

CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE ACEITES USADOS PROVENIENTES DEL SECTOR AUTOMOTRIZ EN EL GRAN SANTO DOMINGO, REPÚBLICA DOMINICANA

PHYSICALCHEMICAL CHARACTERIZATION OF USED OIL FROM THE AUTOMOTIVE SECTOR IN THE GREATER SANTO DOMINGO, DOMINICAN REPUBLIC

AUTORES: BELKIS Y. LARA RODRÍGUEZ¹, GREGORIO ANTONIO ROSARIO MICHEL²

Afiliación: ¹Docente investigador Universidad Tecnológica de Panamá. ²Encargado Tecnología de Información y Comunicación, Servicio Geológico Nacional, República Dominicana.

Correo: belkis.lara@utp.ac.pa; grosario@sgn.gob.do

Recibido: 26 de septiembre de 2019

Aceptado: 09 de diciembre de 2019

Resumen

PALABRAS CLAVE:

Residuos
aceitosos,
vehículos,
peligrosos,
valorización,
reciclaje,
caracterización.

El tratamiento de los residuos oleosos procedentes del parque vehicular es una preocupación a nivel global, ya que representan más del 60% de los aceites lubricantes usados, siendo el reciclaje una opción para estos residuos. Esta investigación tiene como objetivo caracterizar los residuos aceitosos procedentes del parque vehicular con el fin de verificar la viabilidad de su aprovechamiento energético en República Dominicana. Se realizó un muestreo al azar estratificado para seleccionar 20 puntos de muestreo y se realizó la caracterización físicoquímica con estándares internacionales de los parámetros: densidad (ASTM-D95-3), porcentaje de humedad a 15°C (ASTM-D1298-12b), poder calorífico (ASTM-D4809-13), metales pesados (ASTM-D-5185), contenido de cloro (MESA-7220) y policlorobifenilos (PCB's). Los resultados obtenidos muestran que los aceites son aptos para su reciclaje y se pueden valorizar energéticamente, debido a que en las muestras analizadas no se reporta presencia significativa de estaño, plomo, cromo y cadmio. La presencia de los metales en las muestras, están en su mayoría, por debajo de lo que establece la legislación nacional. La valorización mediante el aprovechamiento energético contribuye a una gestión integral de este tipo de residuo, minimizando la contaminación de aguas y suelo. La presencia de algunos metales son producto de los aditivos y refrigerantes que se emplean para mejorar las propiedades de rendimiento de los aceites durante su uso.



Este artículo está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

KEYWORDS:

*Oily wastes,
vehicles,
hazardous,
recovery,
recycling,
characterization.*

Abstract

The management of oily residues is a global concern, its represent abundant amount of polluted residues, for this reason its recycle is the best option for these waste. The goal of this investigation is characterize the oily residues from vehicles, in order to evaluate its potential as energy resource, in the Dominican Republic. The samples were collected with stratified random sampling, physical and chemical parameters was analyzed with international standards: density (ASTM-D95-3), humidity percentage at 15 °C (ASTM-D1298-12b), calorific value (ASTM-D4809-13), heavy metals (ASTM-D-5185), clorox (MESA-7220), polychlorinated biphenyls (PCB's). As result of the characterization, it is possible use it as recyclable materials, it can be considered a valuable oil , because we didn't find a significant amount of: Mercury, tin, lead, chromium, and cadmium. The amount of metals that we found are under the limit allowed on the national law. The evaluation of the oil waste with recycle proposes, can contribute to reduce inadequate management, in consequence reduce the pollution of soils and water. Some of metals found are consequence of use of additives and refrigerants, introduced to improve the efficient of the oils.

INTRODUCCIÓN

El tratamiento de los residuos oleosos se ha convertido en una de las preocupaciones más importantes para proteger el medio ambiente (Bhaskar et al., 2004). En el año 2018, la demanda global de lubricantes ascendió aproximadamente a 36.4 millones de toneladas métrica (Sevilla, 2019). El reciclaje de aceites lubricantes en materia prima o aceite combustible puede ser una opción adecuada para proteger el medio ambiente de los desechos peligrosos (Bhaskar et al., 2004).

Los aceites usados provienen de una amplia variedad de fuentes: transporte, construcción e industrial y consisten en aceites lubricantes (aceites de transmisión y transmisión) y aceites industriales (aceites hidráulicos y de corte) (Boughton & Horvath, 2004). Los aceites usados provenientes del parque vehicular representan más del 60% de los aceites lubricantes usados (Elkhaleefa, 2016). Por lo tanto, los aceites usados son uno de los residuos contaminantes más abundantes que se siguen generando hoy en día, alcanzando el valor de 24 millones de toneladas métricas por año (Fuentes, Font, Gómez-Rico, & Martín-Gullón, 2007). A la fecha nada indica que este número haya disminuido, pues la venta de autos sigue en ascenso.

Los países de Latinoamérica conscientes de la peligrosidad de estos aceites y la implicación que tiene en la salud humana y en el medio ambiente, han establecido la legislación para minimizar dichos impactos, tal es el caso de Colombia, con las Leyes 253 de 1996, 1252 de 2008, decreto 283 de 1990, decreto 4741 de 2005, entre otros, donde se establece los lineamientos para la disposición final de residuos tóxicos y peligrosos. Los aceites usados hacen parte estos residuos, lo que ha contribuido a definir políticas de disposición enmarcadas en dicha legislación.

En República Dominicana actualmente se cuenta con el Reglamento para la Gestión de Sustancias y Desechos Químicos Peligrosos, así como con el Reglamento para la Gestión Integral de Aceites Usados, del Ministerio de Medioambiente y Recursos Naturales, Dirección de Normas e Investigaciones Ambientales que vienen a regular la gestión de dichos aceites (Secretaría de Estado de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2014).

Sobre la base de los posibles impactos en la salud humana y el medio ambiente, la refinación y la destilación de aceite usados son prácticas de gestión significativamente mejores, que la combustión del petróleo usado como combustible. (Boughton & Horvath, 2004). Sin embargo, en muchos casos, esta opción queda solamente para los países desarrollados, por su complejidad y tecnología.

En Brasil, las empresas productoras de aceites lubricantes están obligadas por ley a recuperar y reprocesar el 40% del volumen vendido (Montero, 2011). A través de tratamientos en serie que abarcan desde filtrado previo, craqueo térmico, reproceso físico-químico, clarificación, filtrado final, hasta el envasado y empaquetado; estas medidas dan como resultado un aceite lubricante que puede ser comercializado en el mercado como mono grado (Montero, 2011).

De allí la importancia de la selección de una apropiada tecnología para el manejo de los aceites y lubricantes usados. En los países en desarrollo, las tecnologías, van a depender significativamente no solo de las capacidades tecnológica, sino también de los impactos ambientales que la gestión de estas pudiese causar (Kanokkantung, Kiatkittipong, Panyapinyopol, Wongsuchoto, & Pavasant, 2009). La caracterización de los residuos contribuye a proponer las mejores opciones de manejo y disposición. Por otro lado, el uso de los aceites usados en la producción de calor y electricidad han sido más favorable en términos de impacto ambiental que el uso de petróleo (Kanokkantung et al., 2009).

En este trabajo, mediante una caracterización físicoquímica de los residuos aceitosos procedentes del parque vehicular del Gran Santo Domingo se verifica la viabilidad de su aprovechamiento energético en República Dominicana.

Situación en República Dominicana

Para el año 2017, la población del Gran Santo Domingo ha sido estimada en 4 millones de habitantes y para ese mismo año su parque automotor es de 4 097 338 unidades, de acuerdo con la Dirección General de Impuestos Internos (Impuestos Internos, 2018). De la cantidad total de vehículos de motor registrados a diciembre de 2017, el 54.6% corresponde a motocicletas, el 21.1% a los automóviles, los vehículos de carga y jeeps ambos con 10.2% y el 3.8% restante se distribuye entre autobuses, máquinas pesadas, volteos y otros (ver tabla 1). Todos estos vehículos requieren en mayor o menor medida de aceites lubricantes.

Al clasificar el parque vehicular por provincia, el 55.1% está distribuido entre el Distrito Nacional, Santo Domingo, Santiago de los Caballeros y La Vega; el restante 44.9% está ubicado en las demás provincias que conforman el territorio nacional.

Tabla 1

Parque automotor República Dominicana

Clase	2016	2017	Variación	
Motocicletas	2 096 196	2 238 671	142 475	6.80%
Automóviles ¹	816 470	865 186	48 716	6.00%
Jeep	386 706	419 442	32 736	8.50%
Carga ²	405 292	418 573	13 281	3.30%
Autobuses	92 144	96 473	4329	4.70%
Maquinas Pesada	21 411	22 254	843	3.90%
Volteo	19 974	20 293	319	1.60%
Otros ³	15 845	16 446	601	3.80%
Total	3 854 038	4 097 338	243 300	6.30%

Nota. Cifras generadas al 15 de febrero de 2018

Incluye únicamente vehículos con placa definitiva (primera blanca)

¹ Incluye privados, públicos urbanos e interurbanos

² Incluye camiones y camionetas

³ Incluye remolques, ambulancias, montacargas y fúnebres

DGII, tomado de la Dirección General de impuestos Internos 2018

Lo importante de esto, es que el parque automotor va en ascenso, por lo que el uso de lubricantes también.

Según datos de la Oficina Nacional de Estadísticas en el 2018 se emitieron 29044.47 gigagramos¹(Gg) de dióxido de carbono equivalente (CO₂ eq), (Oficina Nacional de Estadística, 2019), es decir, 29 mil 44 toneladas. De esta cantidad, el sector de lubricantes aportó 48.79 Gg, si bien este rubro representa solo el 0.16% de forma directa de las emisiones, hay que tener en cuenta el papel que representa los lubricantes en el parque automotor, en cuanto al desgaste y mantenimiento de este.

Por su parte, (Arias, 2018) afirma que, de un total de 3311 unidades, apenas el 10.72 % de los desechos peligrosos que se generaron en República Dominicana en 2016 fueron tratados y la tendencia se mantiene por las deficiencias en el manejo de estos. Para el 2016, el Sistema Estadístico Nacional de la ONE en su estudio refleja que en el territorio se generaron aproximadamente 2500 toneladas de desechos peligrosos y una gran parte de estos son residuos líquidos, y se descargan a ríos y al mar sin ningún tratamiento, según Arias (2018) en República Dominicana no se cuenta con tratamiento de las aguas residuales, lo que convierte en un tema crítico.

Valorización energética

La valorización energética permite la fabricación de un combustible alternativo de uso industrial, sustitutivo del fueloil tradicional y es utilizado en grandes hornos en cementeras, papeleras, fábricas de materiales de construcción o en centrales térmicas de cogeneración eléctrica. A diferencia de la regeneración, la fabricación de combustible ofrece un rendimiento cercano al 100% respecto al volumen de residuo utilizado como input del proceso.

La cantidad de aceites usados que se recoge anualmente en Europa y EE.UU. es aproximadamente de 1.7 a 3.5 millones de toneladas (Hamawand, Yusaf, & Rafat, 2013). Esta gran cantidad tiene un impacto significativo, tanto en aspectos económicos como medioambientales. Su producción cuesta millones de dólares y después de su uso, representan un residuo de alto contaminante cuando se tratan inadecuadamente. Si se descarga en la tierra, el agua o incluso se quema como un combustible de bajo grado, esto puede causar graves problemas de contaminación debido a la liberación de metales dañinos y otros contaminantes en el medio ambiente. Es por esta razón el interés de buscar soluciones amigables con el ambiente, que de hecho en Europa y EEUU ya existen, como es el reutilizar dichos aceites. (Hamawand et al., 2013).

