

In press

ENVIRONMENTAL ENGINEERING

Wastes Flow from wastewater treatment in the industrial sector of Cali urban and periurban area, free trade zone of Palmira and Yumbo

INGENIERIA AMBIENTAL

Flujo de Residuos del Tratamiento de Aguas Residuales en el sector industrial de Cali zona urbana y periurbana, zona franca de Palmira y Yumbo

**Inés Restrepo-Tarquino¹, Marcela J. Ñañez-Espinoza^{1§}, Viviana Valencia-Zuluaga¹,
Cristhian D. Acevedo-Sánchez¹**

¹Universidad del Valle, Instituto de Investigación y Desarrollo en Abastecimiento de Agua, Saneamiento Ambiental y Conservación del Recurso Hídrico (CINARA), Cali, Colombia.

ines.restrepo@correounivalle.edu.co, marcela.nanez@correounivalle.edu.co,

viviana.valencia@correounivalle.edu.co, cristiacevedo16@gmail.com

(Recibido: 23 de Agosto de 2019 - Aceptado: 28 de Octubre de 2019)

Abstract

This paper presents the research carried out regarding the management of waste (known in this case as sludge and grease) from the treatment of industrial and domestic wastewater from companies located in the industrial zone of Cali, urban and peri-urban area, and free trade zone. municipality of Palmira and Yumbo. Two stages were developed whose objectives were respectively: 1) to identify the generators of sludge and grease, and 2) to demonstrate the management practices by the managers (companies that provide the service of maintenance, collection and / or treatment of waste generated). At the end of these stages, the flow of these wastes was elaborated

in the study area. This allowed us to obtain a compilation of data that describes the way in which the management of this type of waste occurs to generate a vision of the problem in the Valle del Cauca, as a basis for future research on providing technical solutions for handling these. For the year 2014, around 921 industries were found in the study area, of which 85 had wastewater treatment systems (therefore, they are waste generators). On the other hand, 85 waste managers were identified. In this research, 22 industries accepted to participate as well as 5 waste managers. The approximate volume of mud and grease generated by these companies is 367.89 ton / month. Of this amount, only 158.7 ton / month (43%) is used as a soil conditioner, fertilizer, humus or for the substitution of raw materials. In spite of some of the sludge is used, in conclusion, it was identified that environmental policies are required that encourage these alternatives to reduce the impacts on the environment

Keywords: *Industrial sector, Generators, Managers, Sludge and grease, Waste stream.*

Resumen

Este trabajo presenta la investigación realizada en cuanto al manejo de residuos (conocidos para este caso como lodos y grasas) provenientes del tratamiento de aguas residuales industriales y domésticas de empresas ubicadas en la zona industrial de Cali, zona urbana y periurbana, y zona franca del municipio de Palmira y Yumbo. Se desarrollaron dos etapas cuyos objetivos fueron respectivamente: 1) identificar los generadores de lodos y grasas, y 2) evidenciar las prácticas de manejo por parte de los gestores (empresas que prestan el servicio de mantenimiento, recolección o tratamiento a los residuos generados). Finalizando estas etapas, se elaboró el flujo de estos residuos en la zona de estudio. Lo anterior permitió obtener un compilado de datos que describe la forma en que ocurre el manejo de este tipo de residuos para generar una visión de la problemática en el Valle del Cauca, como base para futuras investigaciones en torno a dar soluciones técnicas para manejo de estos residuos. Para el año 2014, en la zona de estudio se encontraron alrededor de 921 industrias, de las cuales 85 tenían sistemas de tratamiento de aguas residuales (por lo tanto, son generadoras de residuos). Por otra parte, se encontraron 28 empresas gestoras de residuos. En esta investigación participaron voluntariamente 22 empresas generadoras y 10 gestoras. El volumen aproximado de lodo y grasa que generan estas empresas es 368 toneladas por mes. De esta cantidad, solo 159 toneladas por mes (43 %) es aprovechado como acondicionador de suelos, abono, humus o para sustitución de materias primas. A pesar de que un buen porcentaje de lodo es aprovechado, como conclusión se identificó que se requieren políticas ambientales que incentiven estas alternativas para reducir los impactos sobre el ambiente.

