

**ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL POR DISPOSICIÓN DEL ACEITE
VEGETAL EN LAS AGUAS DE DESECHO Y USO ALTERNATIVO DEL MISMO
PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL**

**BRANDON RENAN ALFONSO CASTAÑEDA
JEISON YAIR SOLANO SOLANO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BUCARAMANGA**

2017

**ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL POR DISPOSICIÓN DEL ACEITE
VEGETAL EN LAS AGUAS DE DESECHO Y USO ALTERNATIVO DEL MISMO
PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL**

**BRANDON RENAN ALFONSO CASTAÑEDA
JEISON YAIR SOLANO SOLANO**

Trabajo de grado para optar por el título: Ingeniero de Petróleos

Director:

**JOHN ALEXANDER LEÓN PABÓN
M. Sc en Ingeniería de Hidrocarburos**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BUCARAMANGA**

2017

DEDICATORIA

A Dios, quien con su gracia me brinda la oportunidad de estudiar, y eligió para mí una familia llena de amor y principios, los cuales se ven reflejados en este logro.

A mis padres, Oswaldo y Rosario, quienes con su paciencia, amor, constancia y Perseverancia para me han apoyado.

A mis hermanos Oswaldo, Yoici y Dwil quienes han hecho parte de mi motivación y constancia.

A mi segunda familia, Erika, Lina y Tia Ariela quienes me guiaron a través de este camino y quienes siempre se han esmerado por mi formación personal y académica. Quienes en momentos de dificultades me brindaron una palabra de motivación.

A Iso, con quien logre una estabilidad académica y personal, quien me acompañó en los momentos de dificultades de esta fase final de una etapa de mi vida que recordare por siempre. Muchas gracias!!

A mis compañeros y colegas de oficio, Jota, Jessica, Jose, Vero, Brayan, Holger, Andres, Elver, Tavo y Brandon. Que de una forma u otra hicieron esto posible. Y obviamente a mis amigos de batalla cultural como son: Emilio, Diyan, Show, Elian, kendy, Liz Jhon F y Edgardo.

Finalmente, a todos aquellos que, desde aquel abril de 2008, compartieron experiencias que son parte de mi vida y mi formación en el Alma Mater: ¡gracias a todos!!!

Jeison Solano

DEDICATORIA

A Dios,

Fiel acompañante de todas las aventuras y desafíos durante el desarrollo de mi carrera y mi proyecto de grado, quien siempre es incondicional y jamás me dejó solo, quien siempre me dio la oportunidad de levantarme y ver un nuevo día, de tener un plato de comida, de tener a mi familia con salud y dándome su apoyo.

A mi papito Renan Alfonso,

A mi papito, quien siempre está a mi lado brindándome su incondicional apoyo, quien siempre me ha dado un ejemplo de fidelidad con la profesión de ser padre

A mi mamita Sonia Castañeda, su esposo Javier García y mi hermanita

Daniela García,

A mi mamita, principal gestora de este logro, por su apoyo, por trasmitirme sus valores, sus consejos, por siempre tener confianza en mí y siempre buscar la manera para convencerme y no dejarme retroceder en busca de mis objetivos y mis sueños.

A Javier, persona con la que cuento en todo instante para recibir un consejo y que a su vez me sirve como ejemplo de cómo se debe actuar con honestidad y transparencia en las diferentes circunstancias de la vida.

A mi hermanita,

Persona que influye en mis decisiones a futuro y en la cual encuentro como inspiración a trasmitirle cosas positivas, de esta manera potenciando mis ganas de salir adelante y cumplir mis objetivos.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos primero a Dios por su gran misericordia y por guiarnos día a día en la dirección de nuestras metas.

Al Ingeniero John Alexander León Pabon, por apoyar el desarrollo de la investigación que termino en la publicación del presente estudio, quien sin barrera alguna y con calidad humana nos permitió solventar circunstancias a lo largo del proceso de investigación.