La Agencia norteamericana para el Medio Ambiente (EPA, por sus siglas en inglés) señala que un galón (3785 litros) de aceite usado procesado como fueloil contiene aproximadamente 140000 BTU (British Thermal Units) de energía, afirmación que

¹ Un Gigagramo (1 x 10⁹ gramos) equivale a un millón de kilogramos, o bien, a mil toneladas.

equivale a relacionar 1 litro de aceite usado con 10.84 kWh, la cantidad de energía necesaria para poner 11 lavadoras en un ciclo estándar (EPA, 2015).

Los aceites usados poseen aún grandes cantidades de energía interna que puede ser aprovechada, en algunos casos, por las grandes cementeras que los emplean como aceites combustibles, en otros casos, se recicla la base lubricante eliminando sedimentos, partículas y agua con el objeto de re-procesarlos para generar un nuevo lubricante. Algunos autores proponen técnicas de recuperación y de refinado de aceites usados, el reciclado químico de plásticos y aceites lubricantes usados mediante catalizadores zeolíticos (Mendoza & Robles, 2016; Montes & Bello, 2003).

En cuanto a alternativas de aprovechamiento de aceites usados de motores, se resalta la reutilización siempre y cuando sus características lo permitan. Esta reutilización se inicia con un pretratamiento que incluye remoción de contaminantes insolubles, agua, sedimentos y productos de oxidación, mediante el empleo de diferentes procesos físicoquímicos como el calentamiento del mismo, la filtración, deshidratación y centrifugación. La regeneración mediante distintos tratamientos es posible, recuperando el material lubricante base presente en el aceite original, de manera que pueda ser reprocesado para su utilización. En su mayoría los aceites usados son regenerables, aunque en la práctica el proceso y el costo de este hacen poco viable esta alternativa para los países en vía de desarrollo (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014).

Materiales y Métodos

Identificación del universo de la población

La selección de los puntos de muestreo parte de la capa “Edificación Económica e Institución Pública” de la Oficina Nacional de Estadística, codificada ONE 13 septiembre 2018. Esta capa de información espacial consiste en una población de 18583 puntos de locales comerciales, establecidos en el Gran Santo Domingo. Esta capa está almacenada en el formato Shapefile. El formato Shapefile es un formato estándar de la industria geoespacial para representar objetos del mundo real mediante puntos, líneas y polígonos. En la figura 1 se muestra un mapa elaborado por este grupo de investigación, a partir de la capa Edificación Económica e Instituciones Públicas de la Oficina Nacional de Estadística (ONE).

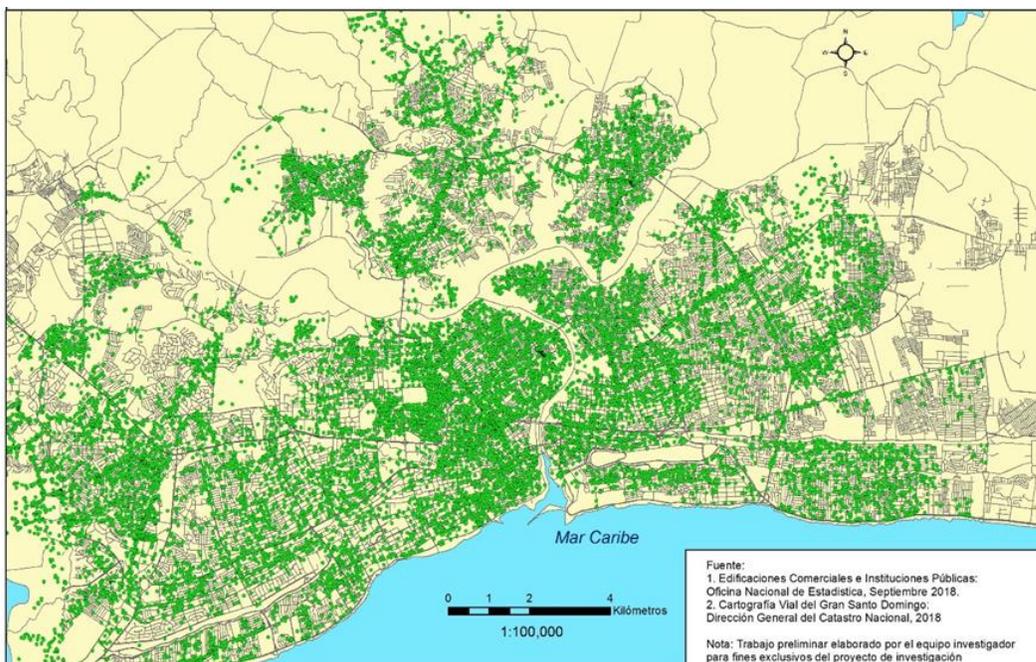


Figura 1. Mapa Locales Comerciales e Instituciones Públicas del Gran Santo Domingo, 2019. Elaboración propia por el grupo de investigación.

Esta investigación se centra en los puntos de generación de residuos aceitosos del sector transporte. En este sentido, los puntos de muestreo a considerarse incluyen únicamente los talleres de servicios de mantenimiento de automóviles (talleres, gomeros, repuestos y mantenimiento de equipos).

En la tabla 2 se muestra la identificación de puntos de generación de acuerdo a lo descrito anteriormente.

Tabla 2

Distribución de puntos de generación según la fuente

Punto de generación	Cantidad de puntos
Talleres de mecánica	2063
Gomeros	147
Repuestos	476
Total	2686

Nota. Elaboración propia por el grupo de investigación

Muestreo Aleatorio Estratificado

Se trabajó con una muestra aleatoria estratificada, con el fin de repartir la muestra según la densidad de locales por barrios. Para ello los pasos que se siguieron:

1. Sobre la capa de Edificaciones Económicas, se seleccionaron los tipos de actividad de interés, para ello, se ha seleccionado convenientemente el sector de los repuestos y centros de servicios de mantenimiento de vehículos, como universo para la selección de la muestra. Este sector cuenta con 476 locales distribuidos espacialmente en el Gran Santo Domingo (ver figura 2).

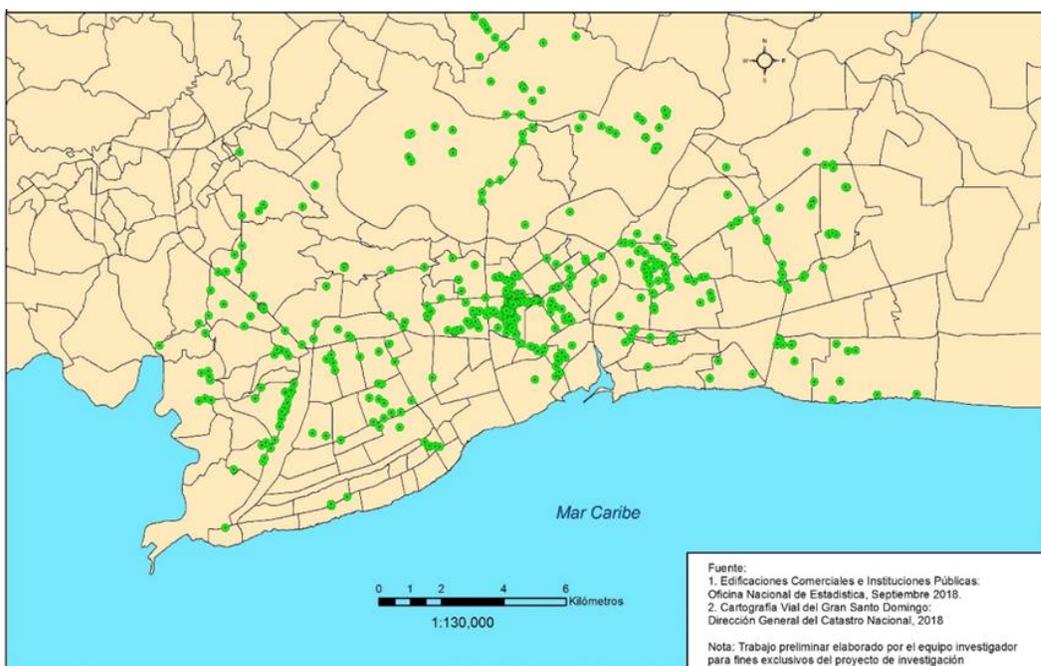


Figura 2. Mapa de Repuestos y Centros de Servicios de Mantenimiento de Vehículos, GSD 2019. Elaboración propia por el grupo de investigación

2. Una vez seleccionados y sobre esa selección, se calculó el número de locales según barrios (trabajando con los campos de código de barrio y nombre del barrio). En la tabla 3 se muestra las Estadísticas sobre Repuestos y Centros de Servicios de Mantenimiento de Vehículos en el Gran Santo Domingo.

Tabla 3

Estadísticas sobre Repuestos y Centros de Servicios de Mantenimiento de Vehículos en el Gran Santo Domingo

Repuestos y Centros de Servicios de Mantenimiento de Vehículos	Valores
N°. Locales	476
N°. máximo de locales/barrio	85
N° mínimo de locales/barrio	0
Promedio de locales	1
Desviación estándar	5.33

Nota. Elaboración propia por el grupo de investigación

Así mismo en la figura 3 se muestra el mapa geográfico de los centros de repuestos y Centros de Servicios de Mantenimiento de Vehículos por Barrios.

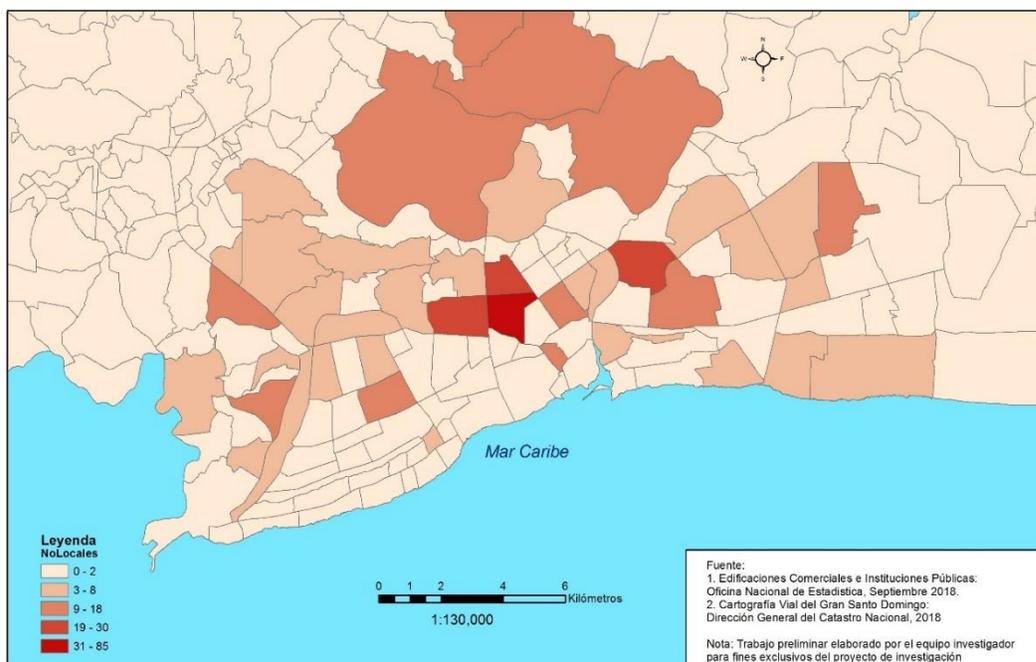


Figura 3. Repuestos y Centros de Servicios de Mantenimiento de Vehículos por Barrios en el GSD 2019. Elaboración propia por el grupo de investigación.

