

Oily wastewaters produced in carwashes in the city of Cumaná, Venezuela

Carlos Ortiz * 

Universidad Politécnica Territorial del Oeste de Sucre “Clodosbaldo Russián”. Sucre, Venezuela

Abstract.- This study presents an evaluation on the wastewater generated in different carwashes in the city of Cumaná. In order to accomplish this task, a list of all carwashes which drain wastewater in the sewer system of the city was made. The minimum average flow of wastewaters was determined for each carwash on the list. It was also determined the physical and chemical characteristics of those waters. Each one of these variables was inter-related with the source of pollution using Pearson's correlations and the resulting values were compared with the criteria established in the force environmental regulations (Gaceta Oficial de La República de Venezuela N° 5021, 1995, presidential decree 883, Chapter III, Section V: Drainage in the Sewer System). To determine the minimum average flow of wastewater produced in each carwash, the method of volume/time was applied. The determination of the wastewater characteristics was accomplished using standard methods approved by APHA, AWWA, EPA and WPCF. The resulting values were interrelated through Pearson's correlation, validating the results through hypothesis test and using the MiniTab 17[®] as a tool work. The minimum average flow of wastewaters for each carwash ranged from 12,64 m³/h to 51,82 m³/h. According to the physical and chemical characteristics of these tests referring to total solids, total dissolved solids, total suspended solids, sedimentables solids, BOD₅, COD, metals (Ni, Zn, Pb, Cd) oil and grease, it was determined that these values exceed the maximum permitted by official regulations. Pearson's correlation showed that the main variables used to determine and monitor these water are solids, BOD₅, COD, Cd and Pb.

Keywords: wastewaters; carwashes; lubricants.

Aguas residuales aceitosas generadas en autolavados de la ciudad de Cumaná, Venezuela

Resumen.- En este estudio se presenta una evaluación de las aguas residuales generadas en diferentes autolavados de la ciudad de Cumaná. Para alcanzar este fin, se realizó una lista de todos los autolavados que vierten las aguas residuales a la red cloacal de la ciudad. Se determinó el caudal mínimo promedio de agua residual generada en cada autolavado. Además, se determinaron las características fisicoquímicas de esas aguas residuales. Cada variable determinada se relacionó con las fuentes de contaminación utilizando la correlación de Pearson, y los valores obtenidos se compararon con los criterios establecidos en la normativa ambiental vigente (Gaceta Oficial de La República de Venezuela N° 5021, de 1995, decreto 883, Capítulo III, sección V: descarga en las redes cloacales). Para determinar el caudal mínimo promedio de agua residual producida en cada autolavado, se aplicó el método de volumen/tiempo. La determinación de las características del agua residual se realizó utilizando los métodos estándar aprobados por APHA, AWWA, EPA y WPCF. Los valores resultantes se interrelacionaron mediante la correlación de Pearson, validando los resultados a través de la prueba de hipótesis y utilizando MiniTab 17[®] como herramienta de trabajo. El caudal mínimo promedio generado de aguas residuales para cada autolavado varió de 12,64 m³/h a 51,82 m³/h. De acuerdo con las características físicas y químicas de estas pruebas que se refieren a sólidos totales, sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables, DBO₅, DQO, metales (Ni, Zn, Pb, Cd) aceites y grasas, se determinó que estos valores están por encima el máximo permitido por las regulaciones oficiales. La correlación de Pearson mostró que las principales variables utilizadas para determinar y monitorear estas aguas son los sólidos, DBO₅, DQO, Cd y Pb.

Palabras clave: aguas residuales; autolavados; lubricantes.

Recibido: 22 de marzo, 2020.

Aceptado: 08 de mayo, 2020.

* Autor para correspondencia:

Correo-e: ortizcordova@hotmail.com (C. Ortiz)

1. Introducción

En la mayoría de las ciudades antiguas del mundo la disposición de las aguas residuales se realizaba de la manera más sencilla posible,

sin tomar en cuenta el ambiente alrededor y las condiciones repulsivas que se originaban en el lugar o lugares adyacentes del vertido. Era común ver esta situación en vista de la baja densidad de población que existía en ese entonces.

El método más común que se practicaba era el riego, luego reemplazado por la dilución en alcantarillas de aguas pluviales, pero transcurrido algún tiempo se presentaron problemas al depositar las aguas residuales domésticas en estas alcantarillas ya que se excedía la capacidad de la corriente de agua en la que vertían. En consecuencia, se construyeron alcantarillas separadas y se inició así el tratamiento de aguas residuales [1].

El tratamiento sistemático de las aguas residuales surgió a finales del siglo XIX y principios del siglo pasado, y no es sino hasta las últimas décadas del siglo pasado que el mundo comenzó a observar con inquietud, a estudiar y a tratar de resolver, con mayor atención cada día, toda la serie de dificultades relacionados con la disposición de los residuos líquidos provenientes del uso doméstico, industrial y comercial [2].

En Venezuela existen un número significativo de industrias que vierten sus aguas residuales en los ductos municipales de aguas residuales, observando en las últimas décadas el colapso de las redes del servicio sanitario municipal. Como consecuencia de los problemas asociados con la mezcla de residuos domésticos e industriales, un gran número de industrias, que incluyen los autolavados, han implementado un sistema de tratamiento de sus aguas residuales, muchos de ellos basados en tratamientos fisicoquímicos tradicionales como la floculación, flotación, sedimentación y filtración, al respecto algunos estudios demuestran la aplicación de la floculación-flotación [3], [4], [5]. De esta manera pueden ser tratadas en el mismo punto en que son descargadas para clarificarlas antes de permitir su evacuación a las alcantarillas municipales [6].

