad e inflamabilidad respectivamente[8]. Finalmente se contrastan los resultados con las normatividades vigentes.

Los resultados estadísticos mencionados de generación a nivel nacional, muestran e infieren los grandes y menores productores de aceites usados, sin embargo, con la finalidad de acotar sesgos en la medición de este estudio, en cuanto a la mayor o menor producción de residuos y conocer así las tendencias significativas en su manejo, se delimitaron geográficamente los estratos objetivo para visita de los establecimientos generadores, análisis del retiro de aceites y su manejo, por lo que el límite inferior y superior de la categoría intermedia; mediana generación, correspondió a las entidades federativas de San Luis Potosí e Hidalgo, mismas que aportaron los datos e información verídica a la presente.

La estructura del documento detalla la metodología de la investigación; con un estudio preliminar indagatorio, con alcance descriptivo y comparativo, en dos entidades federativas de generación intermedia de aceites usados. Este análisis fue desarrollado en campo, no experimental, de corte trasversal con diseño y validación instrumental, confiable y significativa que concluye en los hallazgos relevantes por relación y correlación de resultados.

II. Materiales y Métodos

La metodología de investigación para este estudio, se enfocó en la necesidad de analizar y obtener información de los registros en instituciones privadas[2,3,4] y gubernamentales[6,7,8], para con ello lograr identificar la población objetivo, calcular la muestra y determinar variables no paramétricas[16], así como diseñar, validar y aplicar un instrumento[17], que permitiera posteriormente analizar y descifrar las prácticas reales en el desecho de los aceites usados fuera de su vida útil. En ese sentido, por medio de la estadística descriptiva[18], dando pauta a las conclusiones o recomendaciones de la indagación, así como contrastando los hallazgos del estudio, la presente metodología utilizada se resume de forma general como se muestra en la Figura 1.

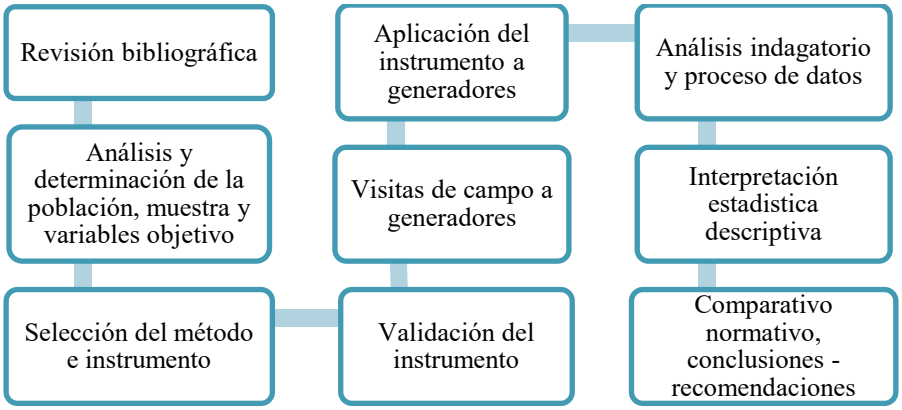


Figura 1. Método aplicado en la investigación.
Fuente: Elaboración propia.

Muestra

De acuerdo a dato oficiales de la SEMARNAT (2021)[10,11,12], se tiene un registro de 2716 generadores en el estado de Hidalgo y 2876 en el estado de San Luis Potosí, clasificados en micro, pequeños y grandes generadores como se muestra a continuación en la Figura 2.

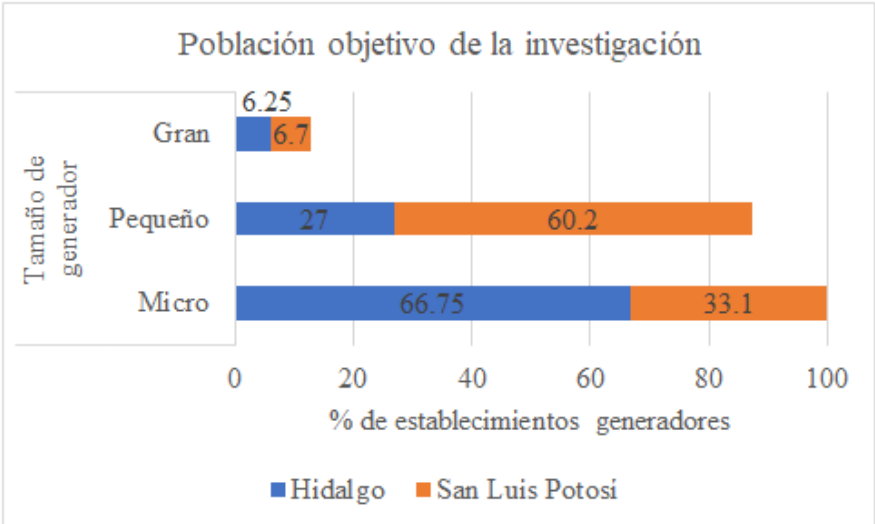


Figura 2. Generadores por entidad federativa.
Elaboración propia, con datos SNIARN. SEMARNAT-DGGIMAR.