3. Segmentación de la muestra según densidad de locales por barrios. Con la distribución de locales por barrios, se calculó el número de locales que concentran el 25%

de los barrios con mayor densidad, cuántos locales concentran el 25% de los barrios con densidades medias-altas, cuántos el 25% de barrios con densidades medias-bajas y cuántos el 25% de los barrios con densidades bajas, tal como se muestra en la tabla 4 y en la figura 4.

Tabla 4

Segmentación de muestras según densidad de locales por barrios

Segmento de densidad	Rango de densidad	No. Locales	% Locales
Baja	0 – 12.30	349	73.32
Media baja	12.30 – 24.6	31	6.51
Media alta	24.6 – 36.9	11	2.31
Alta	36.9 – 49.20	85	17.86

Nota. Elaboración propia por el grupo de investigación

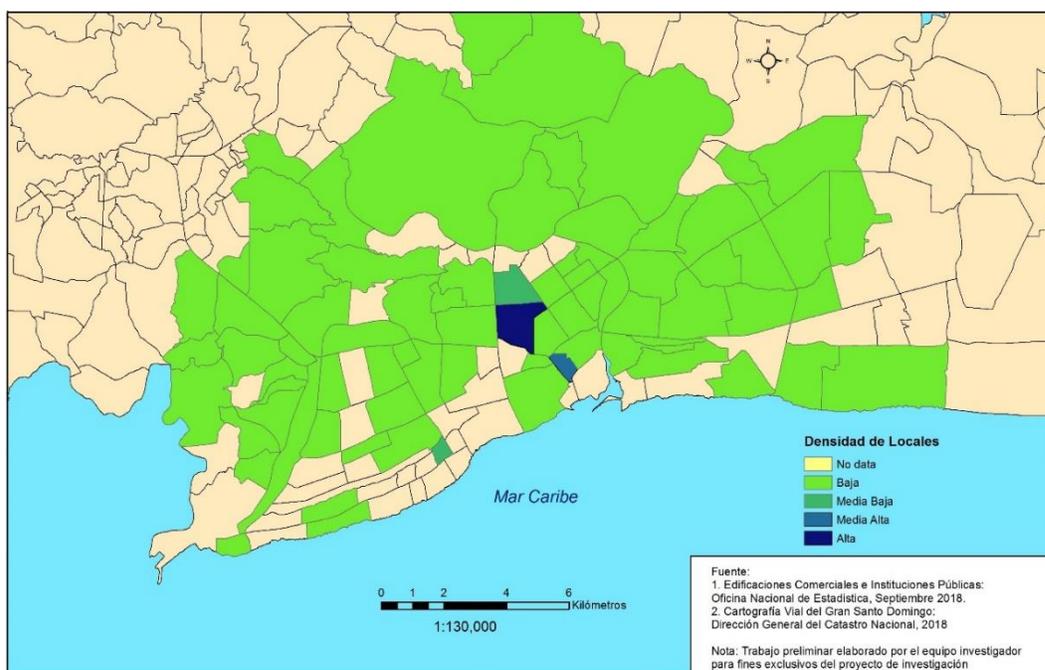


Figura 4. Densidad de Repuestos y Centros de Servicios de Mantenimiento de Vehículos por Barrios. Nota. Elaboración propia por el grupo de investigación.

4. Distribución proporcional de las muestras según densidad de locales. A partir de los segmentos de densidad, se asignó de forma proporcional al porcentaje (%) que

representan el número de locales que pertenecen a ese segmento, tal como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5

Números de muestras según densidad de locales por barrios

Segmento de densidad	No. Muestras
Baja	14
Media baja	1
Media alta	1
Alta	4
Total	20

Nota. Elaboración propia por el grupo de investigación

5. Selección de barrios y locales para el muestreo. En función del número de muestras por segmento de densidad, se seleccionaron de forma aleatoria los puntos de generación a muestrear en cada barrio. En la tabla 6 se muestra la relación de barrios y el número de muestras:

Tabla 6

Barrios seleccionados aleatoriamente para el muestreo

Código	Barrio	Numero de muestras
1	Mejoramiento Social	1
2	Ensanche Kennedy	1
3	El INVI	1
4	Viejo Arroyo Hondo	1
5	Ensanche Luperón	1
6	Villa Marina	1
7	Ensanche Quisqueya	1
8	Manganagua	1
9	Villa Carmen	1
10	Bayona	1
11	Residencial Oriente	1
12	Tropical Del Este	1
13	Zona Industrial Herrera	1
14	Ensanche Espaillat	1
15	Cristo Rey	1
16	Santa Cruz	1
17	Villa Consuelo	2
18	Villa Juana	2
Total		20

Nota. Elaboración propia por el grupo de investigación

En la tabla 7 se muestran los puntos de generación de residuos aceitosos seleccionados aleatoriamente para el levantamiento georeferenciados de las muestras, así mismo en la figura 5 se muestra el Mapa distribución puntos de muestreo en el Gran Santo Domingo.

Tabla 7
Locales seleccionados aleatoriamente para el muestreo

REG	PROVINCIA	COD BARRIO	BARRIO	TIPO	DIRECCION
10	SANTO DOMINGO	5	ALMA ROSA	REPUESTOS DE VEHICULOS	106 CALLE PUERTO RICO
10	SANTO DOMINGO DISTRITO	14	BAYONA	REPUESTO	12 CALLE ANASTACIO TRONILO
10	NACIONAL DISTRITO	46	CRISTO REY ENSANCHE	REPUESTO	387 AVENIDA VEINTISIETE DE FEBRERO
10	NACIONAL	31	QUISQUEYA	REPUESTO	220 CALLE HERMANAS MIRABAL
10	SANTO DOMINGO	5	GUARICANO	REPUESTOS	15 CALLE V CENTENARIO
10	SANTO DOMINGO	28	LAS CANAS	REPUESTOS	99 AUTOPISTA LAS AMERICAS
10	SANTO DOMINGO	27	LOS FRAILES	REPUESTOS	40 CALLE RESPALDO CRISTOBAL COLON
10	SANTO DOMINGO DISTRITO	4	LOS MINA SUR	REPUESTOS	58 CARRETERA MENDOZA
10	SANTO DOMINGO DISTRITO	16	LOS TRINITARIOS MEJORAMIENTO	REPUESTOS	138 CALLE JOSEFA BREA
10	NACIONAL DISTRITO	63	SOCIAL	REPUESTO	42 AVENIDA MONUMENTAL
10	NACIONAL	2	PALMA REAL	REPUESTO	4 AVENIDA LOS RESTAURADORES
10	SANTO DOMINGO	3	SABANA PERDIDA	REPUESTOS	59 CALLE LOS RESTAURADORES
10	SANTO DOMINGO DISTRITO	3	SABANA PERDIDA	REPUESTOS	9 CALLE TREINTA DE MARZO
10	NACIONAL SANTO	55	SAN CARLOS	REPUESTO	5 CALLE RESPALDO TREINTA Y DOS
10	DOMINICO DISTRITO	6	SAN FELIPE	REPUESTO	289 AVENIDA NICOLAS DE OVANDO
10	NACIONAL DISTRITO	49	VILLA AGRICOLAS	REPUESTO	
10	NACIONAL DISTRITO	56	VILLA CONSUELO	REPUESTO	
10	NACIONAL DISTRITO	50	VILLA JUANA	REPUESTO	185 CALLE MARCOS RUIZ
10	NACIONAL DISTRITO	50	VILLA JUANA	REPUESTO	118 CALLE MARCOS RUIZ
10	NACIONAL DISTRITO	50	VILLA JUANA	REPUESTO	98 CALLE AMERICO LUGO

Nota. Elaboración propia por el grupo de investigación

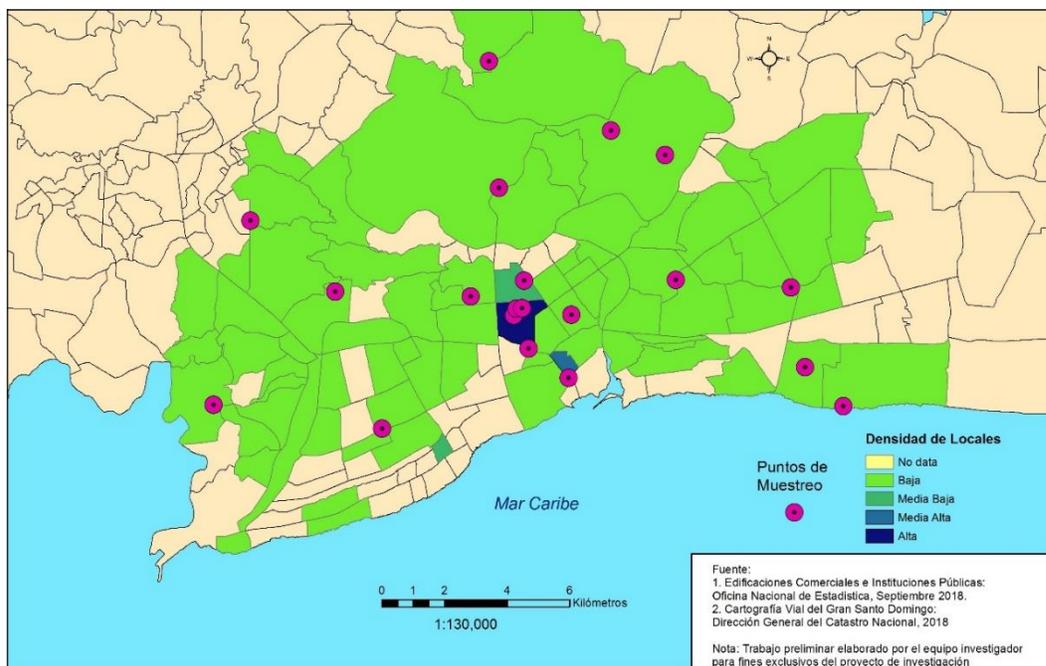


Figura 5. Mapa distribución puntos de muestreo en el Gran Santo Domingo. Elaboración propia por el grupo de investigación.