La situación de los autolavados en la ciudad de Cumaná, se agudiza debido a que en su mayoría no disponen de tratamiento alguno o adecuado de sus aguas residuales antes de ser vertidas a la red de aguas residuales municipales, descargando así la cantidad de sustancias contaminantes, generando

aguas residuales con un alta concentración de tensoactivos, aceites, grasas, ceras, metales pesados y otros, que hacen que estos residuales sean tóxicos, [7] y posteriormente vertidas en la red de aguas residuales municipales lo cual puede traer consecuencias graves en la distribución y transporte del residual hasta la planta de tratamiento municipal y como consecuencia puede colapsar la misma; además, estos contaminantes pudieran terminar en cuerpos de agua, alterando el ecosistema marino [7], [8], [9].

Las características que presentan las aguas residuales procedentes de autolavados dependen de los factores socioeconómicos de cada país. En este sentido, se han reportado en Brasil valores de DQO de 259 ± 40 mg/L; conductividad a 446 ± 55 μ S/cm y turbidez a 139 ± 45 NTU; [4] en Turquía un estudio realizado reporta valores de pH 8, COD 560 mg/L, aceites y grasas 125 mg/L, sólidos suspendidos 2300 mg/L, conductividad 980 mS/cm [10].

Si se trata de establecimientos comerciales legales, por lo general se consumen grandes volúmenes de agua dulce para eliminar la suciedad de los vehículos [11, 12], como consecuencia se generan grandes cantidades de agua residual, siendo esta vertida sin tratamiento alguno a la red de aguas residuales municipales de la ciudad, incrementando la problemática. Por todo lo antes expuesto se plantea evaluar las aguas residuales generadas en diferentes autolavados de la ciudad de Cumaná. Esta investigación es particularizada en la ciudad en estudio, y en ningún caso los resultados obtenidos y las tendencias entre las variables manipuladas son extrapolables.

2. Metodología

Se visitó la División de Hacienda de la Alcaldía del Municipio Sucre, recolectando información referida a la existencia y ubicación de los autolavados legalmente registrados que realizan actividades comerciales en la ciudad de Cumaná, se localizaron ocho (8) establecimientos comerciales dedicados al lavado de automóviles ubicados en diferentes áreas de la ciudad.

La investigación se desarrolla en 4 autolavados seleccionados al azar, previo consentimiento de los dueños de esos establecimientos para la realización de la investigación. Los autolavados objeto de estudio están ubicados en distintas zonas de la ciudad de Cumaná, capital del estado Sucre.

Con la finalidad de reservar el nombre del establecimiento y todos los resultados obtenidos durante la investigación, se identificaron los autolavados con la nomenclatura: A, B, C y D, referidas a cada autolavado, ubicándolos geográficamente mediante coordenadas UTM PSAD 56 Venezuela, según las coordenadas:

- Autolavado A: 1154780,127 N 370446,313 E 118,734 m
- Autolavado B: 1154726,128 N 370672,324 E 118,734 m
- Autolavado C: 1155953,108 N 371343,303 E 103,819 m
- Autolavado D: 1157527,084 N 370340,321 E 99,875 m

En la Figura 1, se muestra el geoposicionamiento de los autolavados mediante coordenadas UTM PSAD 56 Venezuela.

2.1. Medición de caudales

Para la realización del muestreo de los aceites lubricantes residuales, se tomaron muestras simples en botellas de vidrio de un litro de capacidad, previamente esterilizadas, secas y rotuladas.

Considerando como base 8 horas diarias de trabajo en los autolavados, el día de mayor productividad se comprobó mediante información aportada por los encargados de los establecimientos tomando en consideración la jornada semanal de actividades, así como el número de vehículos lavados durante cada uno de esos días para obtener los resultados más representativos en cuanto a los análisis y medir con exactitud el caudal promedio diario y consecuentemente la carga contaminante del efluente del establecimiento comercial.

La medición de caudales se llevó a cabo durante tres semanas consecutivas de prestación de servicio utilizando el método de volumen y tiempo. Para

ello se utilizó un recipiente calibrado registrándose el tiempo de llenado de este con el agua potable suministrada por la bomba del equipo dosificador usado para el lavado de automóviles. Luego se tomó el promedio del tiempo empleado para lavar diferentes tipos de automóviles y se relacionó con el caudal de agua utilizada para el lavado, determinando de esta manera la cantidad de agua utilizada para lavar un automóvil.

El caudal de agua utilizado para lavar un automóvil multiplicado por el número de automóviles diarios determina el caudal diario mínimo de agua residual generada por día en cada autolavado.

2.2. Diseño de Muestreo

Se identificaron y seleccionaron como puntos de muestreo el tanque de recepción de las aguas residuales provenientes del área de lavado de la carrocería, neumáticos y lavado de motor del vehículo.

Para la realización del muestreo de los aceites lubricantes residuales, se tomaron muestras simples cada 15 días durante 5 meses, en botellas de vidrio de un litro de capacidad, previamente esterilizadas, secas y rotuladas. Se tomaron tres muestras cada día que se realizó el muestreo para efectuar la repetibilidad de los ensayos.

2.3. Mediciones

Se determinaron los siguientes parámetros *in situ*: pH, temperatura, oxígeno disuelto (OD). Además, se determinaron parámetros según los métodos estándar, aprobados por APHA, AWWA y WEF (2005): [13] aceites y grasas, demanda bioquímica de oxígeno (DBO_{5,20}), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos totales (ST), sólidos totales volátiles (STV), sólidos totales fijos (STF), sólidos disueltos totales (SDT), sólidos disueltos volátiles (SDV), sólidos disueltos fijos (SDF), sólidos suspendidos totales (SST), sólidos suspendidos volátiles (SSV), sólidos suspendidos fijos, sólidos sedimentables, hidrocarburos alifáticos, digestión de metales por ácido nítrico-ácido clorhídrico para determinar concentraciones de cadmio (Cd), zinc (Zn), plomo (Pb) y níquel (Ni).