De este total, se calculó la muestra de una proporción verdadera por medio de la siguiente ecuación[19]:

$$n = \frac{NZ^2 p(1-p)}{(N-1)e^2 + Z^2 p(p-1)} \quad \textbf{(Ec. 1)}$$

La ecuación 1, se utilizó para calcular una muestra pareada de N=120.31 generadores, a un intervalo de confianza Z =1.96 o 95% para poblaciones finitas y p=0.2 como una proporción verdadera. Se consideró un error del muestreo aceptable e=0.1.

Este número de generadores de aceites usados, se acotó finalmente a N=120, de los cuales la clasificación es concordante a la publicada por el SNIARN (2022)[11]. Con relación a la categoría de micro-generador, se tienen 60 que representan el 49.92%, pequeño-generador con 52 (43.6%) y finalmente, 8 son grandes-generadores (6.48%). Estos datos fueron seleccionados de forma no probabilística, con una media aritmética (μ): 40 y una desviación estándar (σ): 22.86, con distribución por entidad federativa. La independencia de la muestra se observa en la Figura 3.



Figura 3. Generadores objetivo.
Elaboración propia, con datos SNIARN. SEMARNAT-DGGIMAR, 2023.

Instrumento

El instrumento seleccionado para esta investigación, de acuerdo a Herrera & Velázquez (2023)[7], se construyó con la finalidad de indagar y medir las prácticas en el desecho de los aceites usados, en los sectores industriales, automotores y agrícolas, por medio de pruebas no paramétricas en escala diferencial de Thurstone[17]. Este método mide y cuantifica las opiniones o actitudes de las personas a través de su escala, con valores numéricos asignados a las afirmaciones de acuerdo (incluyendo 14 apartados de selección e identificación particular en adaptación al instrumento) y desacuerdo como límite de la información. Las afirmaciones que integraron la escala, consideraron si se encuentran registrados como generadores, tipo de clasificación como generador, residuos que producen, posibles mezclas y separaciones. Se considero también como formas de recolección, resguardo, contaminación, destino y posibles compensaciones económicas por los residuos. Las consultas detonantes estuvieron dirigidas hacia el discernimiento de las prácticas actuales, mismas que originalmente alcanzaron un número de 45 aseveraciones, que fueron revisadas por los conocedores[24]. Por otro lado, expertos en el manejo de residuos peligrosos, investigadores del área del medio ambiente, así como expertos en diseño de instrumentos determinaron la matriz de *ítems*, validada por coeficiente de ambigüedad y criterio de irrelevancia. Lo anterior en conjunto con la puntación de Thurstone[17], permitió acotar el instrumento a 12 cuestionamientos, analizados, ordenados y dispuestos para su aplicación, como se muestra a continuación, en la Tabla 1.

Tabla 1. Instrumento de recogida de información.

Tipo de generador: **Micro ___ Pequeño ____** **Grande ____**	**Lugar y fecha visita:**			**Automotor _____** **Industrial _____** **Agrícola _____**
Ítem	**Valor escalar**	**Pregunta**	**De acuerdo**	**En desacuerdo**
32	1.2	Me encuentro registrado cómo PGRP		
25	1.4	Cuento y utilizo herramientas idóneas para retirar los residuos		
17	2.1	Puedo identificar contaminantes que se depositan durante el manejo y el resguardo	Polvo / Agua/ solventes / Metales	
44	2.5	Genero una cantidad aproximada en litros mensuales:	≥50 / ≤200 / ≥200	
3	2.6	Estos residuos son clasificados como:	Minerales / Sintéticos / Compuestos	
12	2.8	Mezclo los aceites de desecho con otros residuos		
6	3.1	Obtengo alguna compensación económica por el manejo y destino de los residuos		
10	3.4	Separo estos de otros residuos		
21	4.2	Cuento con un resguardo ideal para contenerlo		
39	4.5	Cuento con contenedores propios para el aceite en desuso		
42	4.6	Cuento con un destino para los residuos que genera	Recolección autorizada / Venta a minoristas / Reutilización	
4	4.7	Los tipos de residuo que genero es:	Lubricantes / Hidráulicos	

Procedimiento

El instrumento se aplicó de forma personal a propietarios, encargados y trabajadores voluntarios de los establecimientos generadores de aceites usados, en sectores industriales, automotores y agrícolas. Se clasifico como se muestra en la figura 3, asignando valores de 60 como micro, 52 pequeños y 8 grandes generadores de residuos[11,19].

Se les proporcionó una breve introducción con relación al objetivo de la presente investigación, así como la garantía de mantener de forma anónima su identidad. El tiempo promedio de entrevista fue de 15 minutos. Los datos pareados[20,21] obtenidos al término de la aplicación del instrumento se conjuntaron y ordenaron en Jamovi[22]. Lo anterior tuvo como finalidad realizar 5 grupos, con 24 resultados cada uno, pareados artificialmente (por caso)[20,21]. Su proceso estableció el nivel de confianza para todos los intervalos producidos, con un valor predeterminado de 0.95 (95%). Así mismo se estableció el nivel de significancia para todas las pruebas y se dio a conocer si existía base de casos para análisis (valores perdidos). Lo

anterior se desarrolló por medio de la prueba de Friedman[23,24].