Agradecemos a la Universidad Industrial de Santander por ser la institución que nos recibió como parte de su familia, así mismo a la facultad de ingenierías físico-químicas haciendo parte de la escuela de ingeniería de petróleos, en la cual tuvimos la oportunidad de adquirir conocimientos académicos y especialmente conocimientos sobre la vida que seguramente repercutirán de manera positiva en nuestros futuros.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	18
1. FORMULACIÓN Y DECLARACIÓN DEL PROBLEMA	21
2. MARCO TEORICO	23
2.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS.....	23
2.2 ACEITE VEGETAL	24
2.2.1 Características	24
2.3 ACEITE VEGETAL USADO (AVU)	25
2.4 INDICADORES FISICO-QUÍMICOS.....	26
2.4.1 Métodos y parámetros de medición fisicoquímicos.....	27
2.4.1.1 Potencial de Hidrogeniones o pH.....	27
2.4.1.2 DQO.....	27
2.4.1.3 DBO ₅	28
2.4.1.4 SST	29
2.5 USOS ALTERNATIVOS DEL ACEITE VEGETAL	31
2.5.1 Biodiesel	31
2.5.1.1 Ventajas del biodiesel	32
2.5.1.2 Desventajas del biodiesel	33
3. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	36
3.1 REACTIVOS	36

3.2 METODOLOGÍA	36
3.3 SELECCIÓN DE PRUEBAS DE LABORATORIO	37
3.4 DISEÑO EXPERIMENTAL.....	38
3.4.1 Factores, variables y parámetros que tienen alguna influencia el experimento	38
3.4.1.1 Factores, variables y parámetros controlables que afectan el experimento.	38
3.4.1.2 Factores, variables y parámetros no controlables.....	39
3.4.2 Esquema del trabajo del laboratorio	39
4. PRUEBAS Y PROCEDIMIENTOS EN EL LABORATORIO.....	41
4.1 pH	41
4.1.1 Toma y preservación de muestra.....	41
4.1.2 Equipos.....	41
4.1.3 Reactivos	42
4.1.4 Materiales y vidriería	43
4.1.5 Limitaciones e interferencias.....	43
4.1.6 Preparación de estándares de control de calidad.	44
4.1.7 Procedimiento	44
4.1.8 Precisión.	44
4.2 SST.....	44
4.2.1 Toma y preservación de la muestra.....	45
4.2.2 Equipos.....	45
4.2.3 Limitaciones e interferencias.....	46
4.2.4 Preparación de estándares de calidad.....	46

4.2.5 Procedimiento.....	46
4.3 DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO POR REFLUJO CERRADO Y VOLUMETRÍA.....	48
4.3.1 Toma y preservación de la muestra.....	48
4.3.2 Equipos.....	49
4.3.3 Reactivos.....	49
4.3.4 Materiales.....	52
4.3.5 Limitaciones e interferencias.....	52
4.3.6 Procedimiento de análisis.....	53
4.4 DBO ₅	55
4.4.1 Toma y preservación de la muestra.....	55
4.4.2 Materiales y equipos.....	56
4.4.3 Reactivos.....	57
4.4.4 Procedimiento.....	59
4.5 GRASAS Y ACEITES.....	65
4.5.1 Toma y preservación de muestra.....	65
4.5.2 Materiales y equipos.....	65
4.5.3 Reactivos.....	66
4.5.4 Limitaciones e interferencias.....	67
4.5.5 Procedimiento.....	68
5. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	70
5.1 RESULTADOS.....	74
6. PROCEDIMIENTO GENERAL DE MITIGACIÓN.....	80

6.1 MECANISMO DE RECOLECCIÓN DE ACEITES VEGETALES USADO	81
7. OBTENCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE AVU	84
7.1 TECNOLOGÍA ACTUAL DE TRANSESTERIFICACIÓN PARA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL.....	84
7.1.1 Transesterificación alcalina.....	84
7.1.2 Transesterificación acida	85
7.1.3 Transesterificación con catálisis enzimática	86
7.2 ETAPAS EN LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE AVU	86
7.2.1 Formación del Metoxido en tanque de mezcla (Metanol + Catalizador).	87
7.2.2 Reactor agitado.....	88
7.2.3 Separación Ester Met/Glicerol	88
7.2.4 Neutralización (agregado de ácido Fosfórico).....	89
7.2.6 Centrifugación.....	90
7.2.7 Secado de Biodiesel	90
8. ENCUESTA	91
9. CONCLUSIONES	93
10. RECOMENDACIONES.....	95
BIBLIOGRAFIA.....	97
ANEXOS	101