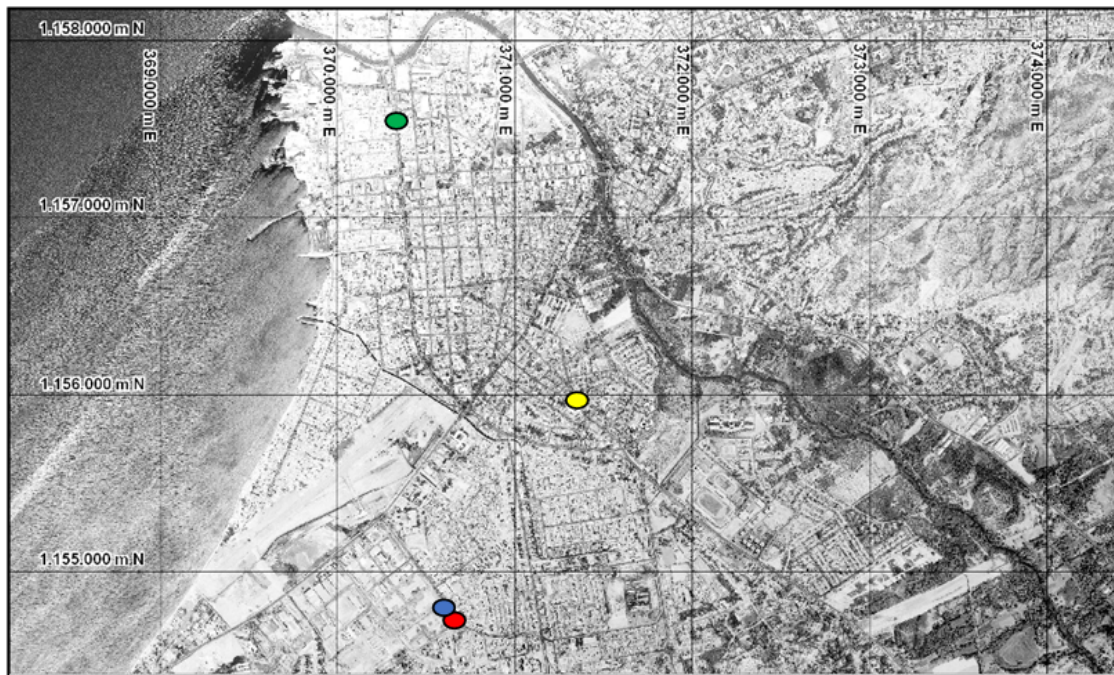


Figura 1: Geoposicionamiento de los autolavados mediante coordenadas UTM PSAD 56 Venezuela (● Autolavado A, ● Autolavado B, ● Autolavado C, ● Autolavado D)

3. Resultados

3.1. Medición de caudales

La Tabla 1 muestra la variación diaria de autos lavados en cada uno de los establecimientos durante la primera semana de medición de caudales. Se observa que para los autolavados C y D, la afluencia vehicular para el servicio de lavado es mayor, esto podría estar relacionado con la ubicación geográfica de ambos establecimientos comerciales, para el caso del autolavado C, se encuentra ubicado en el centro de la ciudad, mientras que para el autolavado D, se encuentra ubicado en la zona este de la ciudad con elevado movimiento comercial y económico.

En la Tabla 2 se muestra la variación del caudal residual mínimo generado de aguas residuales diariamente durante la primera semana de medición. Los resultados presentados son el producto simple de la repetibilidad por triplicado de cada muestreo para determinar la variación del caudal mínimo de agua residual generada

Se observa en la tabla anterior que el volumen de agua residual generada diariamente varía entre 12,64 m³/h (para el autolavado A, correspondiente

al martes) y 51,82 m³/h (para el autolavado D, correspondiente al sábado). Estos valores que se presentan en la Tabla 2 son el resultado del producto del número de automóviles lavados diariamente multiplicado por 0,632 m³/h, siendo este el caudal de agua obtenido a través del método volumen/tiempo; realizando esta medición por triplicado para cada vehículo, y realizando posteriormente un promedio simple para todos los autolavados.

Estos valores obtenidos, representan un consumo de agua limpia que oscila entre 0,600 m³ (600 L) y 0,634 m³ (634 L) por vehículo. Esta tendencia deja ver que el servicio prestado para el lavado de automóviles es uno de los mayores consumidores de agua limpia. En general, el agua utilizada por automóvil varía entre 150 L a 600 L dependiendo del tamaño del automóvil y del equipo utilizado [9], [14].

3.2. Parámetros fisicoquímicos

En la Figura 2 se presenta la variación de los sólidos totales en aguas residuales de los distintos autolavados durante el tiempo de muestreo, se distinguen valores máximos de sólidos totales de

Tabla 1: Variación del número de autos lavados durante la primera semana de medición

Número de automóviles lavados durante la semana I						
	lunes	martes	miércoles	jueves	viernes	sábado
Autolavado A	43	20	33	23	44	29
Autolavado B	43	27	31	34	44	57
Autolavado C	68	52	39	52	71	74
Autolavado D	50	52	24	43	74	82

Tabla 2: Caudal residual mínimo generado de aguas residuales diariamente durante la primera semana de medición

Caudal mínimo generado en los autolavados en la semana I (m ³ /h)						
	lunes	martes	miércoles	jueves	viernes	sábado
Autolavado A	27,18	12,64	20,86	14,54	27,81	18,33
Autolavado B	28,18	17,06	19,59	21,49	27,81	36,02
Autolavado C	42,98	32,86	24,65	32,86	44,87	46,77
Autolavado D	31,60	32,86	15,17	27,18	46,77	51,82

46248,00 y 13960,00 mg/L para el autolavado D, y un valor mínimo de 668,00 mg/L para el autolavado C.