III. Resultados

La revisión de la correlación total de *ítems* comprobó estar por encima del 0.30, lo que permitió que los 12 *ítems* se conservaran y encaminaran a la interpretación de los resultados[17,23]. Por tanto, la prueba de Friedman obtuvo por cálculo un valor de $p < 0.00001$ a un nivel de significancia α de 0.05, lo cual por comparativo indica que el resultado es significativo para $p < 0.05$ y el estadístico de Friedman X^2_r se resume en la siguiente ecuación:

$$X_r^2 = \frac{12}{HK(K+1)} \sum Rc^2 - 3H(K+1) \qquad \textbf{(Ec. 2)}$$

Sustituyendo se obtiene:

$$X^2r = 0.017 * 31199.5 - 432 = 87.9917$$

H es el número de filas, K corresponde al número de tratamientos y R_C es la suma de los rangos de la i-ésima columna. Con el modelo anterior, se procedió a analizar las relaciones, correlaciones y efectos puntuales de los *ítems*. Con respecto a las prácticas de desecho de aceites usados, se trató con especial atención al comportamiento global por entidad e interés en los 14 apartados de selección e identificación insertos a la prueba de Thurstone[17]. Para ello se apertura una evaluación gráfica que podrá ser comparada con la conclusión analítica.

Primeramente, se determinaron las relaciones entre *ítems* y resultados independientes, como referencia para los datos pareados que se analizarían en su correlación[21]. Con las entidades de generación intermedia en estudio, se plasmó el comportamiento de los datos, por tamaño de generador de residuos de aceite y los giros que conforman la categoría de análisis como se muestra en las Figuras 4 y 5.

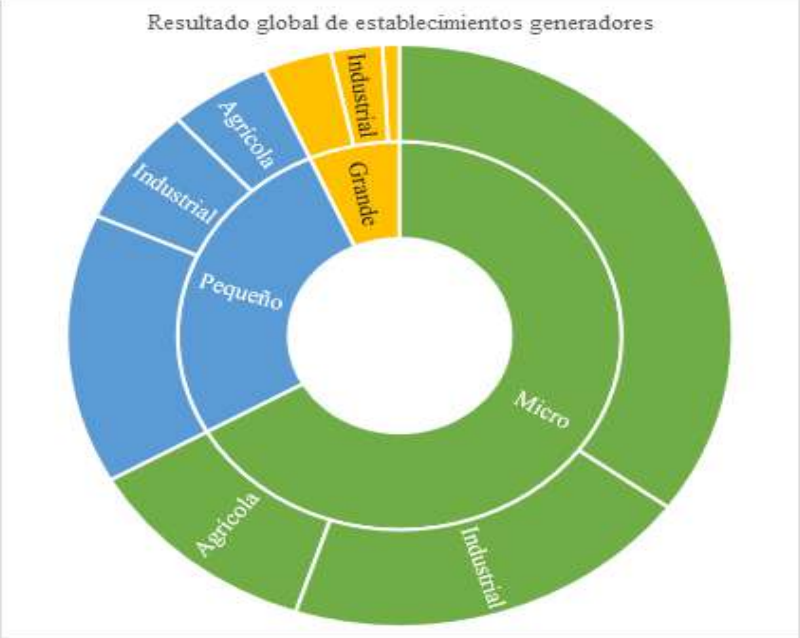


Figura 4. Clasificación de los generadores de aceites.
Elaboración propia.

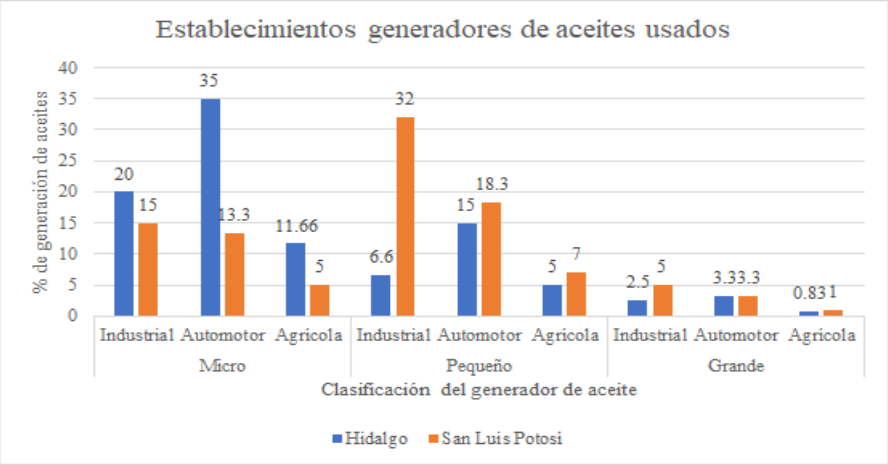


Figura 5. Clasificación porcentual de la generación de aceites usados en entidades objetivo.
Elaboración propia.

Como primer hallazgo, se encontró entre el *ítem* 32 y los datos de identificación de los establecimientos visitados. Con respecto a su registro como generadores PGRP[9] y al contar con cierta capacidad instalada, servicios ofrecidos y personal disponible, se mostró una tendencia global como generadores de residuos. Contaban con registro el 80% de los establecimientos a diferencia del 20% restante sin registro. El menor porcentaje mencionado, lo engloban los micro y pequeños generadores, sin embargo, interesante fue encontrar que todos los grandes generadores, contaban con el debido registro, como se muestra en la Figura 6.