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Escala de la clasificación de la Calidad del agua, conforme a la Demanda Química de Oxígeno (DQO).	28
Tabla 2. Escala de clasificación de la Calidad del agua conforme a la Demanda Bioquímica de Oxígeno.	29
Tabla 3. Esquema de variación de concentración en laboratorio.....	39
Tabla 4. Características típicas en sistemas de medición de pH.....	42
Tabla 5. Parámetros evaluados y sus límites permisibles según el Resolución 0631 de 2015.	71
Tabla 6. Parámetros evaluados y sus límites permisibles según el Resolución 0631 de 2015.	72
Tabla 7. Parámetros evaluados y sus límites permisibles según el Resolución 0631 de 2015.	73
Tabla 8. Parámetros evaluados y sus límites permisibles según el Resolución 0631 de 2015.	74
Tabla 9. Resultados de Potencial de Hidrogeniones o pH.....	75
Tabla 10. Resultados de Sólidos Suspendidos Totales (SST).....	76
Tabla 11. Resultados de DBO5	76
Tabla 12. Resultados de DQO	77
Tabla 13. Resultados de Grasas Y Aceites.	78
Tabla 14. Resultados de encuesta realizada.	91

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Sistema de recolección de aguas residuales domésticas.....	25
Figura 2. Esquema de etapas metodológicas.....	37
Figura 3. Botella plástica para reciclar.....	82
Figura 4. Diagrama de flujo - Producción de biodiesel.....	86

ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Informe de resultados quimicos de consultas industriales.....	101
Anexo B. Formato de encuesta en conocimiento y uso del AVU.....	107

RESUMEN

TITULO: “ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LA DEPOSICIÓN DEL ACEITE VEGETAL EN LAS AGUAS DE DESECHO”.*

AUTORES: BRANDON RENAN ALFONSO CASTAÑEDA
JEISON YAIR SOLANO SOLANO**

PALABRAS CLAVES Aceite vegetal, SST, DQO, DBO₅, grasas y aceites, pH

CONTENIDO

Se realizó un estudio experimental con el propósito de determinar el impacto ambiental de la deposición del aceite vegetal en las aguas de desechos. Los parámetros fisicoquímicos analizados en el estudio de laboratorio fueron, grasas y aceites, SST, DQO, DBO₅ y pH.

El diseño experimental de la investigación comprendió: 1) Recopilación de información bibliográfica. 2) Selección de pruebas y/o variables de laboratorio. 3) Determinación del impacto ambiental y 4) Procedimientos y estrategias de reducción de impacto ambiental.

Se evidencia a través de los resultados altos valores en los parámetros SST, DQO, DBO₅, Grasas y aceites, con valores entre 601-619 mg/L, 46762-106575 mg O₂/L, 19764-17172 mg O₂/L, 49702-301241 mg/L, respectivamente. Que sobrepasan los límites aceptados por el ministerio de ambiente en Colombia de manera abrupta, indicando la afección del cuerpo de agua superficial por parte de materia orgánica no biodegradable, la cual es resistente a la descomposición microbiana, lo que representa riesgo de vida para las especies vegetales y animales.

Finalmente, los resultados de pH de las aguas residuales en presencia de aceite vegetal usado no presentan variación considerable, encontrándose en el rango entre 6,72 y 6,94 para concentraciones entre el 5% v/v y 25% v/v respectivamente, lo cual está dentro de un rango considerado como neutro y que permite el desarrollo de la fauna y la flora de manera normal.