Toma de muestras

El procedimiento de toma de muestras se hizo de acuerdo al protocolo estipulado a la norma mexicana NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012 y lo establecido por EPA. Tomadas desde los tanques de almacenamiento de cada uno de los locales seleccionados, posteriormente se llevaron a los laboratorios para sus respectivos análisis. Los análisis, estándar y equipos se muestran a continuación:

Análisis

Humedad (ASTM-D95-3)

Densidad a 15°C (ASTM-D1298-12b)

Poder Calorífico (ASTM-D4809-13)

Metales pesados (ASTM-D-5185)

Equipos

Destilación aceite del transformador portátil analizador de humedad, con un porcentaje de error de $\pm 5\%$

Método de densímetro, con un porcentaje de error de $\pm 5\%$

Calorímetro Parr modelo 6400 con una desviación estándar relativa de 0.0760%

Espectrómetro óptico de emisión con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES PE Optima 8300)

Con un error estimado de $\pm 4\%$

PCB's (EPA 8082)	Cromatógrafo de gases con detector de captura de electrones. Con un error estimado de 10 – 15%.
Contenido de cloro (MESA-7220)	Tecnología de energía dispersiva de fluorescencia de rayos X (EDXRF) con un porcentaje de error de <u>+/-5%</u>

Resultados y Análisis

Poder calorífico:

Se describe como la energía liberada durante la combustión completa con relación con la cantidad de combustible aportada.

Las muestras se analizaron con la metodología ASTM D 480913: Método de prueba estándar para el calor de la combustión de combustibles líquidos de hidrocarburos por calorímetro de bomba (método de precisión). En la tabla 8 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 8

Resultados de Poder Calorífico

Código	PC_Bruto_MJ/KG	PC_Bruto_BTU/Lb	PC Bruto en Kcal/kg
201901	44.97	19 333.45	10 740.86
201902	45.36	19 501.07	10 834.01
201903	44.86	19 287.66	10 714.59
201904	44.77	19 247.64	10 693.09
201905	44.93	19 315.91	10 731.31
201906	45.00	19 345.23	10 748.03
201907	45.29	19 469.91	10 817.29
201908	45.34	19 491.70	10 829.23
201909	44.88	19 294.12	10 719.36
201910	45.27	19 463.76	10 812.51
201911	45.57	19 591.44	10 884.17
201912	45.35	19 496.95	10 831.60
201913	45.90	19 731.69	10 962.99
201914	45.09	19 386.20	10 769.52
201915	45.52	19 570.21	10 872.22
201916	45.30	19 475.71	10 819.68
201917	47.19	20 287.58	11 271.10
201918	44.74	19 232.89	10 685.93
201919	45.15	19 412.21	10 783.85
201920	45,21	19 435.08	10 798.18

Nota. Elaboración propia con los resultados de los laboratorios

Tomando en consideración, que el poder calorífico de un aceite usado está entre 8900 a 9000 Kcal/kg, (ver tabla 9), el poder calorífico de las 20 muestras tomadas en la presente investigación está entre 10693.09 y 11271.10 Kcal/kg, lo que beneficia la combustión de estos residuos y es una forma de dar otra oportunidad de uso a estos aceites como fuente energética.

Tabla 9

Poder calorífico de algunos combustibles de origen fósil

CLASE DE COMBUSTIBLE	PODER CALORÍFICO (KCAL/ KG)
COQUE	7100
CARBÓN MINERAL	5100 - 5500
RESIDUO PETROLERO TIPO A	9200 - 9800
ACEITE USADO	8900 - 9000

Nota. Análisis de combustible UCEM Planta Chimborazo (2015)

Humedad y densidad:

En cuanto a humedad y densidad, de acuerdo (Tejada Tovar, Quiñones Bolaños, & Fong Silva, 2017), un aceite nuevo la humedad es alrededor de 0.05% y densidad 0.8976Kg/L. Según los resultados obtenidos, reflejados en la tabla 10, las muestras 6 y 13 son las que presentan mucho mayor contenido de humedad respecto a la de un aceite nuevo, esto puede ser por varias razones, una de ellas es debido a problemas en el sistema de refrigeración del vehículo, que afecta notablemente al sistema de lubricación. También puede provenir de la condensación del vapor de agua presente en el sistema de lubricación cuando el motor deja de funcionar. Otra causa puede ser debido al origen del aceite (aceite usado y/o nuevo acumulado en tanques expuestos al medio ambiente). Y, por último, el sistema de almacenaje de los aceites usados del local donde se obtuvo la muestra.

Tabla 10

Resultados análisis de humedad y densidad de aceites usados

Código_ID	Humedad_VM	Densidad15C_gmL
201901	<0.1	0.8864
201902	<0.1	0.8655
201903	0.60	0.8804
201904	<0.1	0.8824
201905	0.44	0.8784
201906	2.10	0.8784
201907	<0.1	0.8728
201908	<0.1	0.8751
201909	<0.1	0.8861
201910	<0.1	0.8705
201911	<0.1	0.8658
201912	<0.1	0.8658
201913	5.10	0.8498
201914	0.91	0.8778
201915	0.35	0.8778
201916	<0.1	0.8721
201917	<0.1	0.8781
201918	0.44	0.8745
201919	<0.1	0.8685
201920	<0.1	0.8884

Nota. Elaboración propia con los resultados del laboratorio

Los análisis muestran que 13 muestras (1; 2; 4; 7; 8; 9; 10; 11;12; 16; 17; 19 y 20) poseen un contenido de humedad menores a 0.1%, las muestras 3; 5; 14; 15 y 18 poseen un contenido de humedad en el rango de 0.1 a 0.99 %. La humedad presente en el aceite puede provenir de varias fuentes, como ya se mencionó anteriormente, a fugas de sellos del proceso de combustión o del sistema de enfriamiento lo que afecta las propiedades de lubricación formando lodos que terminan taponando los filtros de aceite, al sistema de almacenaje de los aceites.

Densidad:

En cuanto a la densidad todas las 20 muestras se encuentran en lo esperado de un aceite común de motor.

Cloro:

Teniendo en consideración que un aceite nuevo su contenido de cloro es de 210 mg/kg (Tejada Tovar et al., 2017) y los resultados obtenidos (ver tabla 11) sólo las muestras 4 y 5

están por encima de este valor y esto es debido a la adición de solventes clorados a los lubricantes, y también por contaminación durante su uso. Dentro de los solventes que principalmente figuran en los lubricantes nuevos son: sontricloroetano, tricloroetileno y percloroetileno (De Vita, 1995).

Tabla 11

Contenido de cloro en aceites usados (MESA-7220)

CODIGO	Composición	Resultado	Unidad
201901	Total_cloro	85.6	mg/kg
201902	Total_cloro	79.0	mg/kg
201903	Total_cloro	45.4	mg/kg
201904	Total_cloro	328.0	mg/kg
201905	Total_cloro	211.0	mg/kg
201906	Total_cloro	92.2	mg/kg
201907	Total_cloro	90.1	mg/kg
201908	Total_cloro	75.8	mg/kg
201909	Total_cloro	43.3	mg/kg
201910	Total_cloro	83.7	mg/kg
201911	Total_cloro	15.0	mg/kg
201912	Total_cloro	5.3	mg/kg
201913	Total_cloro	81.9	mg/kg
201914	Total_cloro	66.4	mg/kg
201915	Total_cloro	29.1	mg/kg
201916	Total_cloro	61.2	mg/kg
201917	Total_cloro	36.0	mg/kg
201918	Total_cloro	44.5	mg/kg
201919	Total_cloro	42.0	mg/kg
201920	Total_cloro	71.0	mg/kg

Nota. Elaboración propia con los resultados del laboratorio

Metales:

En la tabla 12 se muestran los resultados obtenidos en cuanto a metales se refiere.

Tabla 12

Contenidos de metales en aceites usados (ASTM-D-5185) en ppm

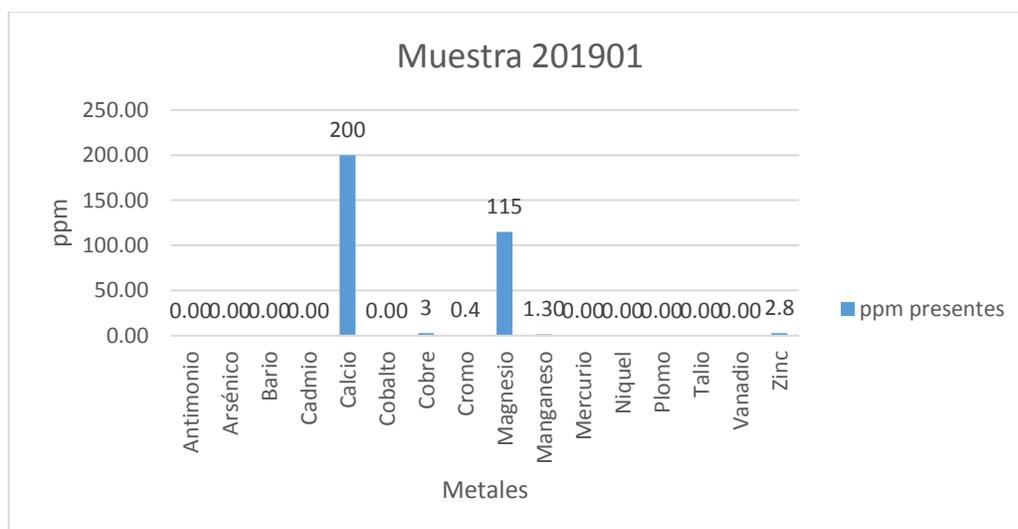
CODIGO_ID	Antimonio	Arsénico	Bario	Cadmio	Calcio	Cobalto	Cobre	Cromo	Magnesio	Manganeso	Mercurio	Níquel	Plomo	Talio	Vanadio	Zinc
201901	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	255	<0,1	0,8	1	40	0,5	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	5
201902	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	181	<0,1	1,1	<0,1	241	0,30	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	4,3
201903	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	262	<0,1	0,3	<0,1	10	0,60	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	5,4
201904	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	203	<0,1	2,1	0,2	208	1,4	<0,1	<0,1	2,7	<0,1	<0,1	4,4
201905	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	227	<0,1	1,1	1,2	145	0,4	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	3,9
201906	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	190	<0,1	0,2	<0,1	15	0,20	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	4,1
201907	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	198	<0,1	18	4,5	389	0,5	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	5,1
201908	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	178	<0,1	2,6	<0,1	97	1,10	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	3,3
201909	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	227	<0,1	1,1	1,2	144	0,4	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	3,9
201910	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	241	<0,1	0,3	0,90	171	0,20	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	4
201911	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	251	<0,1	2,3	<0,1	10,50	0,20	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	3,8
201912	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	178	<0,1	2,5	<0,1	94	0,80	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	3,2
201913	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	225	<0,1	0,7	1,5	75	0,40	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	6
201914	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	73	<0,1	4,8	3,70	47	0,70	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	2,6
201915	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	173	<0,1	3,8	5,60	174	1,80	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	3
201916	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	162	<0,1	1,4	<0,1	54	0,30	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	5,4
201917	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	250	<0,1	0,7	<0,1	51	0,20	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	5,5
201918	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	189	<0,1	206	<0,1	93	1,30	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	2,6
201919	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	194	<0,1	2,8	<0,1	97	1,10	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	2,3
201920	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	200	<0,1	3	0,4	115	1,30	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	2,8

Nota. Elaboración propia con los resultados del laboratorio.

A continuación, se describen en detalle los resultados obtenidos.