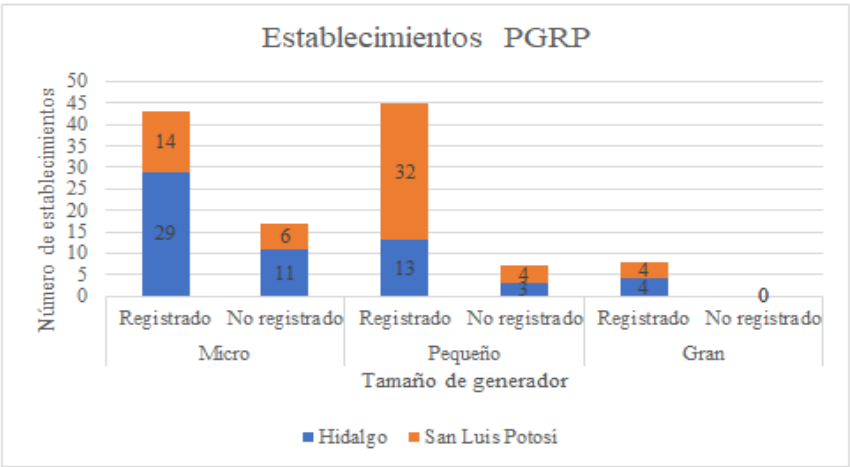


Figura 6. Establecimientos registrados como PGRP.
Elaboración propia.

Sin embargo, es notable que, a menor tamaño del establecimiento generador, mayor carencia de registro PGRP[9]. Por lo que resulta observable que de acuerdo a los resultados de SNIARN[11] de la SEMARNAT[8], estos son el sector que registra la mayor generación de aceites usados.

Lo anterior se traduce en cifras que equivale a que el 28.33% de micro generadores no están registrados y por tanto no reportan la cantidad de aceites usados ni su destino.

En ese sentido, se observó para el estado de Hidalgo, un número superior en unidades registradas con respecto a San Luis Potosí, con un 18.33% y 9.99%, respectivamente.

También se evidenció que, a mayor tamaño de generador, este comportamiento en los registros, presentaba una disminución considerable, como es el caso de los pequeños generadores, con un 13.46% de no registro, siendo San Luis Potosí quien presento un 7.69% con respecto al 5.76% de Hidalgo. Importante observación se mostró en cuanto a los grandes generadores en Hidalgo y San Luis Potosí, ya que estos contaban con formalizaciones, registros, atención y seguimiento como generadores de residuos con un 100%.

Una vez conocidos los establecimientos por su tamaño de generación y registro, se procedió a relacionar los resultados con el sector generador de aceites usados, con los *ítems* 3 y 4, con la finalidad de identificar la generación de aceites usados (hidráulicos y lubricantes) y por tipo y clasificación (minerales, sintéticos y compuestos)[2], como se muestra en la Figura 7.

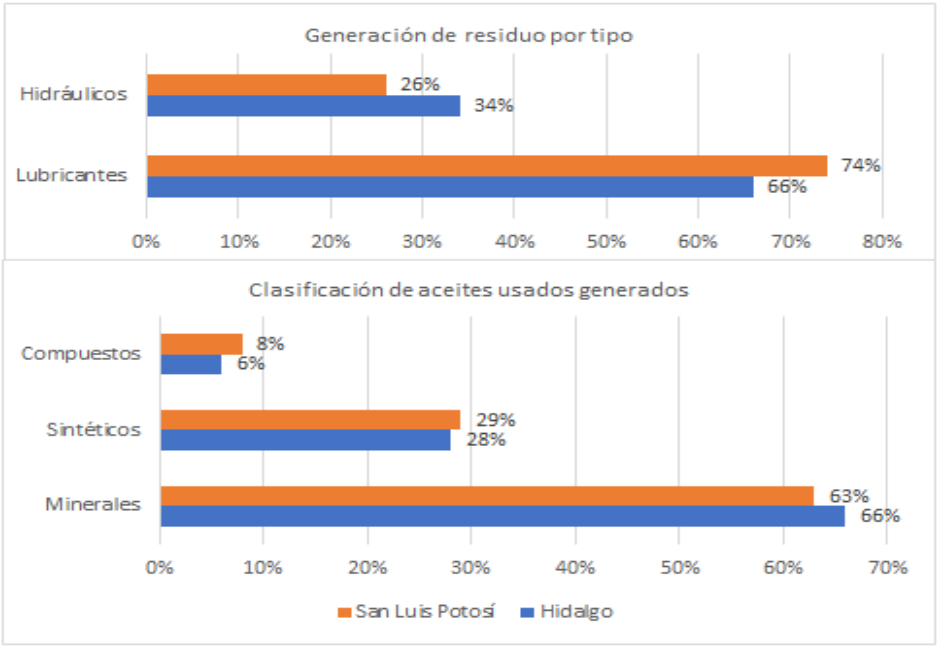


Figura 7. Clasificación de aceites generados por entidad.
Elaboración propia.

Los anteriores resultados de generación, mostraron que el grueso de producción de aceites corresponde a la clasificación de lubricantes minerales. Principalmente estos provienen de talleres de servicio a gasolina, diésel, transmisiones y amortiguadores, así como de industrias de mantenimiento industrial y agrícola. La generación de aceites hidráulicos, si bien a menor escala, provienen de talleres de servicio a maquinaria pesada, de construcción, rehabilitación de amortiguadores y mantenimiento a equipos agrícolas.