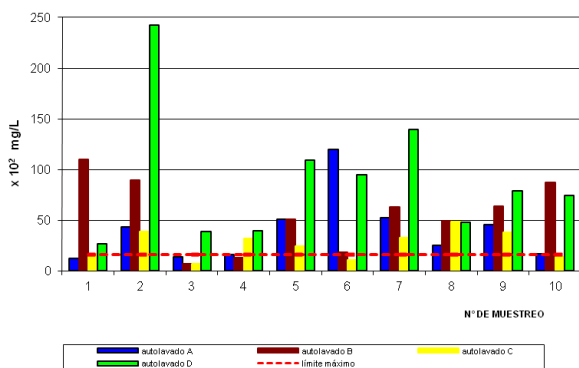


Figura 2: Variación de los sólidos totales (mg/L) en aguas residuales de los distintos autolavados

La presencia de sólidos en estas aguas se atribuye posiblemente a la gran variedad de materiales inorgánicos y orgánicos que en ellas se encuentran y que quedaron en las muestras después de ser evaporadas, entre ellos se pueden considerar principalmente el polvo, arcillas, y grasa [15].

En la Figura 2 se observa que ciertos valores de sólidos totales se encuentran por encima del límite máximo (1600 mg/L) establecido en la Gaceta

Oficial de la República de Venezuela No 5021, decreto 883, del 18 de diciembre de 1995 [16].

En la Figura 3 se representa gráficamente la variación de los sólidos suspendidos totales en aguas residuales de los distintos autolavados durante el tiempo de muestreo, se observa un valor máximo de 61372,00 mg/L de SST, y un valor mínimo de 1524,00 mg/L de SST.

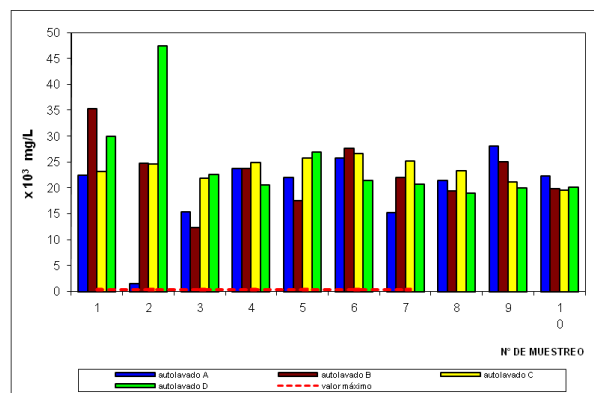


Figura 3: Variación de los sólidos suspendidos totales (mg/L) en aguas residuales de los distintos autolavados

La alta concentración de sólidos suspendidos totales en esta agua puede ser atribuible a la presencia de materiales que no fueron disueltos en el

agua como, por ejemplo, material arcilloso, mezcla aceites y polvo, entre otros, los cuales presentan un diámetro mayor a $0,47 \mu\text{m}$ y fueron retenidos por el medio filtrante. Comparando los valores obtenidos de SST con los resultados de Gutiérrez (2012), las aguas residuales de autolavados discrepan de los resultados encontrados por estos investigadores (presentan concentraciones mucho más elevadas), pudiendo atribuir esto al origen y la naturaleza de las aguas residuales [6]. Además, se puede observar en la Figura 3, que las concentraciones de sólidos suspendidos totales en cada uno de los autolavados se encuentran por encima del valor máximo permisible (400 mg/L) establecido en la normativa ambiental.

En la Figura 4 se muestra la variación de aceites y grasas en aguas residuales de los distintos autolavados durante el tiempo de muestreo, se distingue un valor máximo de $146,21 \text{ mg/L}$ de aceites y grasas para él, y un valor mínimo de $1,99 \text{ mg/L}$. Los valores de aceites y grasas determinados en estas aguas se atribuyen posiblemente a la presencia de compuestos derivados del petróleo los cuales son muy abundantes en este tipo de aguas residuales, entre ellos se encuentran aceites lubricantes, grasas, entre otros.

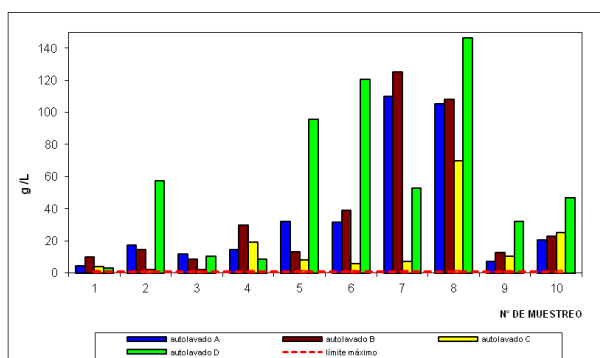


Figura 4: Variación de aceites y grasas (g/L) en aguas residuales de los distintos autolavados

Por otra parte, se puede observar en la Figura 4 que los valores de aceites y grasas de todos los autolavados sobrepasan el valor máximo permisible ($0,02 \text{ g/L}$) en la Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 5021, decreto 883, sección V, del 18 de diciembre de 1995. Por esta razón es necesario instalar un sistema

de tratamiento de estos vertidos de manera que permita eliminar la mayor parte de los aceites y grasas minerales que son generados en estos establecimientos comerciales, son recomendables sistemas basados en la separación gravimétrica mediante la instalación de tanques de eliminación de aceites (desnatadores) [17].