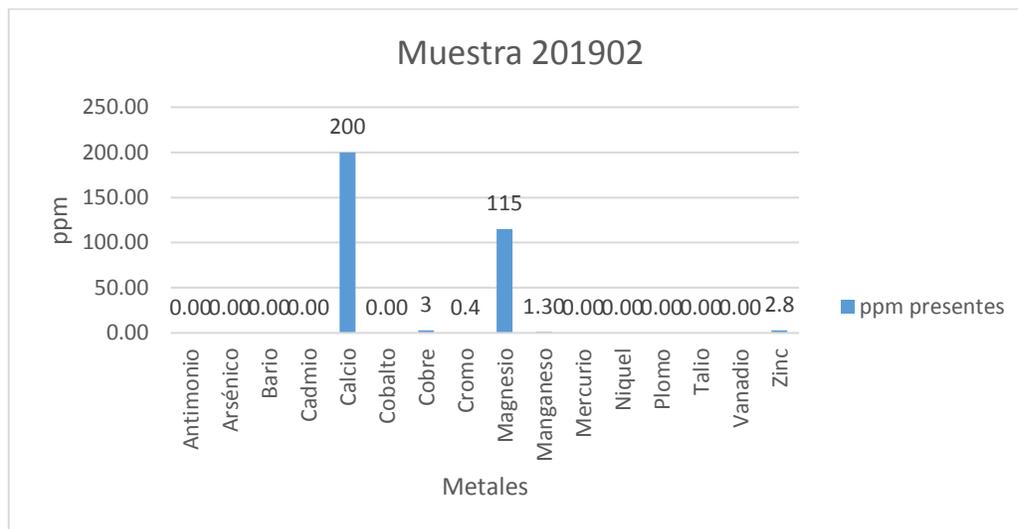
Muestra # 1

De los 16 metales analizados, entre ellos Cadmio, Níquel, Plomo, Mercurio, Vanadio, sus resultados arrojaron menores a 0.1 ppm muy por debajo de lo que establece la norma. Los metales presentes en esta muestra fueron:



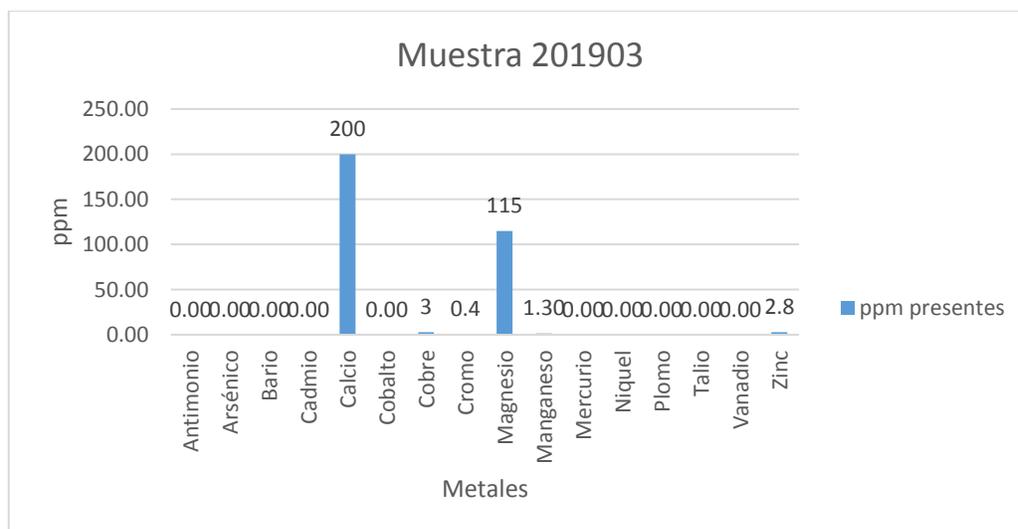
Muestra # 2

De los 16 metales analizados, entre ellos Cadmio, Níquel, Plomo, Mercurio, Vanadio, sus resultados arrojaron menores a 0.1 ppm muy por debajo de lo que establece la norma. Los metales presentes en esta muestra fueron:



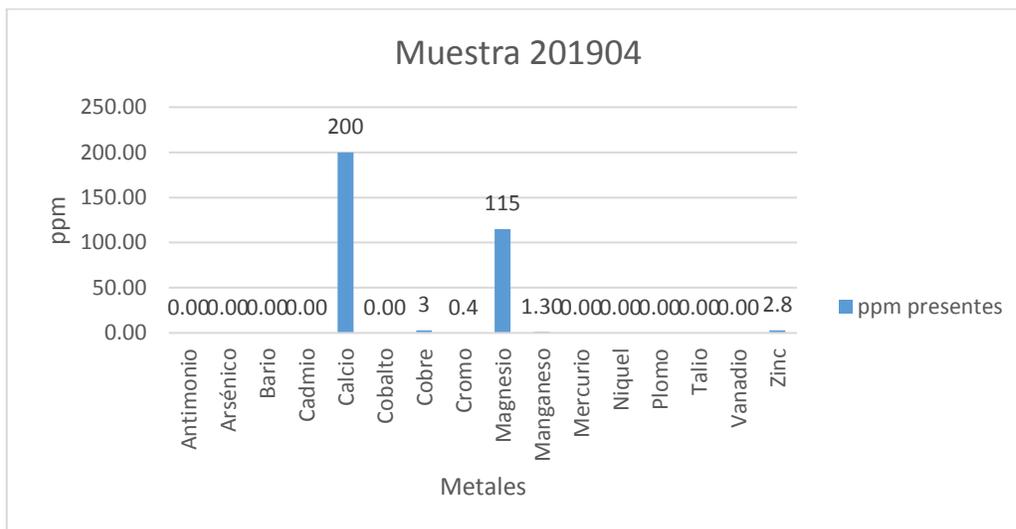
Muestra # 3

De los 16 metales analizados, entre ellos Cadmio, Níquel, Plomo, Mercurio, Vanadio, sus resultados arrojaron menores a 0.1 ppm muy por debajo de lo que establece la norma. Los metales presentes en esta muestra fueron:



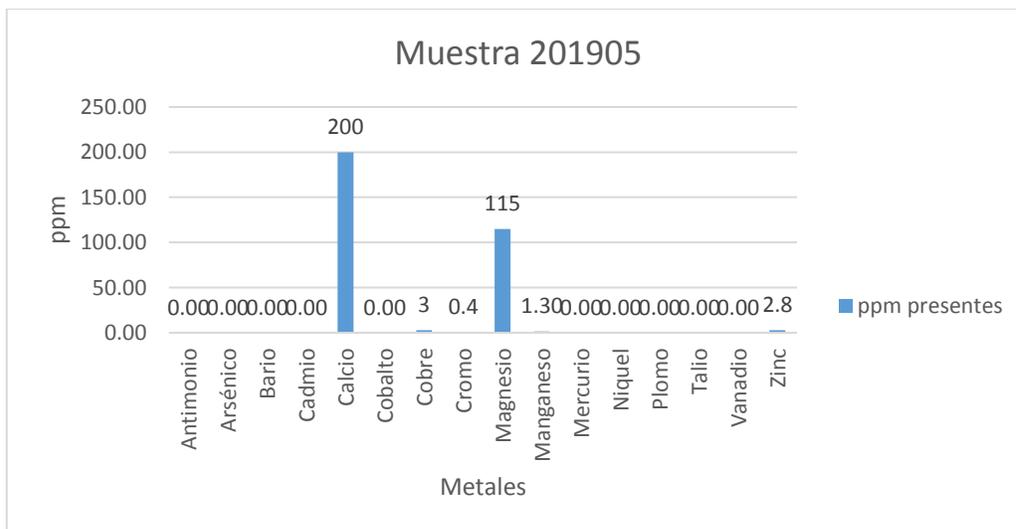
Muestra # 4

De los 16 metales analizados, entre ellos Cadmio, Níquel, Mercurio, Vanadio, sus resultados arrojaron menores a 0,1 ppm muy por debajo de lo que establece la norma. Los metales presentes en esta muestra fueron:



Muestra # 5

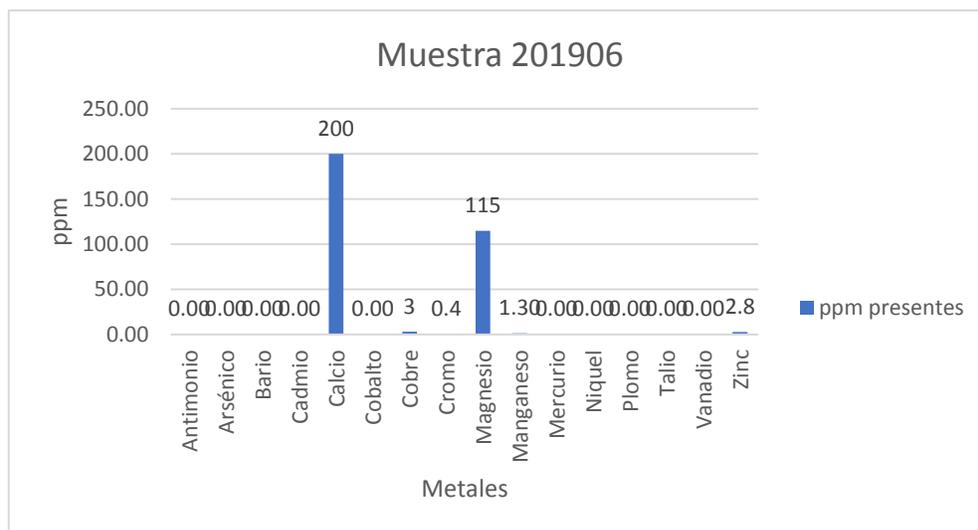
De los 16 metales analizados, entre ellos Cadmio, Níquel, Plomo, Mercurio, Vanadio, sus resultados arrojaron menores a 0.1 ppm muy por debajo de lo que establece la norma. Los metales presentes en esta muestra fueron:



Muestra # 6

De los 16 metales analizados, entre ellos Cadmio, Níquel, Plomo, Mercurio, Vanadio, sus resultados arrojaron menores a 0.1 ppm muy por debajo de lo que establece la norma.