Importante resultó el análisis global del *ítem* 44, como se muestra en la Figura 8, donde se analizaron las características de los establecimientos que los generan, dados los servicios que ofertan, observándose con marcada diferencia que la mayor cantidad de residuos en litros, son captados por los grandes talleres de servicio, en cada uno de los tipos de

aceites[2]: mineral (base mineral+aditivos), sintético (base sintética-aditivos) y compuesto sintético (mineral+sintético+aditivo), donde estos talleres son sitios de agencias automotrices, diésel y mantenimiento. Los talleres pequeño y micro, son negocios particulares que generan los tres tipos de aceites usados, sin embargo, la cantidad se eleva considerablemente, debido al gran número de establecimientos instalados.

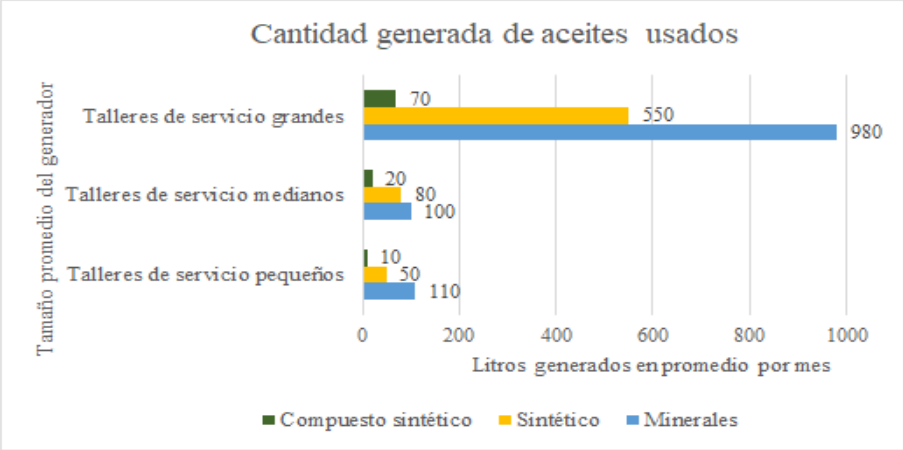


Figura 8. Cantidad promedio en litros de aceite usado generado por tamaño de establecimiento.
Elaboración propia.

Agregando a lo anterior, también se consideró analizar y relacionar los *ítems* 25, 39 y 21. Donde se entrevista al personal que realiza los servicios de mantenimiento, y si estos cuentan con las herramientas, equipo, medios de contención y resguardo adecuado, para realizar las maniobras de retiro del aceite usado. Notándose nuevamente, que el tipo y tamaño de establecimiento, si impacta en este rubro, dado que son establecimientos vigilados y controlados por la DGGIMAR[10], dependiente de la SEMARNAT[6], así como por empresas autorizadas para el retiro y manejo de los residuos.

Se observó que, por tipo y a mayor tamaño del establecimiento, contaban con mejores herramientas y equipamiento. Por ejemplo, las empresas registradas, si cuentan con todos los medios de recolección e identificación que garanticen un mejor manejo de estos, por encima del 96% en todos ellos. A diferencia 70% de los establecimientos pequeños, incluso informales, quienes no cuentan con los mínimos aditamentos para recolectar, retirar y resguardar los residuos oleosos, como se muestra en la figura 10. Estos indicadores son favorables en talleres grandes, como establecimientos de servicio automotriz, diésel e industria de mantenimiento y metal-mecánica, quienes cuentan con las mejores prácticas, a diferencia de los talleres de servicio micro generadores, como el caso de los talleres mecánicos, hidráulicos, de transmisiones y amortiguadores, que cuentan con menos contenedores apropiados, dado que se observó la utilización desde las mismas garrafas del aceite nuevo como recipientes recolectores, tinas descubiertas, o cualquier recipiente de resguardo temporal. Lo anterior se resumen en la Figura 9.

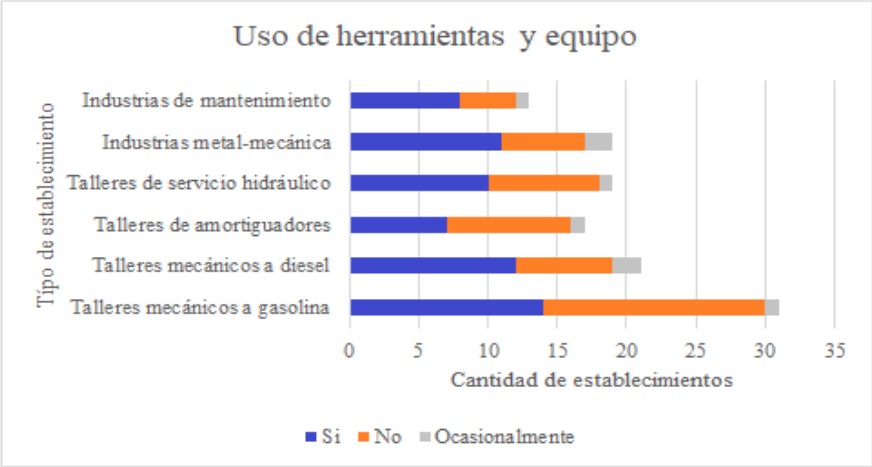


Figura 9. Condiciones de retiro, contención y resguardo de aceites usados.
Elaboración propia.