En la Figura 5 se presenta la variación de la demanda química de oxígeno en las aguas residuales de los distintos autolavados durante el tiempo de muestreo, se observan valores máximos de $16358,00$ y $13632,00 \text{ mg O}_2/\text{L}$, y un valor mínimo de $1430,40 \text{ mg O}_2/\text{L}$.

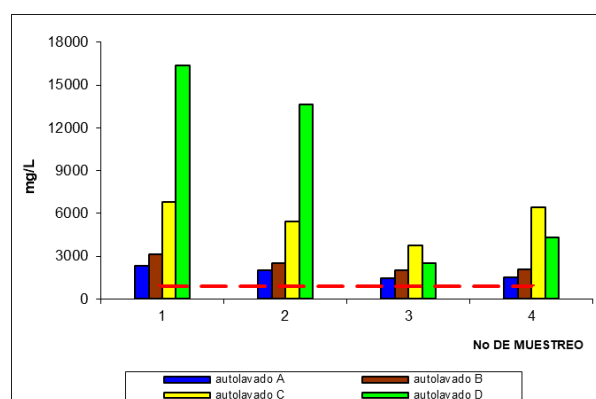


Figura 5: Variación de la demanda química de oxígeno (mg/L) en aguas residuales de los autolavados

Los valores obtenidos permiten estimar la cantidad de oxígeno que se requiere para la oxidación de la materia orgánica a dióxido de carbono y agua [18], la presencia de la materia orgánica puede ser debida posiblemente a los aceites y grasas, así como sólidos orgánicos que se encuentran en esta agua, esto se confirma con la alta concentración de sólidos totales volátiles presentes y con las concentraciones de aceites y grasas que en su mayor parte son derivados de hidrocarburos. Además, se observa que los valores de la DQO se encuentran por encima del valor máximo permisible ($900 \text{ mg O}_2/\text{L}$) establecido en normativa ambiental de Venezuela.

Se aprecia en la Figura 6 la variación de la demanda bioquímica de oxígeno en las aguas residuales de los distintos autolavados, se distinguen valores máximos de $1489,00$ y $1362,18$

mg O₂/L y un valor mínimo de 558,43 mg O₂/L DBO₅. Los altos valores encontrados en la prueba de la DBO₅ aportan una medida indirecta de la materia orgánica presente, ya que en realidad se mide la concentración de oxígeno disuelto que es consumido por los microorganismos cuando degradan la materia orgánica [19]. La presencia de materia orgánica en las aguas residuales de los autolavados se puede confirmar analizando las la variación de sólidos volátiles: totales y suspendidos, respectivamente, representando un estimado de la presencia de materia orgánica en estas agua residuales.

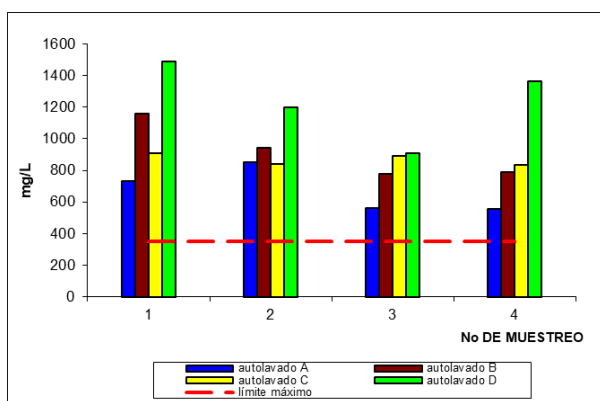


Figura 6: Variación de la demanda bioquímica de oxígeno (mg/L) en aguas residuales de los distintos autolavados

En la Figura 7 se presenta la variación de cadmio en las aguas residuales de los distintos autolavados, se observa un valor máximo de 0,03 mg Cd/L, y un valor mínimo de 0,001 mg Cd/L. La presencia de cadmio en las aguas residuales se relaciona con algunos procesos químicos, por ejemplo, se usa en forma de óxido en la fabricación de las baterías, en la producción de pinturas y como catalizador en la refinación del petróleo, este último puede representar uno de los principales aportes de cadmio en esta agua, además la presencia de este metal también puede ser debido al proceso de galvanoplastia [20]. Se puede observar en la Figura 7 que la concentración de cadmio se encuentran por debajo del valor máximo permisible 0,20 mg Cd/L, establecido en la normativa ambiental.

Mediante la Figura 8 se representa la variación

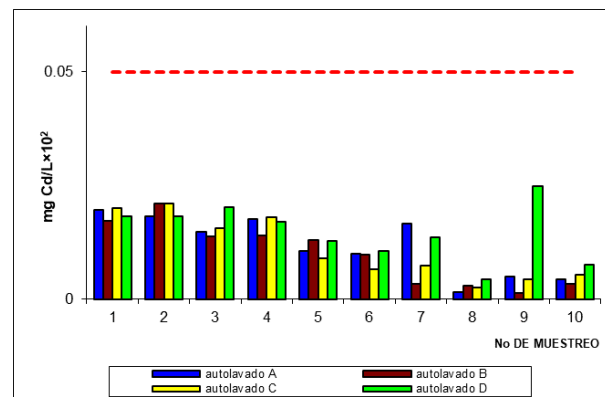


Figura 7: Variación de la concentración de cadmio (mg Cd/L), en aguas residuales de los distintos autolavados

de la concentración de plomo total en las aguas residuales, se observan los valores máximos de 265,55 mg Pb/L para el autolavado B, y 261,36 mg Pb/L, y un valor mínimo de 137,64 mg Pb/L. La presencia de plomo en las aguas residuales provenientes de los autolavados puede ser debida al desgaste de la pintura de los vehículos (muchos pigmentos contienen plomo como constituyente de su formulación), también en considerable el aporte de plomo mediante derrames de líquido o partículas desprendidas de las baterías de los vehículos.