Palabras clave: *Flujo de residuos, Generadores, Gestores, Lodos y grasas, Sector industrial.*

1. Introduction

La gestión de lodos y grasas, generados en los procesos de tratamiento de aguas residuales, ha tomado importancia en el ámbito de la ingeniería debido a que constituye un problema ambiental asociado a la responsabilidad extendida del productor y a los costos por disposición. A nivel nacional y local no existen bases de datos que permitan identificar fuentes generadoras, cantidades y tipo de disposición, tratamiento o aprovechamiento de lodos con características no peligrosas. Esta situación dificulta el seguimiento por parte de las autoridades ambientales y reduce las oportunidades de aprovechamiento.

El objetivo principal de la investigación fue obtener un compilado de datos que describiera la forma en que ocurre gestión de lodos y grasas derivados de plantas de tratamiento de agua residual en el sector industrial de la zona urbana y periurbana del municipio de Santiago de Cali, y de la zona franca de Palmira y Yumbo, y finalmente generar una visión de la problemática en el Valle del Cauca a partir de los resultados encontrados, que permita establecer los lineamientos para el adecuado manejo de estos residuos, contemplando los diferentes sectores generadores en la región.

2. Estado del arte

El lodo producto del tratamiento de aguas residuales industriales (PTARIs) tiene diversas características, que dependen del proceso industrial. El lodo de las plantas de tratamiento de aguas residuales requiere ser acondicionado para su utilización en otros procesos. El análisis de flujo de residuos es una herramienta utilizada ahora en la economía circular pues se requieren datos precisos sobre la producción y tratamiento de los residuos ⁽¹⁾. Por ejemplo, actualmente se estudia con intensidad el flujo de residuos electrónicos en la planificación de la economía circular ⁽²⁻⁴⁾. Incluso, existen aplicaciones para desarrollar el análisis de flujo de residuos ^(5,6). El análisis del flujo de residuos apoya la toma de decisiones y ha sido usada desde tiempos antiguos ^(7,8). En el caso de los lodos de PTARIs, con esta herramienta se puede analizar el potencial de reuso de los lodos industriales ⁽⁹⁾.

3. Metodología

El proyecto de investigación se desarrolló en dos etapas. La metodología para cada una se describe a continuación:

3.1. Etapa I: Caracterización de los generadores de lodos y grasas

Se realizó la identificación del universo de industrias ubicadas en la zona de estudio y clasificación por códigos de actividades económicas acorde con la clasificación industrial internacional uniforme (CIIU). En la definición de las industrias que participarían en el proyecto se estableció como único criterio de selección, tener planta de tratamiento de agua residual. Posteriormente se definirían las empresas a visitar, con el fin de identificar el estado, las actividades de operación y mantenimiento, y obtener datos específicos que permitieran calcular, directa o indirectamente la generación de lodos y grasas, realizando encuestas como método principal de investigación. Se analizó la información compilada y se cuantificaron los

residuos de las plantas de tratamiento y se realizó el diagrama de flujo de residuos de la población en estudio, del volumen generado de residuos y una distribución de acuerdo con el tipo de disposición.

3.2. Etapa II: Caracterización de los gestores de lodos y grasas

La identificación de las empresas gestoras se realizó a partir de la información obtenida en las industrias generadoras visitadas en la etapa I del proyecto de investigación y la base de datos se complementó con la información obtenida a partir del listado de empresas con licencia ambiental o plan de manejo ambiental para residuos peligrosos publicado por la CVC ⁽¹⁰⁾.

Se identificaron las prácticas que las empresas gestoras realizan para el mantenimiento, tratamiento o aprovechamiento de los lodos y grasas generados en las industrias del sector en estudio. Adicionalmente se realizó una clasificación de acuerdo al tipo de disposición o aprovechamiento que realizan con estos residuos. El método principal empleado fueron las entrevistas, mediante las cuales se conocieron los procesos que se aplican para el manejo de lodos y grasas, su capacidad instalada y el volumen que manejan. Finalmente se realizó el diagrama de flujo correspondiente a la gestión de los residuos en estudio, después de su recolección.

4. Resultados y discusión

Los resultados de la investigación obtenidos se presentan a continuación para cada etapa.