Conocidas las condiciones en las que se da el retiro de aceites, así como las formas en que permanecen temporalmente en los establecimientos, para el presente estudio fue importante indagar y analizar, el tratamiento y destino de los aceites. Lo anterior se logró con el análisis de los resultados de los *ítems* 10, 12 y 17, referente a las prácticas actuales de separación, mezcla e identificación de contaminantes en los residuos en desuso. Los hallazgos mostraron que, solo un 12.66% en promedio de los establecimientos de todo tamaño (micro, pequeño y grande), practican la separación de aceites usados, por lo tanto, de forma opuesta el 87.33% si realizan la mezcla de estos, como se muestra en la Figura 10. También se indagó si lograban identificar los contaminantes que se depositaban adicionalmente a los residuos ya sea durante el retiro o resguardo, con resultados del 72% de los casos, donde se confirmó la deposición de agua y otros solventes, así como el 16% de metales y 12% de otros sólidos terrosos.

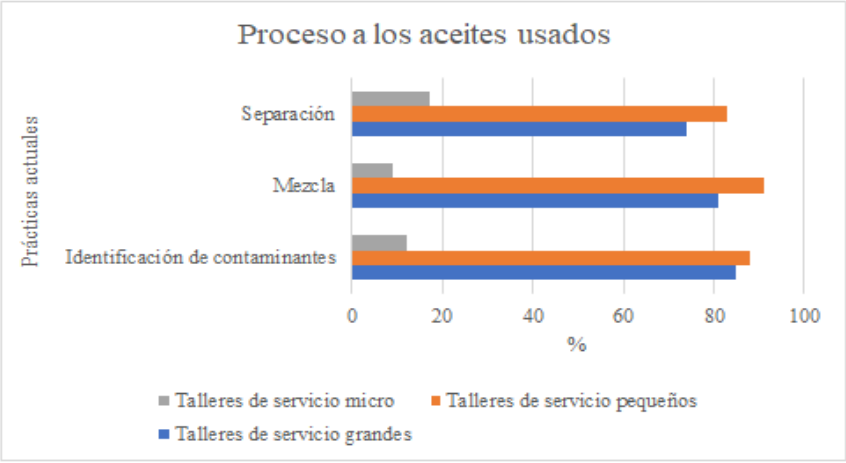


Figura 10. Procesos diversos a los aceites usados.
Elaboración propia.

Todos los residuos de acuerdo a la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR)[7], podrán ser recolectados por organismos registrados, sin embargo, no hace mención a retribuciones por este servicio a los establecimientos

generadores. El seguimiento posterior a la recolección se realiza por parte de la SEMARNAT, quien indica que los residuos recolectados deben tener un destino para su posterior tratamiento, reutilización o acondicionamiento.

Por lo tanto, los resultados del instrumento aplicado, mostraron en el *ítem* 42 cómo es, que disponen los establecimientos generadores de estos residuos, denotándose que los establecimientos grandes y registrados están en acuerdo con la LGPGIR[7], para la entrega a los recolectores registrados, de una determinada cantidad semanal de residuos oleosos contenidos en canecas, alcanzando una entrega del 98% de sus residuos, el 2% restante lo utilizan como insumo en sus procesos de mantenimiento. A diferencia de los establecimientos micro y pequeño, con y sin registro en el PGRP[9], quienes destinan el 40.5% y 48.7% respectivamente a una formal entrega con recolectores autorizados, pero de forma no protectoria el 48.7% y 43.7% de los residuos son puestos a la venta minorista (particulares no registrados con finalidades no conocidas), así como de forma generalizada, un 10.8% y 7.8% respectivamente, lo resguardan como medio reutilizable en sus propios procesos de servicio.

Con el fin de analizar si existe alguna correlación de este con el *ítem* 6, sobre si obtienen alguna compensación económica por el manejo y desecho de los aceites usados, se encontró lo siguiente: los establecimientos que si reciben una compensación económica por la entrega de este residuo son: micro y pequeños generadores, con un 53% y 44% proporcionalmente. El resto no percibe estímulo por ello, muy notable es que los grandes generadores mencionaron no percibir ningún tipo de compensaciones por esta práctica, como se muestra en resumen de la Figura 11.

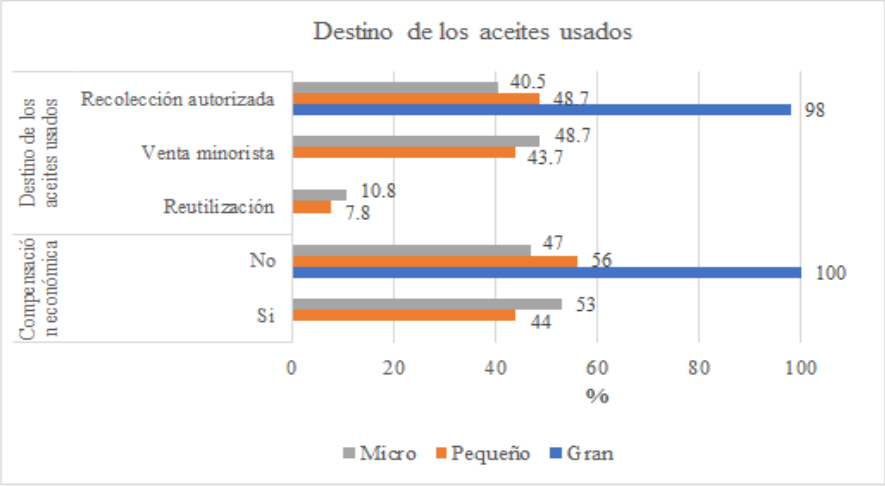


Figura 11. Comportamiento destino-económico de los aceites.
Elaboración propia.