* Trabajo de grado

** Facultad de ingenierías físico-Químicas, Ingeniería de Petróleos, Ing. Petróleos M.Sc John León Pabón

ABSTRACT

TITLE: "ANALYSIS OF THE ENVIRONMENTAL IMPACT BY DISPOSAL OF VEGETABLE OIL IN THE WASTE WATER AND ALTERNATIVE USE THEREOF FOR THE PRODUCTION OF BIODIESEL".*

AUTHORS: BRANDON RENAN ALFONSO CASTAÑEDA
JEISON YAIR SOLANO SOLANO**

KEY WORDS Vegetable oil, SST, COD, BOD5, fats and oils, pH

CONTENT

An experimental study was carried out with the purpose of determining the environmental impact of the deposition of vegetable oil in wastewater. The physicochemical parameters analyzed in the laboratory study were, fats and oils, SST, COD, BOD5 and pH.

The experimental design of the research included: 1) Collection of bibliographic information. 2) Selection of tests and / or laboratory variables. 3) Determination of the environmental impact and 4) Procedures and strategies to reduce the impact on the environment.

The results showed high values in the parameters SST, COD, BOD5, Fats and oils, with values between 601-619 mg / L, 46762-106575 mg O₂ / L, 19764-17172 mg O₂ / L, 49702- 301241 mg / L, respectively. They exceed the limits accepted by the Ministry of Environment in Colombia abruptly, indicating the condition of the body of surface water by non-biodegradable organic matter, which is resistant to microbial decomposition, which represents life threat to Vegetables and animal's species.

Finally, the pH results of the waste water in the presence of used vegetable oil do not present considerable variation, being in the range between 6.72 and 6.94 for concentrations between 5% v / v and 25% v / v respectively, which is within a range considered as neutral and allows the development of fauna and flora in a normal way.

* Graduate project

** Faculty of physical-chemistry engineering's, petroleum engineer, petroleum eng M.sc John León Pabón

INTRODUCCIÓN

La creciente contaminación ambiental está actualmente ganando más y más atención alrededor del mundo debido al entendimiento y sensibilización ambiental de todos los habitantes del planeta para la protección y preservación del medio ambiente.

Se señala como el principal responsable del calentamiento global al dióxido de carbono. Pues la quema excesiva de los combustibles fósiles en las plantas generadoras de electricidad y por el transporte automotor ha incrementado el lanzamiento de emisiones de CO₂ a la atmósfera, así también el rápido avance industrial de los centros urbanos. Por ello se ha generado una creciente preocupación para el hombre el intentar disminuir la continua degradación del medio ambiente.¹

En la búsqueda de disminuir la degradación ambiental se han desarrollado combustibles alternos a partir de las biotecnologías, a través de la producción de biocombustibles de contenido energético comparable con el de los combustibles fósiles².

Existen muchos procesos conocidos para la obtención de biocarburantes, estando algunos de ellos implantados a nivel industrial (biocarburantes). Dentro de los biocarburantes de primera generación destaca el biodiesel, compuesto por ésteres monoalquílicos de cadena larga y obtenido a partir de la transesterificación de ácidos grasos, principalmente de origen vegetal.

¹ URIBE GÓMEZ, Morayma. Simulación de una planta piloto para la producción de biodiesel en el laboratorio de operaciones unitarias de la esiqie. México D.F.2010.

² D.CASTILLO., "Vialidad de los biocombustibles y bioetanol". 2009.

El biodiésel se perfila como un sustituto de los actuales combustibles de automoción, debido a que presenta propiedades semejantes a estos y puede emplearse en los motores de combustión interna que se utilizan con los carburantes convencionales³.

El deterioro o la conservación del recurso hídrico se deben en gran parte a estilos de vida y prácticas tanto a nivel de unidades económicas como también a nivel doméstico. De esta manera, una ciudad responsable y eficaz ambientalmente no es la que tiene grandes obras hidráulicas si no la que es habitada por ciudadanos que buscan alternativas tanto para utilizar el agua de manera racional como para conservar su calidad y evitar su contaminación. Tal es el caso de la gestión de los residuos, los cuales se vuelven una preocupación mientras no se les dé un buen manejo y disposición adecuada. Sin embargo, estos pueden volverse una alternativa de prevención a través de la recolección y posteriormente su reutilización para la generación de nuevos productos como es el Biodiesel, cambiando su concepto generalizado de deshecho a un residuo que es en realidad un costo de oportunidad.