4.1. Etapa I: Caracterización de los generadores de lodos y grasas

La base de datos conformada incluyó 921 industrias localizadas en la zona de estudio. El total de industrias que cumplieron con el criterio de poseer sistemas de tratamiento de agua residual (STAR) fueron 85, y de estas 22 (26 %)

permitieron una visita técnica para el desarrollo de este estudio. En la Figura 1 se presenta el flujo de lodos y grasas agrupados por tipo de STAR encontrado y código CIU. Se puede observar que las empresas son mayoritariamente de los municipios de Cali y Yumbo (ACOPI).



Figura 1. Identificación de la población de estudio

En la Tabla 1 se presenta la cantidad de empresas visitadas y el detalle de las actividades económicas principales que desarrollan. Se presenta su clasificación por los códigos CIU ⁽¹⁾. De acuerdo con la estructura detallada por división del CIU para las industrias seleccionadas, estas se clasifican principalmente como industrias manufactureras.

4.1.1. Descripción de los sistemas tratamiento en industrias generadoras

Para el análisis de los datos obtenidos, fue necesario clasificar los sistemas de tratamiento de las industrias de acuerdo al tipo de afluente. En este sentido, se encontraron los siguientes tipos:

- STARI: Sistemas de tratamiento de agua residual industrial.
- STARC: Sistemas de tratamiento de agua residual combinado (industrial y doméstico).
- STARS: Sistema de tratamiento de agua residual separado industrial del doméstico.

La distribución encontrada de industrias de acuerdo al tipo de sistema de tratamiento de agua residual es:

- Con STARI 50 %.
- Con STARC 22.7 %.
- Con STARS 27.3 %.

En la investigación se estableció para las 22 industrias visitadas, que el 77.2 % cuentan con trampas de grasas (TG), en estas el 55 % de las grasas retenidas proviene de procesos industriales, el 20% provienen de actividades domésticas (Baños y casinos) y el 25 % recibe efluentes combinados de los procesos industriales y actividades domésticas.

Las industrias con STARI están ubicadas en zonas que cuentan con alcantarillado municipal y por lo tanto tienen autorización de la autoridad ambiental y la empresa administradora de servicios públicos, para descargar el agua residual de tipo doméstico sin previo tratamiento al alcantarillado.

Respecto al tren de tratamiento, el 91 % de los STAR industriales visitados involucran procesos físicos como la sedimentación. El 27 % de las industrias adicionan químicos como los coagulantes para mejorar la eficiencia del sistema y un 60 % implementan procesos biológicos. Por otra parte, el 100 % de las industrias dentro de las obligaciones establecidas en el permiso de vertimientos otorgado por la autoridad ambiental (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca -CVC o Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente -DAGMA) presentan anualmente caracterizaciones fisicoquímicas y microbiológicas de los efluentes tratados. Los rangos de eficiencia de los STAR en términos de DQO fueron:

- Para procesos industriales: entre el 60 y 92 %

Tabla 1. Generadores de lodos y grasas en la zona de estudio

Zona de estudio	Código CIU	Actividad Económica	Cantidad
Zona franca del municipio de Yumbo	2920	Fabricación de partes, piezas (autopartes), accesorios (lujos) para vehículos automotores	9
	2395	Fabricación de artículos de hormigón, cemento y yeso	
	3290	Acondicionamiento de envases	
	1709	Elaboración de empaques de cartón	
	1082	Elaboración y distribución de confitería	
	2529	Procesamiento de aluminio puro y chatarra	
	1702	Elaboración de cartones y cartulinas esmaltadas con material reciclado	
	2599	Fabricación de tornillos en acero, cobre entre otras materias primas	
Municipio de Cali, zona urbana y periurbana	2029	Fabricación de tensoactivos, surfactantes, emulsionantes	12
	4520	Reconstrucción de motores, laboratorio de inyección diesel y turbos	
	1040	Elaboración de productos alimenticios de derivados lácteos	
	1104	Elaboración de bebidas no alcohólicas, producción de aguas minerales y de otras aguas embotelladas	
	1089	Elaboración de productos alimenticios fritos y horneados	
	2599	Fabricación de tornillos en acero, cobre entre otras materias primas	
	1521	Elaboración de calzado	
	1082	Elaboración y distribución de confitería	
	1101	Elaboración de vinos y brandy	
	1702	Elaboración de cartones y cartulinas esmaltadas con material reciclado	
Zona Franca del municipio de Palmira	2023	Elaboración de tintes, shampoo y cremas	1
	2029	Fabricación de tensoactivos, surfactantes, emulsionante	

- Para procesos combinados: entre 74 y 98 %
- Para procesos separados: doméstico 62.7- 99.3 % e industrial entre 80 y 97.7 %

los sistemas de tratamiento y las cantidades extraídas, se cuantificó la generación de lodos y grasas generados en las empresas seleccionadas en la zona de estudio. La Tabla 2 presenta la relación entre el periodo de mantenimiento de los sistemas de tratamiento y la actividad económica (Código CIIU).