IV. Discusiones

En este estudio, los productores de residuos oleosos se identifican según una clasificación que se ajusta a las normas y reglamentos vigentes.

Los residuos aceitosos estudiados y analizados representan una fuente T e I (grados de peligrosidad, toxicidad e inflamabilidad), un contaminante indeseable para su conservación, tanto para los productores como para el medio ambiente; sin embargo, la continuidad a través de recolectores y destinos

finales representa, en teoría, un destino adecuado y regulado para estos residuos.

Una práctica observada en micro y pequeños generadores es la falta de registro, monitoreo y regulación de los residuos que manejan. Como resultado, las cantidades de residuos que manejan no están registradas y no están sujetas a ningún tratamiento posterior a la recolección, ni tampoco los efectos que tienen sobre el medio ambiente y las personas que los manipulan. Existe una cantidad considerable de aceite destinado a la venta al por menor, del que no se conoce ni el control ni la finalidad de uso.

Los aceites usados, una vez retirados del equipo o sistema que los contiene, se convierten en residuos porque son muy susceptibles de contaminación intencionada (mezclas con disolventes y sólidos) y ambiental (polvo, partículas y emulsiones).

No existe un tratamiento específico de los residuos una vez generados, hasta que el recogedor o comercializador decide darles un tratamiento específico para los fines que le convengan antes de su destino, que no se consideran objetivos en este estudio.

La compensación económica ofrecida por los distintos recolectores motiva a gran parte de los generadores (micro y pequeños) a no entregar formalmente estos residuos a los organismos autorizados, comprometiendo así el aprovechamiento y el impacto de estos residuos.

El tamaño y la formalización de los establecimientos generadores, incide directamente en la recolección, destino y posible tratamiento a los aceites que son producidos, durante el retiro en los diversos procesos de intercambio o servicios de mantenimiento, de los componentes industriales o automotores que los desgastan.

Los establecimientos generadores conocen de las regulaciones y efectos de su contaminación al suelo y agua, sin embargo, se observaron pocas medidas remediales, de seguimiento e informes formales.

V. Conclusiones

Al final del proceso de investigación se pudo obtener información relevante que permitió estimar los efectos porcentuales de la formalización como establecimientos generadores de aceites usados, las ventajas que representan y, sobre todo, los efectos sobre el medio ambiente. Sin embargo, existe una falta de control de los residuos que, mal gestionados y utilizados, podrían tener consecuencias indeseables a corto, medio e incluso largo plazo. Se han podido identificar los sectores concretos que generan aceites usados, el tipo de gestión directa, las formas generalizadas que practican y los destinos próximos de eliminación, e incluso concluir que los considerados como sectores de baja producción son los que producen mayor cantidad de aceites usados y hacen poco por recolectarlos, separarlos, almacenarlos y eliminarlos de forma adecuada, ordenada y formal.

Al estudiar las entidades federativas de generación intermedia, a pesar de tener diferencias mínimas en sus resultados de análisis de aceites residuales, las prácticas de disposición de los sectores industrial, automotriz y agropecuario ciertamente tuvieron una tendencia proporcional alejada de lo descrito y solicitado en las diferentes normativas establecidas por diversas dependencias 7, 8, 9, 10, 12 de la SEMARNAT, a excepción de los grandes generadores, que por su formalización, tienen notables ventajas sobre los micro y pequeños generadores. Estos últimos generan proporcionalmente mayores volúmenes de residuos y menores prácticas de disposición de los mismos. Sin embargo, esto plantea

interrogantes no deseables respecto a las prácticas en el resto de los estados de la República Mexicana, de los cuales se podría presumir escenarios tendenciales similares a los resultados de esta investigación, o bien, justificaría la necesidad de acciones para revertir las cifras en los estados en estudio. Las tendencias del estudio, en las poblaciones y muestras con mayores concentraciones, podrían presentar resultados escalables o incluso exponenciales. Así, los efectos sobre el medio ambiente y sus respectivas consecuencias advertidas por los organismos reguladores necesitan ser estudiados, analizados y atendidos por todos los órganos involucrados

VI. Agradecimientos

Al CONAHCYT por el programa de Estancias Posdoctorales por México, por contribuir al desarrollo de este proyecto.

Al CIATEQ A.C. por la apertura y apoyo para el desarrollo de este proyecto.

VII. Referencias

1. Tejada Tovar, C. N., Quiñones Bolaños, E., & Fong Silva, W. (2017). Physical-chemical caracterization of spent engine oils for its recycling // Caracterización físico-química de aceites usados de motores para su reciclaje. *Prospectiva*, *15*(2), 135–144. https://doi.org/10.15665/rp.v15i2.782

2. *Informe Técnico sobre Aceites Usados y sus usos*. (2011). Com.ar. Recuperado el 31 de marzo de 2023, de https://estrucplan.com.ar/informe-tecnico-sobre-aceites-usados-y-sus-usos/

3. (2018). Cas.org. Recuperado el 29 de octubre de 2022, de http://www.cas.org/news/media-releases/100-millionth-substance

4. E.P.A. U.S. Environmental Protection Agency. Office of Solid Waste and Emergency Response. (Desechos Sólidos y Respuesta a Emergencias). http://www2.epa.gov/aboutepa/about-office-solid-waste-and-emergency-response-oswer. (Acceso 2 de octubre de 2022).