La presencia de plomo en las cantidades encontradas posiblemente interferirá en los diversos tratamientos que se aplican a los vertidos municipales, y posteriormente, influirá en muchos usos provechosos del agua dada su toxicidad [8]. Analizando los valores determinados de Pb en las fases orgánicas y acuosas de las aguas residuales, se desprende que el mayor aporte de plomo lo suministra la fase orgánica, es decir, en el aceite lubricante de desecho y grasas presentes en esta agua residuales. Además, se observa que todos los valores de la concentración de Pb están por encima del valor máximo permisible 0,50 mg Pb/L, establecido en la normativa legal vigente de Venezuela.

3.3. Análisis estadístico: matriz de correlación de pearson

Se calcula el producto del coeficiente de correlación de Pearson entre cada par de variables mediante el software estadístico Minitab 17[®]. El

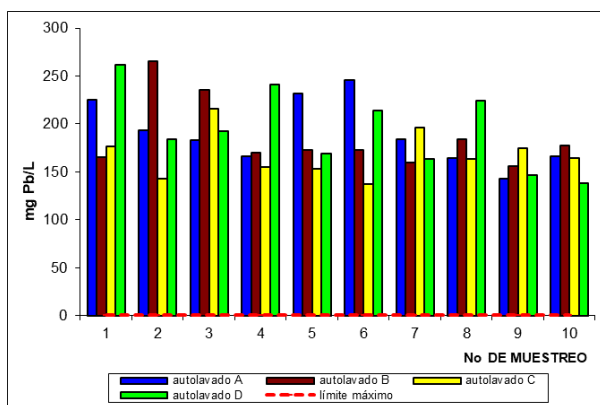


Figura 8: Concentración de plomo total (mg Pb/L) en las aguas residuales de los autolavados

coeficiente de correlación lineal (r) mide el grado de asociación de esta posible relación entre las variables. Este coeficiente se aplica cuando la relación que puede existir entre las variables es lineal (es decir, si representáramos en un gráfico los pares de valores de las dos variables la nube de puntos se aproximaría a una recta). Dicho coeficiente oscila entre -1 y $+1$; un valor de -1 indica una relación lineal o línea recta positiva perfecta. Una correlación próxima a cero indica que no hay relación lineal entre las dos variables [21].

Para el caso del trabajo que se presenta la hipótesis nula es “no hay correlación entre dos parámetros”. Se especifica para el análisis que se muestra un valor de significancia de 1% , y se rechazará la hipótesis nula si el resultado de la muestra es muy diferente del valor hipotético que una diferencia de dicha magnitud ocurriría por casualidad con una probabilidad del 1% , es decir, la probabilidad de observar un valor muestral (valor- p) tan extremo o más que el valor observado, dado que la hipótesis nula es verdadera. Si el valor p es menor que el nivel de significancia ($0,01$), la hipótesis nula se rechaza, si el valor p es mayor que el nivel de significancia ($0,01$), la hipótesis nula no se rechaza.

Se aplicó el análisis de correlación de Pearson para cada uno de los parámetros por cada autolavado. En la Tabla 3 se observa, para el autolavado A, que existe relación lineal altamente significativa entre los ST y STF ($r = 0,983$ y $p = 0$)

indica que cuando se consideran los sólidos de estos residuales como un todo, estos están representados mayoritariamente por el material fijo no volátil, en este caso los sólidos y aceites de elevados puntos de ebullición y difíciles de volatilizar. Ahora, cuando se consideran los componentes individuales de sólidos totales es decir, SST y SDT, observamos que se presentan una relación lineal altamente significativa entre los SST y SSV, como $SST = SSV + SSF$ se revela que para el caso de los SST, estos están compuestos mayoritariamente por el material suspendido volátil o material orgánico que al calcinarse se transforma en CO_2 y H_2O , registrándose ($r = 0,830$ y $p = 0,003$).

Para la relación altamente significativa que se presenta entre los STV y DBO ($r = 0,807$ y $p = 0,003$) se revela la estrecha relación entre el material total volátil (material orgánico) y la materia orgánica carbonosa representada por la DBO, en otras palabras, otra manera de determinar el contenido de materia orgánica sería mediante la determinación de los sólidos totales volátiles para este tipo de residuales. En cuanto a la relación altamente significativa que se presenta entre la DQO y la DBO ($r = 0,986$ y $p = 0$) esto es de esperar, ya que la DQO depende tanto del material carbonoso presente como del material nitrogenado, así como de todos aquellos compuestos o elementos susceptibles de ser oxidados por el $K_2Cr_2O_7$, pero como este tipo de residual, como se observó anteriormente, está compuesto mayoritariamente del material orgánico carbonoso, es lógico observar una relación estrecha entre dos variables.

Al analizar la relación lineal altamente significativa entre DQO con el Cd y con el Pb ($r = 0,775$ y $r = 0,902$) respectivamente, se infiere que estos materiales presentan igual origen o procedencia, es decir, origen orgánico y antropogénico, y su presencia es característico en todos los residuales procedentes de la industria petroquímica o de hidrocarburos, y por consiguiente es de esperar que están presentes en este tipo de residuales.