4.1.2. Frecuencia de mantenimiento de los sistemas de tratamiento

Se identificó la frecuencia de mantenimiento de

La actividad económica que realiza con mayor frecuencia mantenimiento son las industrias que

Tabla 2. Frecuencia de mantenimiento en STAR por actividad económica

Tipo de STAR	Actividad Económica	Frecuencia/Año
STARI	Reconstrucción de motores, laboratorios de inyección diésel y turbos	6
	Elaboración de bebidas no alcohólicas, producción de aguas minerales y de otras aguas embotelladas	4
	Elaboración de productos alimenticios fritos y horneados	10
	Fabricación de tornillos de acero, cobre entre otras materias primas	1
	Elaboración de calzado	5
	Compra, producción y comercialización de maní, arándanos, macadamia, pistacho, nueces y otros productos secos.	12
	Agroindustria que elabora ácido cítrico y derivados, alcohol y derivados	2
	Elaboración de vinos y brandy	2
	Fabricación de cadenas eslabonadas	1
	Elaboración de productos con alambón	1
Elaboración de tintes, shampoo y cremas	1	
STARC	Elaboración de productos alimenticios derivados de lácteos	4
	Elaboración de empaques de cartón	2
	Elaboración de dulces y confitería	1
	Elaboración de cartones y cartulinas esmaltadas con material reciclado	0
	Producción de pulpa de papel	1
STARS	Ensamble de motos, autopartes, tuberías metálicas	1
	Fabricación de artículos de hormigón cemento y yeso	96
	Acondicionamiento de envases	1
	Elaboración y distribución de confitería	1
	Procesamiento de Aluminio puro y chatarra	48
Fabricación de tenso activos, surfactantes, emulsionantes	4	

fabrican artículos en hormigón y yeso (Código CIU: 2395) y procesamiento de aluminio puro y chatarra (Código CIU:2529) ambos tipos de industria con sistemas de tratamiento de agua residual separado. En las STARI las industrias del sector alimentos y bebidas como por ejemplo las industrias que procesan productos fritos y horneados (Código CIU: 1089) y las que compran, producen y comercializan maní, arándanos, macadamia, pistacho, nueces y otros productos secos, tienen la mayor frecuencia de mantenimiento. En STARC la mayor frecuencia de mantenimiento es de 4 veces por año y corresponden a la actividad económica de elaboración de productos alimenticios de derivados lácteos (Código CIU: 1040); se presume que la combinación de las líneas de alcantarillado de agua residual doméstico e industrial contribuyen a la dilución de la carga que recibe el sistema y puede ser un factor que genera una reducción en la frecuencia de mantenimiento.

4.1.3. Cuantificación general de lodos y grasas en STAR de industrias generadoras

La cuantificación de lodos y grasas se realizó teniendo en cuenta los certificados entregados a los generadores por parte de las empresas prestadoras del servicio de mantenimiento de unidades y recolección de residuos (gestores). En estos certificados se indica la cantidad recolectada del residuo y la disposición o tratamiento. Por otra parte, la información sobre la frecuencia de mantenimiento a las unidades de tratamiento permitió establecer el volumen aproximado generado en determinado tiempo. Los resultados obtenidos de la cuantificación total de residuos de lodo y grasa para los STAR fueron de 16.6 toneladas por mes promedio para los STARI, 69.6 toneladas por mes promedio para los STARC y 281.6 toneladas por mes en promedio para los STARS.

En la Figura 2 se presenta la cuantificación de lodo y grasa (ton/mes) en las industrias con plantas de tratamiento de tipo STARI y STARC y en la Figura 3 se presenta la relación para las dos plantas de tratamiento que componen el STARS, STARI, de aguas residuales industriales, y STARD, de aguas residuales domésticas.