5. Real Academia Española: Diccionario de la lengua española, (23.ª ed.), Recuperado el 8 de octubre de 2022, de https://dle.rae.es

6. SEMARNAT. México. Disponible en: https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/planes-de-manejo-rme. Fecha de consulta: diciembre de 2022.

7. *DOF - Diario Oficial de la Federación*. (2022). Gob.mx. Recuperado el 31 de marzo de 2023, de https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5673815&fecha=09/12/2022

8. *SEMARNAT*. (2008). Gob.mx:8443. Recuperado el 25 de enero de 2023, de https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_2008/compendio_2008/compendio2008/10.100.8.236_8080/ibi_apps/WFServletb73b.html

9. *SEMARNART*. (2018). Gob.mx:8443. Recuperado el 27 de noviembre de 2022, de https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_2008_ing/pdf/cap_7_residuos.pdf

10. *SEMARNAT*. (2018). Gob.mx:8443. Recuperado el 31 de marzo de 2023, de https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/d

geia/informe15/tema/pdf/Informe15_completo.pdf

11. *SEMARNAT*. (2021). Gob.mx:8080. Recuperado el 26 de noviembre de 2022, de http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_RESIDUOP01_01&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce&NOMBREENTIDAD=*

12. De, M. (2020). *Diagnóstico Básico Para La Gestión Integral De Los Residuos*. Gob.mx. Recuperado el 10 de noviembre de 2022, de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/554385/DBGIR-15-mayo-2020.pdf

13. INEGI. Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2017 (CNGMD). Xz0JX.México. 2018.

14. OECD. OECD Factbook 2014: Economic, Environmental and Social Statistics. OECD Publishing. 2014. Disponible en: www.oecd-ilibrary.org/docserver/download/3013081epdf?expires=1459204364&id=id&accname=guest&checksum=6FCA13D595A51CDCBD05CE042F03CBF4. Fecha de consulta: diciembre de 2022

15. OECD. Environment. Dataset: Municipal Waste, Generation and Treatment. OECD. 2016. Disponible en: https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=MUNW. Fecha de consulta: diciembre de 2022

16. Bautista-Díaz, M. L., Victoria-Rodríguez, E., Vargas-Estrella, L. B., & Hernández-Chamosa, C. C. (2020). Pruebas estadísticas paramétricas y no paramétricas: su clasificación, objetivos y características. *Educación Y Salud Boletín Científico Instituto De Ciencias De La Salud Universidad Autónoma Del Estado De Hidalgo*, *9*(17), 78-81. https://doi.org/10.29057/icsa.v9i17.6293

17. Elejabarrieta, F., & Iñiguez, L. (2010). CONSTRUCCIÓN DE ESCALAS DE ACTITUD, TIPO THURSTONE Y LIKERT. *La Sociología En Sus Escenarios*, (17). Recuperado a partir de https://revistas.udea.edu.co/index.php/ceo/article/view/6820

18. Mayorga Mayorga Ponce R.B., Ketzaly Sillis - Palma, K., Martínez - Alamilla A., Salazar –Valdez D. y Mota - Velázquez U.I. Cuadro comparativo "estadística inferencial y descriptiva". Educación y Salud Boletín Científico Instituto de Ciencias de la Salud Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 2020; 8(16): 93-95.

19. Fuentelsaz Gallego, C. (2018). *Cálculo del tamaño de la muestra*. Federacion-matronas.org. Recuperado el 28 de enero de 2023, de https://www.federacion-matronas.org/wp-content/uploads/2018/01/vol5n18pag5-13.pdf

20. Orlandoni Merli, G. (2010). Escalas de medición en Estadística. *Telos*, *12*(2), 243–247. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=99315569009

21. Cayuela Domínguez, A., & Rodríguez Domínguez, S. (1997). El análisis estadístico de dos proporciones con datos apareados: la prueba de McNemar. *Atencion primaria*, *20*(10), 571–572. https://www.elsevier.es/es-

revista-atencion-primaria-27-articulo-el-analisis-estadistico-dos-proporciones-14711

22. *Jamovi - open statistical software for the desktop and cloud*. (2021). Jamovi.org. Recuperado el 17 de enero de 2023, de https://www.jamovi.org/

23. Alejandro, S. A. F. (2020). *Pruebas para datos no Paramétricos de Friedman en JASP*. https://repositorio.konradlorenz.edu.co/handle/001/2491

24. Rodríguez Medina, M. A., Poblano-Ojinaga, E. R., Alvarado Tarango, L., González Torres, A., & Rodríguez Borbón, M. I. (2021). Validación por juicio de expertos de un instrumento de evaluación para evidencias de aprendizaje conceptual. *RIDE Revista Iberoamericana Para La Investigación Y El Desarrollo Educativo*, *11*(22). https://doi.org/10.23913/ride.v11i22.960