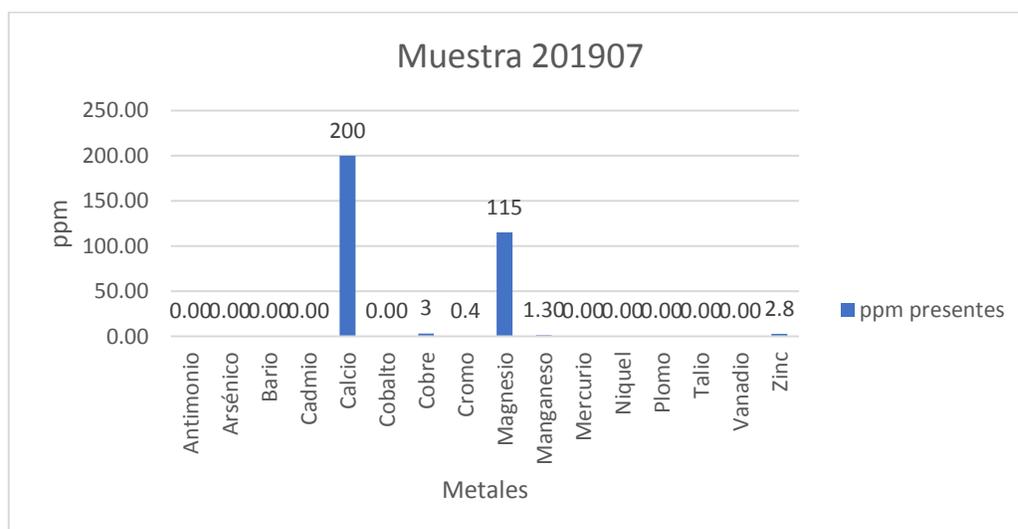
Los metales presentes en esta muestra fueron:



Muestra # 7

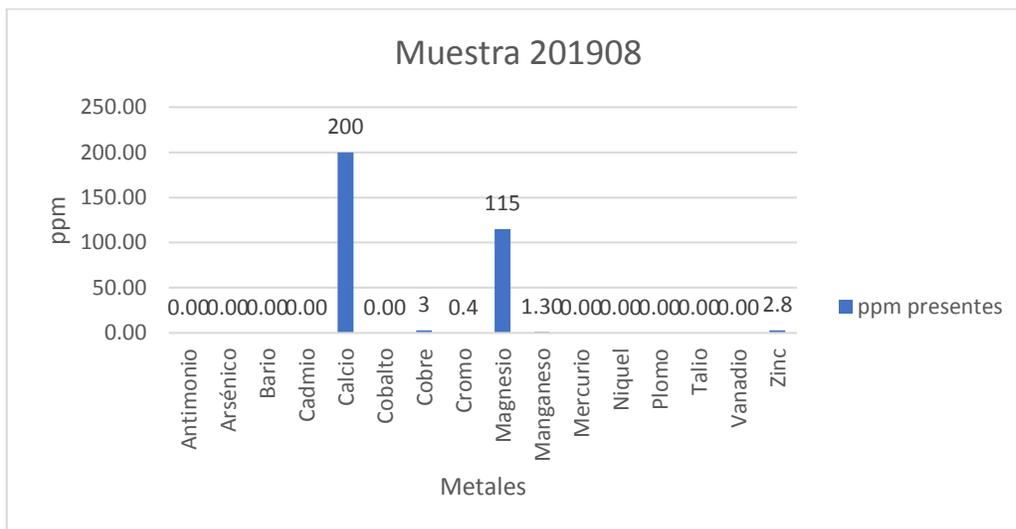
De los 16 metales analizados, entre ellos Cadmio, Níquel, Plomo, Mercurio, Vanadio, sus resultados arrojaron menores a 0.1 ppm muy por debajo de lo que establece la norma.

Los metales presentes en esta muestra fueron:



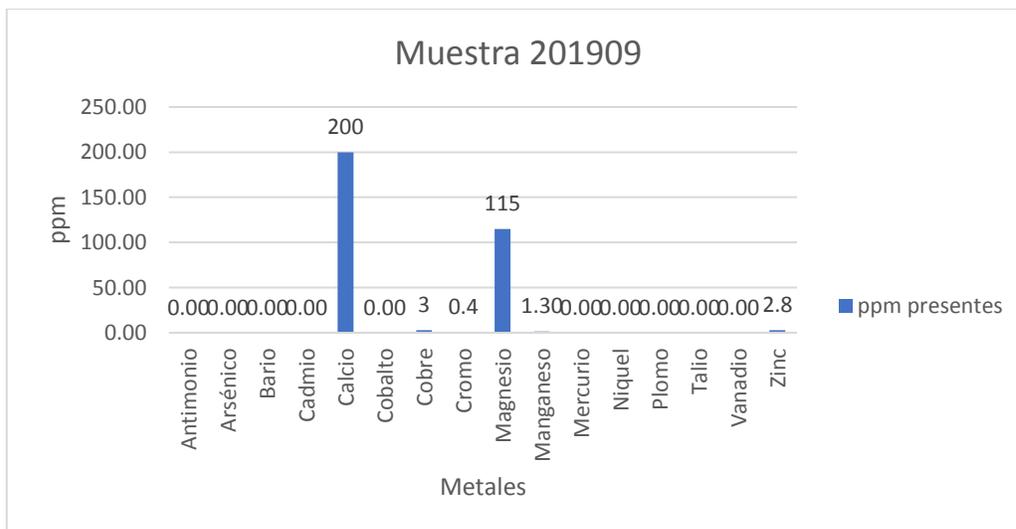
Muestra # 8

De los 16 metales analizados, entre ellos Cadmio, Níquel, Plomo, Mercurio, Vanadio, sus resultados arrojaron menores a 0.1 ppm muy por debajo de lo que establece la norma. Los metales presentes en esta muestra fueron:



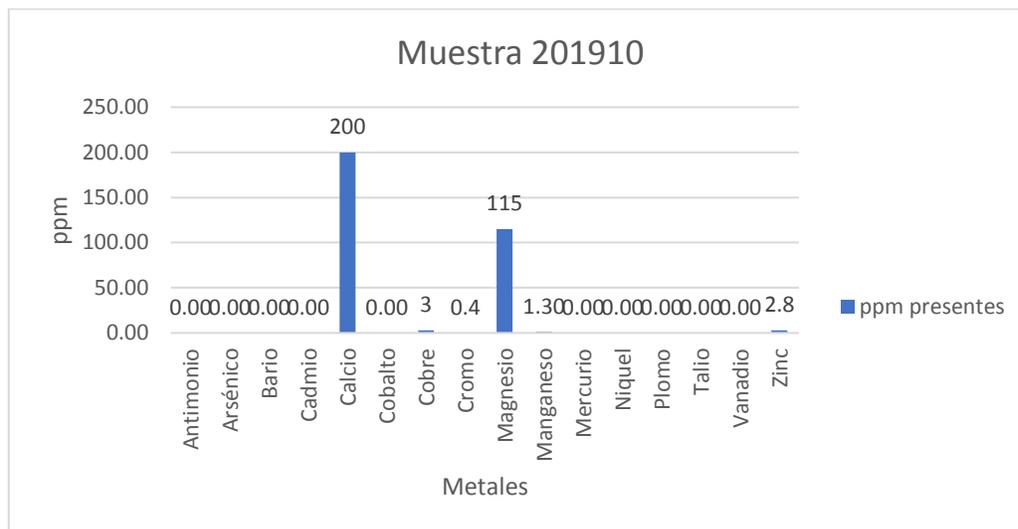
Muestra # 9

De los 16 metales analizados, entre ellos Cadmio, Níquel, Plomo, Mercurio, Vanadio, sus resultados arrojaron menores a 0.1 ppm muy por debajo de lo que establece la norma. Los metales presentes en esta muestra fueron:



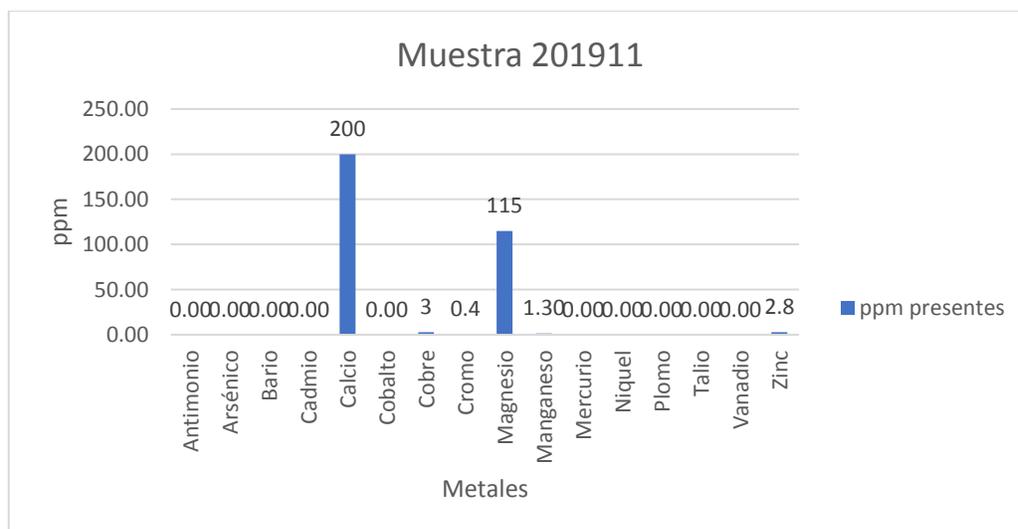
Muestra # 10

De los 16 metales analizados, entre ellos Cadmio, Níquel, Plomo, Mercurio, Vanadio, sus resultados arrojaron menores a 0.1 ppm muy por debajo de lo que establece la norma. Los metales presentes en esta muestra fueron:



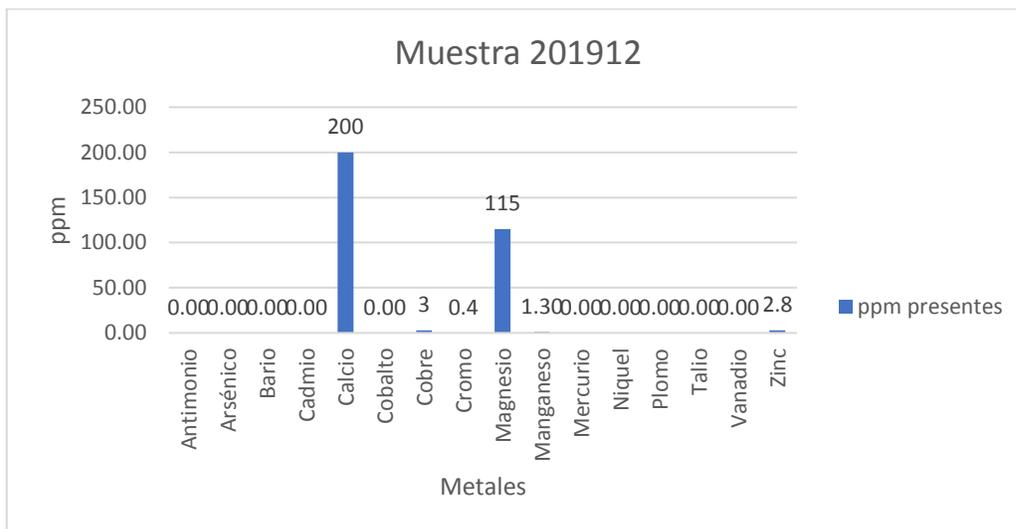
Muestra # 11

De los 16 metales analizados, entre ellos Cadmio, Níquel, Plomo, Mercurio, Vanadio, sus resultados arrojaron menores a 0.1 ppm muy por debajo de lo que establece la norma. Los metales presentes en esta muestra fueron:



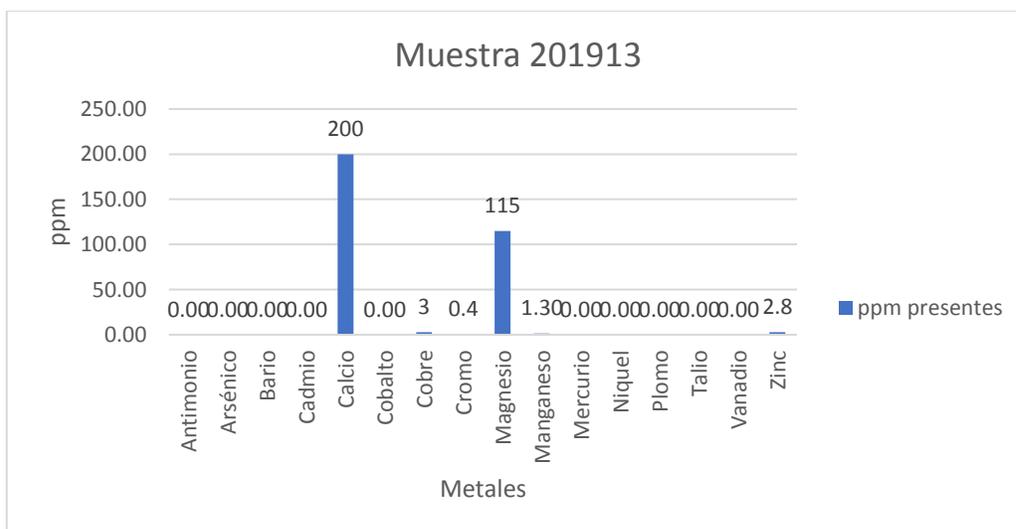
Muestra # 12

De los 16 metales analizados, entre ellos Cadmio, Níquel, Plomo, Mercurio, Vanadio, sus resultados arrojaron menores a 0.1 ppm muy por debajo de lo que establece la norma. Los metales presentes en esta muestra fueron:



Muestra # 13

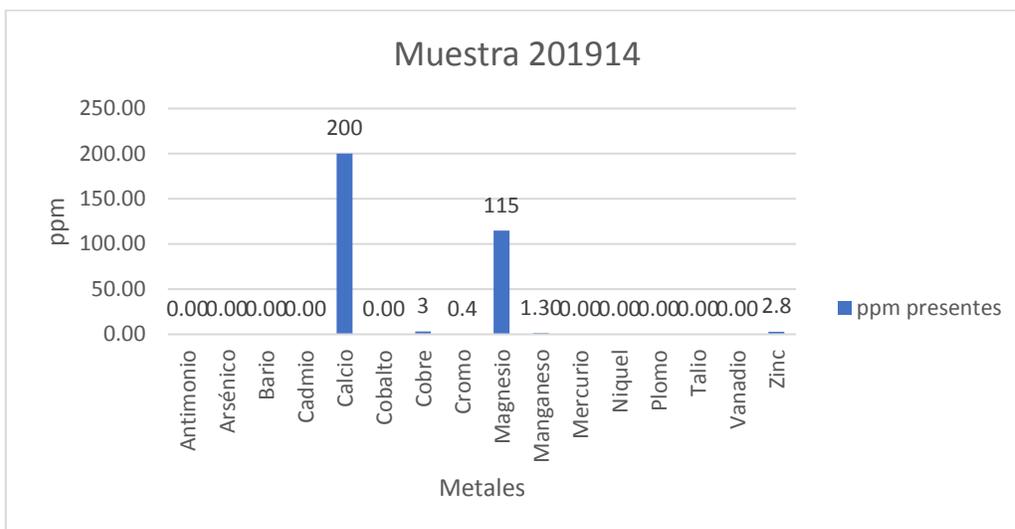
De los 16 metales analizados, entre ellos Cadmio, Níquel, Plomo, Mercurio, Vanadio, sus resultados arrojaron menores a 0.1 ppm muy por debajo de lo que establece la norma. Los metales presentes en esta muestra fueron:



Muestra # 14

De los 16 metales analizados, entre ellos Cadmio, Níquel, Plomo, Mercurio, Vanadio, sus resultados arrojaron menores a 0.1 ppm muy por debajo de lo que establece la norma.

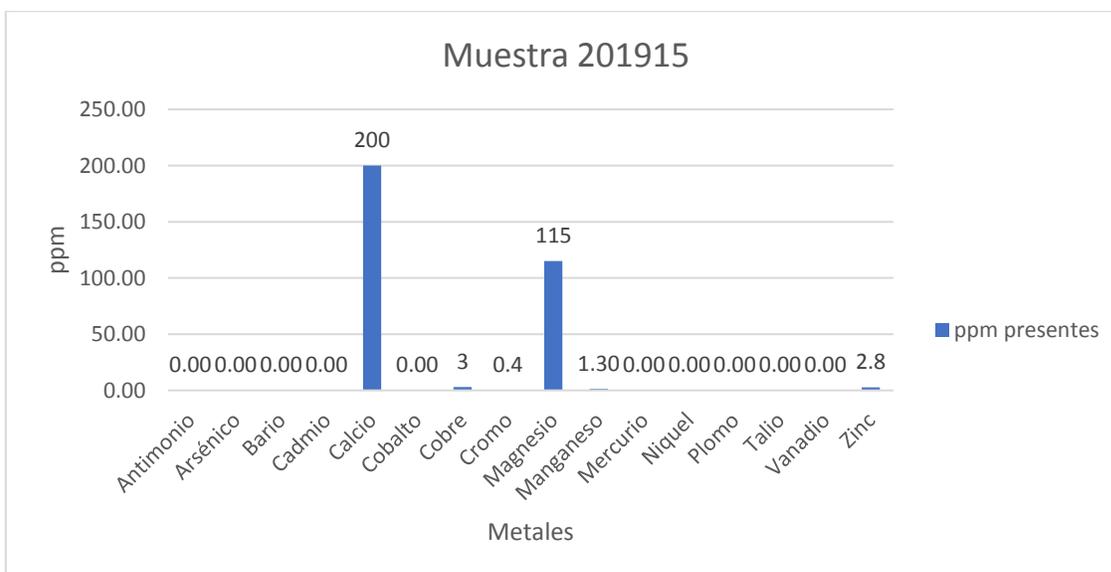
Los metales presentes en esta muestra fueron:



Muestra # 15

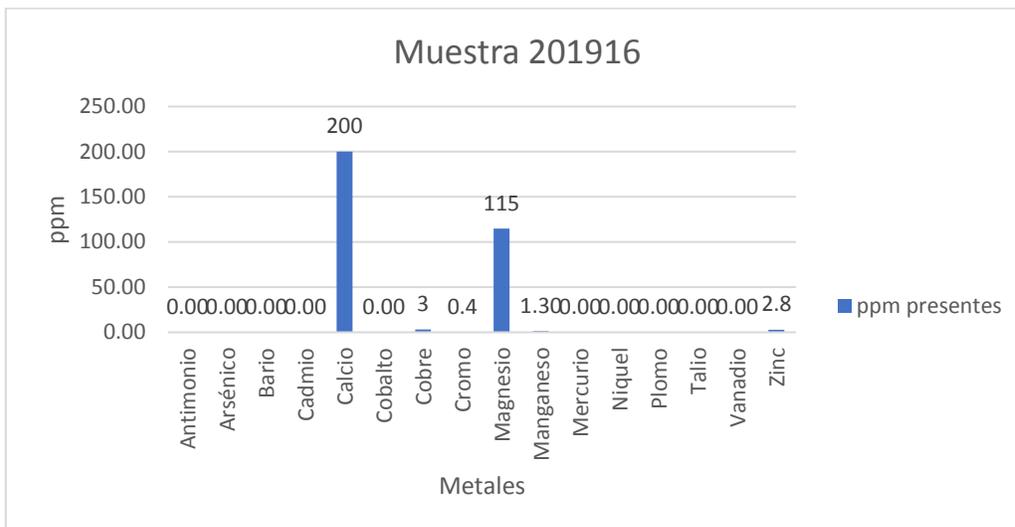
De los 16 metales analizados, entre ellos Cadmio, Níquel, Plomo, Mercurio, Vanadio, sus resultados arrojaron menores a 0.1 ppm muy por debajo de lo que establece la norma. Los metales presentes en esta muestra fueron:

Los metales presentes en esta muestra fueron:



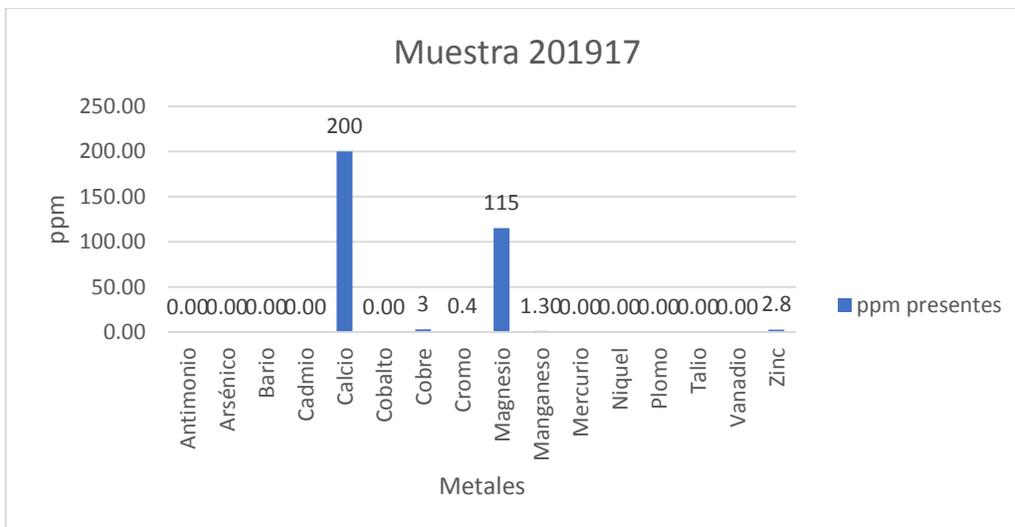
Muestra #16

De los 16 metales analizados, entre ellos Cadmio, Níquel, Plomo, Mercurio, Vanadio, sus resultados arrojaron menores a 0.1 ppm muy por debajo de lo que establece la norma. Los metales presentes en esta muestra fueron:



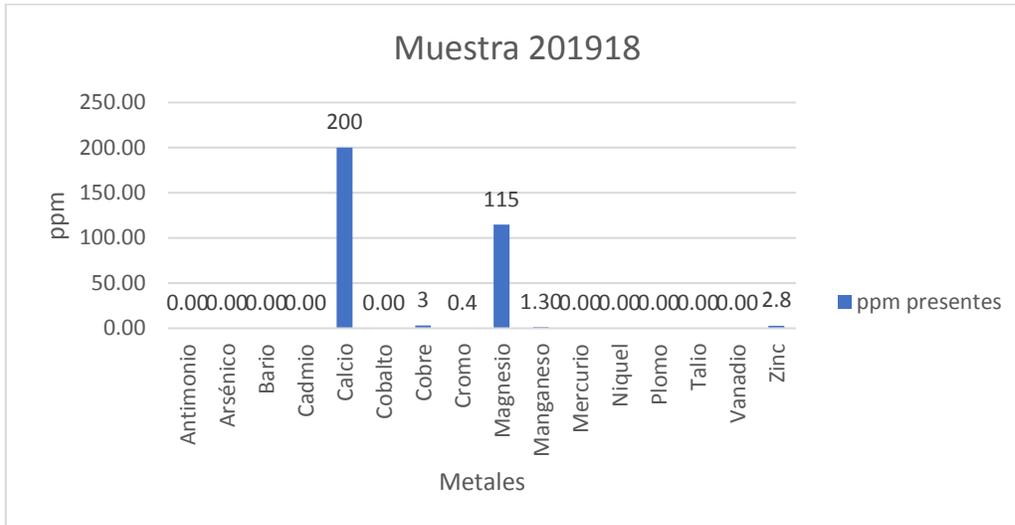
Muestra # 17

De los 16 metales analizados, entre ellos Cadmio, Níquel, Plomo, Mercurio, Vanadio, sus resultados arrojaron menores a 0.1 ppm muy por debajo de lo que establece la norma. Los metales presentes en esta muestra fueron:



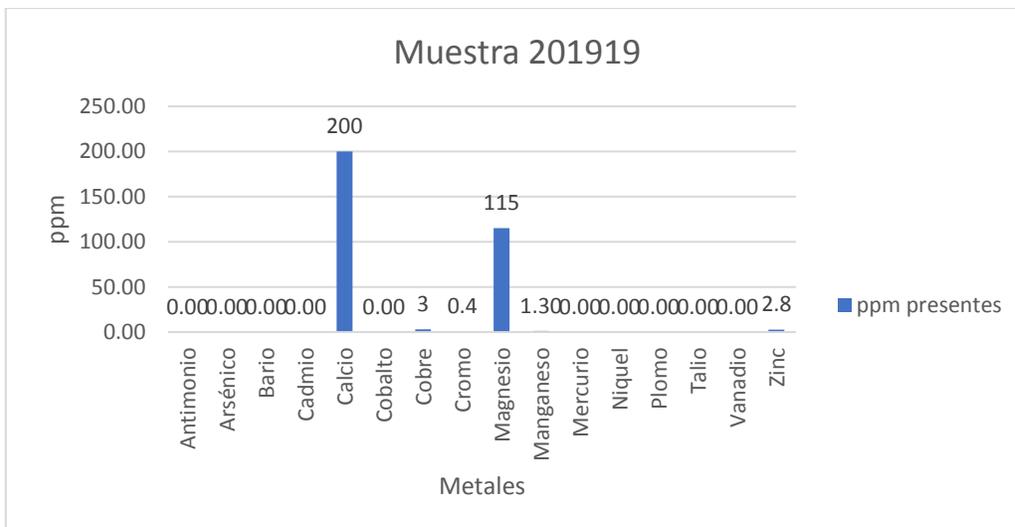
Muestra # 18

De los 16 metales analizados, entre ellos Cadmio, Níquel, Plomo, Mercurio, Vanadio, sus resultados arrojaron menores a 0.1 ppm muy por debajo de lo que establece la norma. Los metales presentes en esta muestra fueron:



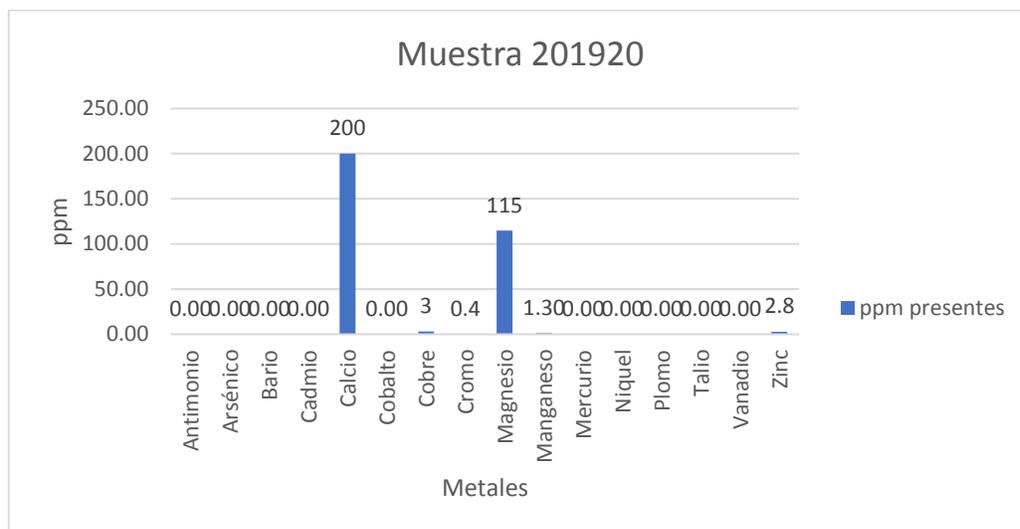
Muestra # 19

De los 16 metales analizados, entre ellos Cadmio, Níquel, Plomo, Mercurio, Vanadio, sus resultados arrojaron menores a 0.1 ppm muy por debajo de lo que establece la norma. Los metales presentes en esta muestra fueron:



Muestra # 20

De los 16 metales analizados, entre ellos Cadmio, Níquel, Plomo, Mercurio, Vanadio, sus resultados arrojaron menores a 0.1 ppm muy por debajo de lo que establece la norma. Los metales presentes en esta muestra fueron:



La presencia de Zinc y Magnesio en todo aceite usado es normal debido a que son incluidos como aditivos del aceite nuevo con el objeto de mejorar sus características lubricantes (Tejada Tovar et al., 2017) por lo que nuestras muestras poseen una cantidad esperada de ambos metales.

En relación al calcio, en todas las muestras presentan un contenido de calcio superior a la que pudiera tener un aceite nuevo. La presencia de calcio puede atribuirse a los detergentes, los cuales ayudan a mantener el aceite limpio y neutralizando los precursores de depósitos que se forman a altas temperaturas.

El cromo presente en las muestras se le pueden atribuir al desgaste de los anillos del pistón y de los refrigerantes empleados (Tejada Tovar et al., 2017). Es común conseguir en muestras de aceites usados metales como: cromo níquel y manganeso², debido al desgaste de algunas de las piezas de engranaje.

Bifenoles policlorados (PCB's)

No se encontraron en ninguna de las muestras.

² <http://noria.mx/lublearn/principales-contaminantes-en-el-reporte-de-analisis-de-lubricante/>

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos de la caracterización físicoquímica de las muestras de aceites usados, las mismas son aptas para su reciclaje. La presencia de algunos metales como: el calcio, magnesio, zinc, cromo son producto de los aditivos y refrigerantes que se emplean para mejorar las propiedades físico-químicas de los aceites nuevos, lo que no representa una peligrosidad para su posterior uso.

La recuperación y reciclado de los aceites usados para insertarlos en el proceso de fabricación del lubricante base es la opción ideal, siempre y cuando se mantengan sus características lo más cercana posible a las del lubricante nuevo. Otra opción es utilizarlo como combustible alternativo, siguiendo un protocolo de caracterización y tratamientos físicoquímicos necesarios para desclasificarlo como residuo tóxico y peligroso, siendo esta opción la más factible en estos momentos para la región, pues no requiere de mayor uso de tecnología especializada.

La opción adecuada para República Dominicana actualmente es el reciclaje de estos aceites mediante el aprovechamiento energético, utilizando técnicas de mezclado con combustibles pesados tipo FuelOil y de esta forma darle un valor agregado a este tipo de residuo, cumpliendo con las normativas técnicas existente, ya que los mismos pueden ser utilizados en hornos cementeros e incineradores, controlando sus emisiones.

La valorización mediante el aprovechamiento energético contribuye a una gestión integral de este tipo de residuo, minimizando el riesgo de un manejo inadecuado del mismo, evitando contaminación de aguas y suelo. Sin embargo, es recomendable caracterizar los aceites con cierta periodicidad de manera de controlar que los mismos estén dentro de los parámetros establecidos y hacer un control de las emisiones atmosféricas y así evitar este tipo de contaminación.

Agradecimientos

Esta investigación (2016-2017-061) ha sido financiada por el Ministerio de Educación Superior, Ciencia y Tecnología (MESCYT) de la República Dominicana, a través del Fondo Nacional de Innovación, Desarrollo Científico-Tecnológico (FONDOCYT). Agradecemos al apoyo técnico, administrativo y financiero del Servicio Geológico Nacional (SGN) y la Universidad Latina de Panamá. Las labores de levantamiento de datos en campo y toma de muestras fueron realizadas por la geógrafa Rafaelina Espiritu Fulgencio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias, J. (2018, September 25). El 89% de desechos peligrosos generados en Dominicana van al medioambiente sin tratarse. *Diario Libre*. Retrieved from <https://www.diariolibre.com/actualidad/medioambiente/el-89-desechos-peligrosos-va-al-ambiente-sin-tratarse-GO10876189>
- Bhaskar, T., Uddin, M. A., Muto, A., Sakata, Y., Omura, Y., Kimura, K., & Kawakami, Y. (2004). Recycling of waste lubricant oil into chemical feedstock or fuel oil over supported iron oxide catalysts. *Fuel*, 83(1), 9–15. [https://doi.org/10.1016/S0016-2361\(03\)00216-3](https://doi.org/10.1016/S0016-2361(03)00216-3)
- Boughton, B., & Horvath, A. (2004). Environmental Assessment of Used Oil Management Methods. *Environmental Science and Technology*, 38(2), 353–358. <https://doi.org/10.1021/es034236p>
- De Vita, Y. (1995). Aditivos para lubricantes para motor a gasolina: *Cuaderno FIRP*, 38(2).
- Elkhaleefa, A. M. (2016). Waste Engine Oil Characterization and Atmospheric Distillation to Produce Gas Oil. *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*, 5(4), 6–8.
- EPA. (2015). Office of Solid Waste and Emergency Response OSWER FY 2016-2017 National Program Manager's Guidance. Retrieved November 1, 2019, from EPA website: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/P100ME9J.TXT?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=2011+Thru+2015&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=>
- Fuentes, M. J., Font, R., Gómez-Rico, M. F., & Martín-Gullón, I. (2007). Pyrolysis and combustion of waste lubricant oil from diesel cars: Decomposition and pollutants. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 79(1–2), 215–226. <https://doi.org/10.1016/J.JAAP.2006.12.004>

- Hamawand, I., Yusaf, T., & Rafat, S. (2013). Recycling of waste engine oils using a new washing agent. *Energies*, 6(2), 1023–1049. <https://doi.org/10.3390/en6021023>
- Impuestos Internos, G. de E. E. y T. D. de A. de R. y E. (2018). *PARQUE VEHICULAR 2018*. Santo Domingo.
- Kanokkantapong, V., Kiatkittipong, W., Panyapinyopol, B., Wongsuchoto, P., & Pavasant, P. (2009). Used lubricating oil management options based on life cycle thinking. *Resources, Conservation and Recycling*, 53(5), 294–299. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2009.01.002>
- Mendoza, E. I., & Robles, R. E. (2016). *Reciclaje de aceites usados para transmisión de potencia en las industrias y talleres de servicio de la ciudad de Milagro, Ecuador*.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. *Manual Técnico para el manejo de Aceites Lubricantes Usados*. , (2014).
- Montero, G. N. (2011). *Reproceso Y Comercialización De Aceite*.
- Montes, M., & Bello, P. (2003). *Re-Refinado de Aceites Usados* (Universidad de Vigo). Retrieved from <https://studylib.es/doc/7189635/re-refinado-de-aceites-usados>
- Oficina Nacional de Estadística. (2019). *Emisiones de CO2 del sector energético por año, según combustible 2000-2018*. Santo Domingo.
- Secretaría de Estado de Medio Ambiente y Recursos Naturales. RECURSOS NATURALES Subsecretaría de Gestión Ambiental. , 1 República Dominicana § (2014).
- Sevilla, B. (2019). Demanda global de lubricantes 2000-2018. Retrieved from 2019 website: <https://es.statista.com/estadisticas/599641/demanda-mundial-de-lubricantes/>
- Tejada Tovar, C. N., Quiñones Bolaños, E., & Fong Silva, W. (2017). Caracterización físico-química de aceites usados de motores para su reciclaje. *Prospectiva*, 15(2), 135–144. <https://doi.org/10.15665/rp.v15i2.782>