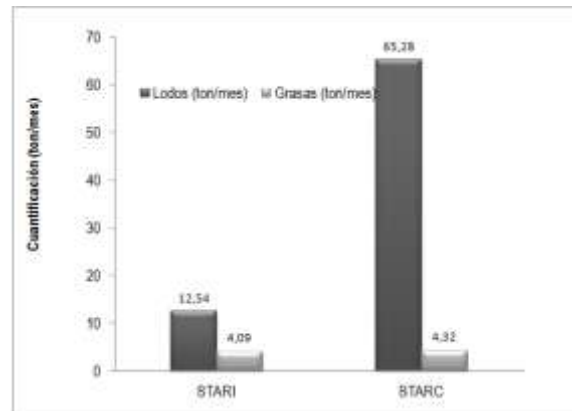


Figura 2. Cuantificación de lodo y grasa en STARI y STARC

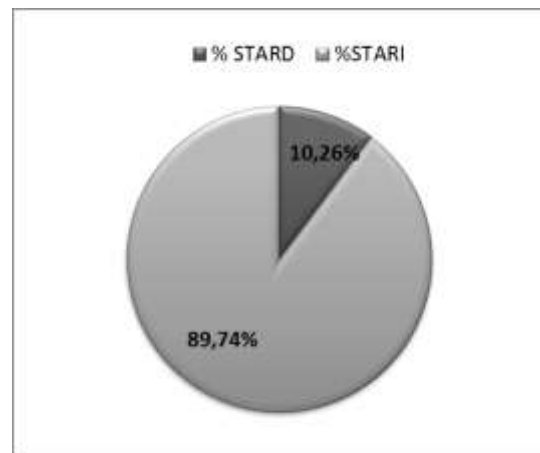


Figura 3. Porcentaje de Lodo generado en los STARS

Para las 22 industrias que hicieron parte de esta investigación se definió que el flujo másico en promedio de lodo y grasa generado es de 367.9 toneladas por mes, de los cuales 271.6 toneladas por mes corresponden a lodo y 4.2 toneladas al mes corresponden a grasas. Se pudo establecer que:

- El 75 % del total de residuos cuantificados de STARI son lodo y el 25 % corresponde a residuos de grasas del proceso industrial.
- El 94 % del total de residuos cuantificado de STARC son lodo y 6 % corresponden a una mezcla de grasas de proceso industrial y actividades domésticas.
- El 99.2 % del total de residuos cuantificado de STARS son lodo y 0.8 % corresponden grasas de procesos industriales y de actividades domésticas.
- El 73.8 % del total de residuos son lodos netamente de origen industrial
- El 1.1 % del total de residuos son grasas netamente de origen industrial. Un aspecto importante a resaltar es que el 33.3 % de las industrias visitadas combinan lodos y grasas debido que no cuentan con estructuras (TG) que permitan la separación antes de ingreso al tratamiento, situación que dificulta posibles aprovechamientos para este tipo de residuos.

4.1.4. Disposición, tratamiento o aprovechamiento

El 43.1 % de las industrias indican que los lodos y grasas generados en los STAR son aprovechados, el 21.4 % mencionan que disponen estos residuos en celdas de seguridad, el 10.7 % lo llevan a incineración, el 18 % que los envían a un relleno sanitario o a una STAR municipal y el 6.7 % mencionó que hasta el momento no han retirado este tipo de residuos de su sistema de tratamiento o no sabe o no respondieron.

La caracterización física, química, biológica entre otras, para residuos de STAR pueden indicar posibles formas de aprovechamiento y

valorización, de acuerdo con las visitas y entrevistas realizadas en las industrias, solo el 27.2 % han realizado algún tipo de análisis para caracterización de lodos.

Algunas industrias optan por realizar algún tipo de acondicionamiento a los residuos de los STAR para disminuir el peso y por lo tanto el valor por disposición; para la muestra analizada en esta investigación el 63.6 % realizan algún tipo de acondicionamiento antes de entregarlos a la empresa de recolección de residuo y el 36.4 % los entrega directamente sin previo acondicionamiento. Los tipos de acondicionamiento o pre-tratamiento llevados a cabo por las industrias involucran disminuir la humedad de los residuos y para esto el 36.4% de las industrias consultadas usan el sistema de filtro prensa y el 27.2 % lechos de secado.