El aceite vegetal resulta imprescindible en las cocinas de la mayoría de las viviendas y unidades económicas para freír alimentos, por lo que su consumo es continuo y así mismo los residuos contaminantes se generan en mayor abundancia. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la minimización del vertimiento inadecuado de los residuos de aceite generados requiere también concienciación y sensibilización⁴.

³ SUÁREZ MARCOS, Irene. Transesterificación de aceites vegetales con metanol utilizando catalizadores mesoestructurados funcionalizados con grupos sulfónicos. Móstoles, España. 2010.

⁴ VARGAS DORADO, Mabel Cristina. SOLARTE URBANO, Natalia. Diseño de las estrategias de recolección del aceite de cocina usado para su reutilización en la producción de biodiesel en cuatro (4) barrios de la ciudad de Cali. Santiago de Cali. 2013.

Lo cual puede ser posible llevando a cabo un estudio en una muestra selecta de aguas contaminadas por aceite vegetal que permitan por medio de pruebas de laboratorio determinar el impacto que genera la deposición del aceite vegetal usado en las aguas de desecho.

1. FORMULACIÓN Y DECLARACIÓN DEL PROBLEMA

La preocupación global por la escasez de los hídricos y su contaminación, además de otros problemas ambientales, han causado unos recientes esfuerzos nacionales e internacionales por generar normas y políticas que se encarguen de evitar el deterioro de este recurso; con este mismo fin, se ha hecho necesario encontrar fuentes alternativas de energía y procesos para combatir las fuentes de contaminación al ambiente.

Colombia es uno de los países que cuenta con más recursos hídricos a nivel mundial, por esta misma razón no es ajeno a las problemáticas ambientales que afectan este recurso y a la contaminación desmedida por parte de la industria y del común, que genera peligro para este recurso.

El aceite vegetal es un producto que se usa a lo largo del territorio nacional tanto en la industria para jabones, cosméticos y otros, como en el común en general para usos gastronómicos, para realizar procesos de fritura de alimentos y algunos otros usos en menor proporción; éste producto luego de ser usado (AVU) se ha detectado como un potencial riesgo para los suelos y las aguas superficiales, exaltando sobretodo el riesgo para las aguas debido a que en la mayoría de los casos es depositado de manera inconsciente en los desagües y cañerías, caseros e industriales en lo que conocemos como aguas residuales que posteriormente llegaran al alcantarillado, en donde se les debería hacer un tratamiento para que cumplieran las normas que dicta el ministerio de medio ambiente y poder ser vertidas en cuerpos de aguas superficiales, normas que generalmente no se cumplen.

El hecho de que no exista un control sea estricto, correcto y que además se cumpla sobre cómo se dispone del AVU, genera que este termine en los ríos y afluentes, donde se conoce a grandes rasgos que puede llegar a contaminar “mil litros de agua por un solo litro de AVU, afirmación realizada por el INTI(Instituto Nacional de Tecnología Industrial) en argentina”; Siendo esta una grave problemática, es necesario tener un estudio que permita identificar de manera clara los impactos ambientales más significativos del AVU mediante pruebas de laboratorio, para corregir y/o mitigar las deposiciones en las aguas de desecho.

Sustentar las anteriores afirmaciones mediante pruebas de laboratorio va permitir identificar los parámetros que se afectan en el agua al tener contacto con el AVU, permitiendo que se puedan atacar estos impactos puntuales o en conjunto según los resultados lo indiquen. Otra ventaja tangible de sustentar y corroborar esa contaminación que se sabe existe, pero a su vez se tiene un vacío de información de la misma, es sustentar en una investigación contundente de porque es necesario evitar que los AVU lleguen a las aguas residuales y por el contrario se busque una solución alternativa para el uso de los AVU. Un ejemplo de ello el biodiesel generado a partir de los mismos.