Las correlaciones significativas derivadas entre unos parámetros fisicoquímicos son de importancia para la selección del tratamiento adecuado para las aguas residuales de los autolavados. Por ejemplo, la relación entre la DBO y DQO registró un

Tabla 3: Valores del coeficiente de correlación de Pearson (r) y los valores p de la prueba de hipótesis para el autolavado A

		ST	STV	SST	DQO
STF	r	0,983	—	—	—
	p	0,000	—	—	—
SSV	r	—	—	0,830	—
	p	—	—	0,003	—
DBO	r	—	0,807	—	0,986
	p	—	0,005	—	0,000
Cd	r	—	—	—	0,775
	p	—	—	—	0,008
Pb	r	—	—	—	0,902
	p	—	—	—	0,003

coeficiente de correlación $r = 0,986$, lo que indica que estas aguas residuales pueden ser fácilmente tratables mediante procesos biológicos [1].

La correlación lineal altamente significativa entre la DQO con Cd y Pb ($r = 0,775$ y $r = 0,986$, respectivamente) permite confirmar que estos metales están asociados a las actividades de la refinación del petróleo, cuyos productos son de origen orgánico.

Se muestra en la Tabla 4, para el autolavado B, una relación lineal altamente significativa entre ST y STF ($r = 0,880$ y $p = 0,001$) indica que el contenido de los sólidos totales para los residuales de este autolavado depende, en igual proporción, tanto de los STF, como de los STV como lo demuestra el factor de correlación obtenido ($r = 0,856$ y $p = 0,002$) en concordancia con la expresión $ST = STF + STV$.

Al observar la relación altamente significativa entre los ST y los SSF ($r = 0,853$ y $p = 0,002$) se infiere que los sólidos totales están conformados mayoritariamente por el SST de acuerdo con $ST = SST + SSD$, y estos a su vez presentan mayor contenido de SSF de acuerdo con $SST = SSF + SSV$, indicando poca contribución del material suspendido volátil en el contenido de los sólidos suspendidos totales.

Se percibe, una relación lineal altamente significativa entre la DQO y DBO ($r = 1$ y $p = 0$) reflejando la contribución del material orgánico carbonoso representado por la DBO para este tipo de residual, asimismo, la relación lineal

Tabla 4: Valores del coeficiente de correlación de Pearson (r) y los valores p de la prueba de hipótesis para el autolavado B

		ST	STV	DQO	DBO
STF	r	0,880	—	—	—
	p	0,001	—	—	—
STV	r	0,856	—	—	—
	p	0,002	—	—	—
SSF	r	0,854	0,815	—	—
	p	0,002	0,004	—	—
DBO	r	—	—	1,000	—
	p	—	—	0,000	—
Cd	r	—	—	0,832	0,831
	p	—	—	0,003	0,003

significativa entre DBO y Cd ($r = 0,832$ y $p = 0,003$) refleja la presencia de cadmio está determinada por el contenido del material orgánico carbonoso, reflejando que su fuente de origen son los hidrocarburos provenientes de las actividades de la refinación del petróleo.

En la Tabla 5 se distingue para el autolavado C, al igual que los autolavados antes mencionados, una relación lineal altamente significativa entre los ST y los STF ($r = 0,928$ y $p = 0$), sabiendo que los $ST = STF + STV$, se puede inferir que los sólidos totales para los residuales de este autolavado están conformados en mayor proporción por el material total fijo, con poca contribución del material total volátil.

Tabla 5: Valores del coeficiente de correlación de Pearson (r) y los valores P de la prueba de hipótesis para el autolavado C

		ST	SST	DQO
STF	r	0,928	—	—
	p	0,000	—	—
SSV	r	—	0,942	—
	p	—	0,000	—
DBO	r	—	—	0,986
	p	—	—	0,008

Por otro lado, para el caso del material suspendido, se presenta una relación lineal altamente significativa entre los SST y los SSV, sabiendo que $SST = SSF + SSV$, se puede inferir que los SSV transformable por calentamiento en

CO₂ y H₂O se encuentra en mayor proporción con respecto a los SSF, revelando la gran influencia de los hidrocarburos petroquímicos en las características de los residuales procedentes de este autolavado.

En la Tabla 6, para el autolavado D, existe relación lineal altamente significativa entre los ST y los STF con valores de ($r = 0,997$ y $p = 0$) esto indica que el contenido de sólidos totales para los residuales de este autolavado está conformado en mayor proporción por material fijo, en conformidad con $ST = STF + STV$. Al observar la relación lineal altamente significativa entre los ST y los SST entre los cuales se registran valores de ($r = 0,912$ y $p = 0$) se infiere que los sólidos totales están conformados mayoritariamente por material suspendido de acuerdo con $ST = SST + SSD$, indicando poca contribución de material disuelto en estos residuales. Además, se observa que existe correlación lineal altamente significativa entre los (STF y los SST registrándose valores de ($r = 0,902$ y $p = 0$) esto infiere que los ST están conformados en mayor proporción por material no volátil, es decir material fijo, en concordancia con lo establecido por la expresión $ST = STV + STF$, y los STF a su vez presentan mayor proporción de SST, de esta manera se indica poca contribución de material disuelto.

Tabla 6: Valores del coeficiente de correlación de Pearson (r) y los valores P de la prueba de hipótesis para el autolavado D

		ST	STF	SSF	SSV	DQO
STF	r	0,990	—	—	—	—
	p	0,000	—	—	—	—
SST	r	0,912	0,902	—	—	—
	p	0,000	0,000	—	—	—
DQO	r	—	—	0,978	—	—
	p	—	—	0,002	—	—
DBO	r	—	—	—	0,957	—
	p	—	—	—	0,003	—
Cd	r	—	—	—	—	0,901
	p	—	—	—	—	0,099

Para la relación altamente significativa que se presenta entre los SSV y la DBO ($r = 0,957$ y $p = 0,003$) se revela la estrecha relación entre el material orgánico volátil y la materia orgánica

carbonosa representado por la DBO, es decir, una manera de determinar el contenido de materia orgánica en este tipo de residuales es mediante la determinación de SSV.