Se identificó que las formas de aprovechamiento que llevan a cabo las industrias consultadas son en la incorporación a otros sistemas productivos, el compostaje, vermicompostaje y como enmienda en fertilizantes para cultivos, estos procesos son tercerizados debido que no disponen de área o desconocen los principios técnicos para realizarlos in-situ.

4.2. Etapa II: Caracterización de los gestores de lodos y grasas

4.2.1. Descripción de la oferta de servicios en la región

La base de datos de gestores de lodos y grasas que prestan servicios en la zona en estudio contiene 28 empresas, las cuales ofrecen los siguientes tipos de servicios:

1. Recolección, transporte y disposición intermedia: realizan la recolección, transporte de lodo y grasa y disposición en PTARs municipales o rellenos sanitarios. Los residuos declarados no

peligrosos recolectados no tienen tratamiento o acondicionamiento previo y se espera que en los puntos de disposición sufran una transformación por acción biológica (esta práctica se identificó en el desarrollo de esta investigación).

2. Recolección, transporte, tratamiento y disposición final: realizan la recolección de lodo y grasa con características peligrosas, para transportarlos al lugar establecido de la empresa gestora y almacenarlos, acondicionarlos o tratarlos y finalmente confinarlos, en lugares autorizados para evitar contaminación y daños o riesgos a la salud humana y al ambiente, conforme con el decreto único 1076 de 2015 ⁽¹²⁾. El cual hace claridad respecto a la disposición final e indica que este proceso comprende el confinamiento de residuos peligrosos en rellenos de seguridad que es una obra de ingeniería y consiste básicamente en una o varias celdas para la disposición de los residuos y un conjunto de elementos de infraestructura para la recepción, acondicionamiento, control de ingreso y evaluación de su funcionamiento ⁽¹³⁾.
3. Recolección, transporte y aprovechamiento de lodo o grasa: realizan la recolección de lodo y grasa con características no peligrosas. Los residuos son transportados a lugares establecidos para el acopio o disposición por parte del gestor, para su incorporación en procesos biológicos, físicos o químicos para aprovechamiento.
4. Recolección, transporte y aprovechamiento de aceites del sector de hidrocarburos Realizan la recolección de

aceites que provienen del sector en mención y son transportados a lugares establecidos por el gestor para el almacenamiento, tratamiento, aprovechamiento y distribución del producto transformado en otros sectores productivos.

5. Aprovechamiento de lodos: No ofrecen servicio recolección ni transporte y su capacidad de gestión se concentra en el almacenamiento de los residuos para incorporarlos al proceso de aprovechamiento. Algunos métodos identificados que realizan este tipo de gestores en la región son: el aprovechamiento como enmiendas para otros materiales, la incineración con fines de generación de energía y el compostaje.

De 28 empresas gestoras que operan en la zona de estudio, nueve autorizaron una visita técnica a sus instalaciones, finalmente, se obtuvo información completa de 10 gestores. La Tabla 3 presenta la cantidad de empresas gestoras encontradas acorde con el tipo de servicio que prestan y su ubicación:

Tabla 3. Empresas gestoras de lodos y grasas que prestan servicio en la zona de estudio

Tipo de servicio	Gestores que operan en la zona de estudio	Gestores visitados
1	5	3
2	7	1
3	2	1
4	6	1
5	8	3

4.2.2. Cuantificación de lodo y grasa manejado por gestores

Los valores obtenidos de cantidad de lodo y grasa que manejan los gestores son datos generales y totales de las empresas, por lo tanto, la cuantificación se realizó específica para cada gestor y se presenta para cada tipo de disposición.

La cantidad de lodo y gasa que es aprovechado y transformado como acondicionador de suelo (compost o humus) es: 3,660 m³/año de lodo doméstico e industrial de tipo orgánico principalmente, con un porcentaje de humedad entre el 80 y 90 %.

- 500 toneladas de lodo al año, con un porcentaje de humedad entre 60 y 80 %.
- 9,600 toneladas por año de lodo orgánico, con un porcentaje de humedad entre 60 y 70 %.

La cantidad de lodos que es aprovechado como enmienda y es integrado al proceso productivo del cemento es aproximadamente 3,000

toneladas por año, con un porcentaje de humedad del 30 %.