2. MARCO TEORICO

2.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS

El agua, un recurso renovable, quizás el más abundante en Colombia que en otros países, y del que se cree o se creía hasta hace algunos años inagotable, hoy sufre una crisis la cual no se fundamenta únicamente en su agotamiento progresivo debido al cambio climático, su calidad y cantidad se ven afectadas tal vez en mayor grado por la precaria gestión y por la contaminación que sufren los ríos con desechos industriales y domésticos que entre sus componentes tiene el aceite quemado como uno de sus contaminantes. El deterioro o la conservación del recurso hídrico se deben en gran parte a estilos de vida y prácticas tanto a nivel de unidades económicas como también a nivel doméstico⁴.

Los aceites vegetales constituyen la fuente y materia prima principal en la producción del Biodiesel. Este resulta de un proceso de transesterificación, por el cual los ácidos grasos esterificados a un poli alcohol como la glicerina se transfieren a un mono alcohol como el metanol o el etanol, siendo la forma metilester la más producida a escala mundial. Sin embargo, la producción del Biodiesel en la forma del etil-ester está aumentando cada día más debido a la fácil obtención del etanol a bajo costo a partir de fuentes renovables⁵.

⁵ AVILA GÓMEZ, Adrián E. Desarrollo de la cinética química de la reacción de transesterificación de la oleína de palma. Barranquilla.2006.

2.2 ACEITE VEGETAL

Los componentes a partir de los cuales se elaboran los aceites son de frutos o semillas. En realidad, todos los frutos y semillas contienen aceite, pero sólo los llamados oleaginosos sirven para la producción industrial de aceite. Entre las semillas de plantas cultivadas por su aceite, las más conocidas son: el cacahuete, la colza, el ricino, la soja y el girasol. A estas se deben agregar las plantas cultivadas para la producción de fibras textiles y en segundo lugar aceite: algodón y lino principalmente. En cuanto a los frutos oleaginosos, estos provienen principalmente del cocotero (copra), del nogal, de la palma de aceite (palma y palmito) y del olivo (aceitunas).

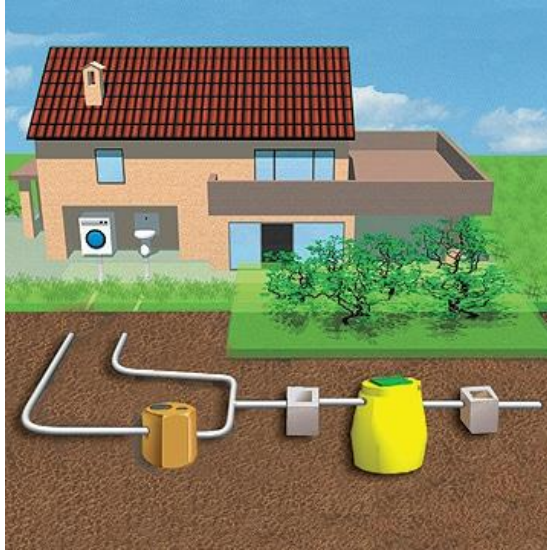
2.2.1 Características. La composición química de los aceites vegetales corresponde en la mayoría de los casos a una mezcla de 95% de triglicéridos y 5% de ácidos grasos libres, de esteroides, ceras y otros componentes minoritarios. Los triglicéridos son tri-ésteres formados por la reacción de ácidos grasos sobre las tres funciones como alcohol del glicerol.

Clasificación: Los aceites vegetales pueden dividirse en cuatro grandes grupos:

- Los aceites saturados: índices de yodo de 5-50 o Lóricos: copra, palmito, babasú (etc.) o Palmíticos: palma o Esteáricos: karité
- Los aceites monoinsaturados: índices de yodo de 50-100 u Oleicos: aceituna, cacahuete, colza, sésamo, jatropha curcas.
- Los aceites biinsaturados: índices de yodo de 100-150 o Linoleico: girasol, algodón, maíz, soja, etc.
- Los aceites triinsaturados: índices de yodo >150 Desde el punto de vista "calidad" del carburante, mientras más saturado es el aceite, mejor es. Sin embargo, estos aceites saturados son sólidos a temperaturas elevadas.