4. Conclusiones

Los parámetros de calidad del agua, tanto los físicos como los químicos (DBO, DQO, aceites y grasas, metales), se afectan por la presencia de altas concentraciones de aceites lubricantes (de origen mineral) y de sólidos totales en estas aguas residuales.

Mediante la caracterización fisicoquímica de las aguas residuales se infiere que estas aguas presentan alta carga de contaminantes, sobrepasando el límite máximo establecido en la normativa ambiental vigente, Gaceta Oficial de la República de Venezuela, N° 5021 (1995), Decreto N° 883, Capítulo III, sección V: descarga en las redes cloacales.

De acuerdo a la matriz de correlación de Pearson se determinó la relación lineal entre los parámetros analizados para cada autolavado, demostrando que existe proporcionalidad para:

- Autolavado A: ST-STF, STV-DBO, SST-SSV, DQO-DBO, DQO-Cd, DQO-Pb.
- Autolavado B: ST-STF, ST-STV, ST-SSF, STV-SSF, DQO-DBO, DQO-Cd, DBO-Cd.
- Autolavado C: ST-STF, SST-SSV, DQO-DBO.
- Autolavado D: ST-STF, ST-SST, STF-SST, SSF-DQO, SSV-DBO.

Indicando que los principales parámetros que se pueden utilizar para caracterizar y monitorear estos residuales son: sólidos, DBO, DQO, Cadmio y Plomo.

5. Referencias

- [1] Metcalf & Eddy, Inc., *Ingeniería Sanitaria: tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales*, 2nd ed. Barcelona: Editorial Labor, S.A, 1995.
- [2] G. Rivas Mijares, *Tratamiento de Aguas Residuales*, 2ª ed. Barcelona: Editorial VEGA, 1978.

- [3] J. Rubio, E. Carissimi, and J. Rosa, "Flotation in water and wastewater treatment and reuse: recent trends in Brazil," *International Journal of Environment and Pollution*, vol. 30, no. 2, pp. 193–207, 2007.
- [4] J. Rubio and R. Zaneti, "Treatment of washrack wastewater with water recycling by advanced flocculation-column flotation," *Desalination and Water Treatment*, vol. 8, pp. 146–153, 2009.
- [5] R. Zaneti, R. Etchepare, and J. Rubio, "Car wash wastewater treatment and water reuse: A case study," in *8th IWA International Conference on Water Reclamation and Reuse*, Barcelona, Spain, 2011.
- [6] G. Gutierrez, "Propuestas de alternativas para la disminución de efluentes industriales y el diseño de un sistema de tratamiento en la empresa Goodyear Productos Industriales C.A. Valencia," Trabajo de Grado de Ingeniería, no publicado, Universidad de Carabobo, Venezuela, 2012.
- [7] J. Brasino and J. Dengler, "*Practical*" *Fish Toxicity Test Report*, 1st ed. Washington: Environmental Partners, 2007.
- [8] R. Zaneti, R. Etchepare, and J. Rubio, "Car wash wastewater reclamation. Full-scale application and upcoming features," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 55, pp. 953–959, 2011.
- [9] A. Al-Odwani, M. Ahmed, and S. Bou-Hamad, "Carwash water reclamation in Kuwait," *Desalination*, vol. 206, pp. 17–28, 2009.
- [10] Z. B. Gönder, G. Balcioğlu, I. Vergili, and Y. Kaya, "Electrochemical treatment of carwash wastewater using Fe and Al electrode: Techno-economic analysis and sludge characterization," *Journal of Environmental Management*, vol. 200, pp. 380–390, 2017.
- [11] W. Lau, A. Ismail, and S. Firdaus, "Treatment of carwash effluent using ultrafiltration and nanofiltration membranes," *Separation and Purification Technology*, vol. 104, pp. 26–31, 2013.
- [12] K. Boussu, C. Kindts, C. Vandecasteele, and B. Van Der Bruggen, "Applicability of nanofiltration in the carwash industry," *Separation and Purification Technology*, 2007.
- [13] APHA, AWWA y WEF, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 21st ed. Washington DC, USA: American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, 2005.
- [14] M. Panizza and G. Cerisola, "Applicability of electrochemical methods to carwash wastewaters for reuse. Part 1: Anodic oxidation with diamond and lead dioxide anodes," *Journal of Electroanalytical Chemistry*, vol. 638, no. 1, pp. 28–32, 2010.
- [15] C. Baird, *Química Ambiental*, 1^{era} ed. España: Editorial REVERTÉ, 2001.
- [16] Gaceta Oficial República de Venezuela, *Decreto N° 883. Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos*, Publicado en Gaceta Oficial N° 5021, del 18 de diciembre de 1995, Venezuela, 1995.
- [17] G. Kiely, *Ingeniería Ambiental: fundamentos, Entornos, Tecnologías y Sistemas de Gestión. Volumen I*. Madrid: Editorial McGRAW HILL Interamericana, 1999.
- [18] R. Crites y G. Tchobanoglous, *Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados*. Bogotá: Editorial McGRAW HILL, 2000.
- [19] M. Davis y S. Masten, *Ingeniería y Ciencias Ambientales*, 1st ed. México: Editorial McGRAW HILL, 2005.
- [20] M. Grau, *Toxicología Ambiental*. España: Editorial McGRAW HILL, 2003.
- [21] P. Moreu, *Estadística Informatizada*, 1^{era} ed. Madrid: Editorial Paraninfo, 1999.