En la STAR-Cañaveralejo de la ciudad de Cali se generan en promedio 150 toneladas por día de biosólidos del cual, en promedio, 20,000 m³ de lodo y grasa por año provienen de empresas que realizan mantenimiento y limpieza de redes de alcantarillado, baños, entre otros. Estos residuos son transformados en acondicionador de suelos y compost.

Los aceites residuales que son aprovechados en la región principalmente provienen del sector hidrocarburos. La cantidad declarada por el gestor que hizo parte del estudio oscila entre 75 y 500 galones por día.

La cantidad de lodo y grasa que es dispuesta sin ningún tratamiento en la PTAR municipal o en el relleno sanitario Colomba el Guabal es 1,379 m³/mes en promedio lo que representa en el año 16,545 m³ de lodo doméstico e industrial aproximadamente y en el relleno sanitario

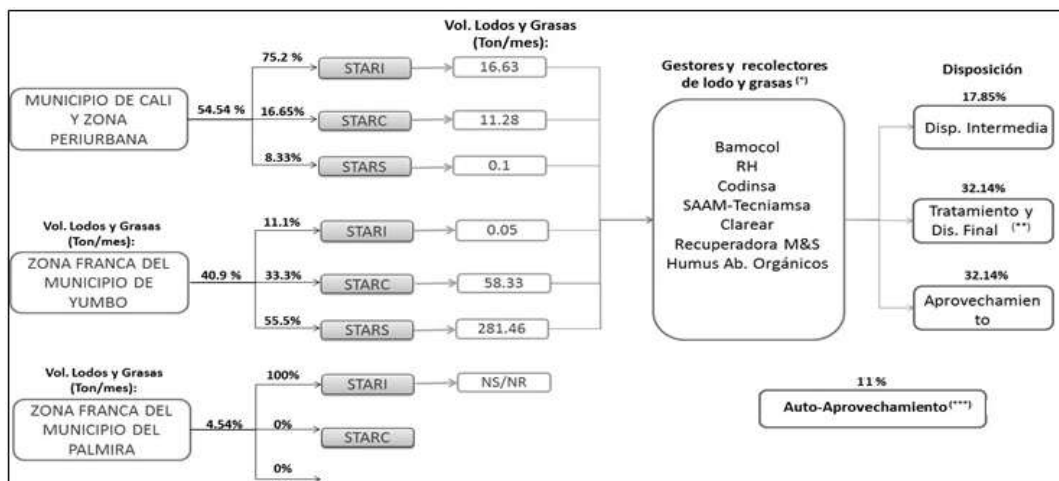


Figura 4. Flujo de lodos y grasas en el sector de estudio

(*) La lista de gestores se conformó con la información recopilada en las entrevistas y asciende a 28 operadores; sin embargo, la lista de gestores, recolectores y aprovechadores en el Valle autorizados por la autoridad ambiental (CVC) asciende a 22.

(**) El tratamiento de lodos y grasas involucra el acondicionamiento (reducción de humedad) y la disposición en celdas de seguridad o incineración.

(***) Se menciona auto-aprovechamiento o aprovechamiento in-situ.

Presidente son dispuestas en promedio 5,320 toneladas al mes de lodos y grasas.

En el relleno sanitario Presidente son depositados en celdas de seguridad en promedio 200 toneladas al mes de ceniza y 242.5 toneladas por mes que ha sido sometidos al proceso de incineración por contener características peligrosas.

Al procesar la información recolectada en las etapas I y II no fue posible compararlas entre ellas debido a que los gestores cubren un área de operación mayor a la zona de estudio de esta investigación, por lo tanto, los diagramas de flujo se presentan en análisis separados.

En la etapa I se identificó que las cantidades de lodo y grasa aprovechadas y transformadas como acondicionador de suelo (compost o humus) de las industrias seleccionadas es 68,592 toneladas por mes. En la Etapa II se identificó que la PTAR Cañaveralejo del municipio de Cali es una de las principales receptoras de lodo y grasa para transformarlos en acondicionador de suelos. También se identificó que Argos S.A. aprovecha aproximadamente 3,000 toneladas al año de lodo como enmienda para sus materias primas.

En la Figura 4 se presenta la población de estudio, agrupados por tipo de STAR y código CIU. Se puede observar que la disposición que se le realiza a los lodos es principalmente para aprovechamiento y disposición en celdas de seguridad o incineración y que las empresas son mayoritariamente de los municipios de Cali y Yumbo (ACOPI). El lodo se genera principalmente en Yumbo y son en STAR con tratamiento separado para el agua industrial.

5. Conclusiones

Uno de los aspectos más importantes identificados durante la investigación fue la necesidad de generar un marco legal que reglamente la acción de los generadores de

residuos no peligrosos provenientes de sistemas de tratamiento de agua residual, de tal forma que se incentive su aprovechamiento y se oriente a los generadores respecto a las propiedades físicas, químicas y biológicas de los lodos y grasas y sus potenciales alternativas de aprovechamiento y reúso.

Una de las deficiencias de la cadena logística de aprovechamiento de los lodos y grasas generado en los STARS de estas industrias es su recolección y transporte. Esto se debe a que las principales empresas de aprovechamiento no prestan este servicio. Por lo que para los generadores es más rentable contratar el servicio de disposición intermedia o final.

6. Agradecimientos

Se agradece a la empresa Bamocol S.A. y a la Universidad del Valle su apoyo para la realización de esta investigación.

7. Referencias

- (1) Zeller V, Towa E, Degrez M y Achten W. Urban waste flows and their potential for a circular economy model at city-region level. *Waste Management*. 2018;83:83-94. Doi: 10.1016/j.wasman.2018.10.034.
- (2) Althaf A, Babbitt C y Chen R. Forecasting electronic waste flows for effective circular economy planning. *Resources, Conservation & Recycling*. 2019;151:104362. Doi: 10.1016/j.resconrec.2019.05.038.
- (3) Ilankoon I, Ghorbani Y, Chong M, Herath G, Moyo T y Petersen J. E-waste in the international context – A review of trade flows, regulations, hazards, waste management strategies and technologies for value recovery. *Waste Management*. 2018;82:258-275. Doi:

- 10.1016/j.wasman.2018.10.018.
- (4) Odeyingbo A, Nnorom I y Deubzer O. Used and waste electronics flows into Nigeria: Assessment of the quantities, types, sources, and functionality status. *Science of Total Environment*. 2019;666:103-113. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.02.102.
- (5) Camilleri-Fenech M, Oliver-Sola J, Farreny R y Gabarrell X. Where do islands put their waste? e A material flow and carbon footprint analysis of municipal waste management in the Maltese Islands. *Journal of Cleaner Production*. 2018;195:1609-1619. Doi: 10.1016/j.jclepro.2017.07.057.
- (6) Guo H, Zhao Y, Damgaard A, Wang Q, Lu W, Wang H, Christensen TH. Material flow analysis of alternative biorefinery systems for managing Chinese food waste. *Resources, Conservation & Recycling*. 2019;149:197-209. Doi: 10.1016/j.resconrec.2019.05.010.
- (7) Islam T y Huda N. Material flow analysis (MFA) as a strategic tool in E-waste management: T Applications, trends and future directions. - *Management*. 2019;244:344-361. Doi: 10.1016/j.jenvman.2019.05.062.
- (8) Makarichi L, Techato K y Jutidamrongphan W. Material flow analysis as a support tool for multi-criteria analysis in solid T waste management decision-making. *Resources, Conservation & Recycling*. 2018;139:351-365. Doi: 10.1016/j.resconrec.2018.07.024.
- (9) Zhang L y Xu Z. A critical review of material flow, recycling technologies, challenges and future strategy for scattered metals from minerals to wastes. *Journal of Cleaner Production*. 2018;202:1001-1025. Doi: 10.1016/j.jclepro.2018.08.073.
- (10) Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. *Empresas-con-licencia-de-CVC-para-manejo-de-respel*. Santiago de Cali: CVC; 2014. Base de datos de gestores autorizados por CVC.
- (11) Departamento Administrativo Nacional de Estadística. *Clasificación industrial internacional uniforme de todas las actividades económicas - Revisión 4 adaptada para Colombia*. Bogotá DC: DANE; 2009.
- (12) Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. *Decreto 1076 de 2015 - Decreto único reglamentario del sector ambiente y desarrollo sostenible*. Bogotá DC: MADS; 2015.
- (13) Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. *Gestión integral de residuos o desechos peligrosos, bases conceptuales*. Bogotá DC: MADS; 2007.