2.3 ACEITE VEGETAL USADO (AVU)

Figura 1. Sistema de recolección de aguas residuales domésticas



FUENTE: TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Tratamiento de aguas residuales domesticas [en línea] disponible en: <http://tratamientodeaguasresiduales.net/tratamiento-de-aguas-residuales-domesticas/>

Las aguas residuales domésticas son producto de la utilización del líquido en las diferentes actividades de un hogar, las cuales producen un nivel de contaminación al agua que puede manifestar la presencia de sólidos, desechos orgánicos, detergentes, jabones y grasas, lo que precisa de un proceso para su eliminación.

El aceite vegetal usado (AVU) es un residuo contaminante que puede ser utilizado como materia prima para la producción del Biodiesel. Esto significa que el aceite que utilizamos para cocinar puede convertirse en un combustible.

El AVU es un residuo problemático si no se cuenta con un adecuado manejo. Cuando este residuo es vertido por desagües, arrojado a basuras presenta graves consecuencias ambientales: como lo son deficiencia en la depuración de aguas

residuales, pérdidas de ecosistemas naturales, obstrucción de cañerías, olores ofensivos, proliferación de insectos y roedores.

Como también si no es gestionado con una empresa responsable este puede llegar a ser re-embalsado y devuelto al mercado, ocasionado afectaciones importantes a la salud del ser humano que lo consume.

Por lo anterior aprovechar el aceite usado de cocina como materia prima para producir Biodiesel es una tarea significativa ya que reduce los daños ambientales, de salud pública y sobre costos económicos. Además, Los AVU constituyen una alternativa muy ventajosa frente a otras materias primas para la producción de biodiesel.

Aproximadamente por cada 1.2 litros de AVU se puede producir un litro de Biodiesel⁶.

2.4 INDICADORES FISICO-QUÍMICOS⁷

Para Evaluar la calidad de agua se han implementado metodologías que involucran varios parámetros fisicoquímicos, las cuales son agrupados, para ser interpretados de una forma más sencilla, tal es el caso de los índices de calidad de agua y los índices de contaminación del agua (ICO's).

La utilización de métodos fisicoquímicos, a diferencia de hidrobiológicos permite un análisis más rápido y a su vez que puedan ser monitoreados con mayor

⁶PÁEZ, Leonela. Sistema de recolección de aceite vegetal usado para la producción de Biodiesel. Revista Red de Desarrollo Sostenible. 2016.

⁷ ANAYA ACEVEDO, Javier Armando. Análisis de la calidad de agua del río de oro aplicando índices de contaminación (ico's) en la zona de influencia del barrio la colina campestre en el municipio de Piedecuesta-Santander. Bucaramanga. 2013

regularidad, generando una serie de datos que involucran más de una variable para posterior interpretación y análisis.

Teniendo en cuenta lo anterior, los criterios de la calidad del agua se refieren a las concentraciones de los constituyentes que, si no exceden la normatividad, permitirán concluir que el ecosistema acuático es apropiado para los múltiples usos del agua. Dichos criterios se derivan de investigaciones y hechos científicos obtenidos de la experimentación o de observaciones in situ sobre la respuesta de organismos sometidos a estímulos definidos bajo condiciones ambientales reguladas en un período de tiempo específico.

2.4.1 Métodos y parámetros de medición fisicoquímicos⁸.

2.4.1.1 Potencial de Hidrogeniones o pH. El pH mide la concentración de iones libres de hidrógeno en el agua. Un nivel de pH de 7,0 se considera neutro. El agua pura tiene un pH de 7,0. El agua con un nivel de pH menor a 7,0 se considera ácida. Entre más bajo el pH, más ácida es el agua. El agua con un pH mayor a 7,0 se considera alcalina. Entre mayor el pH, mayor es su alcalinidad. Las fuentes de agua dulce con un pH inferior a 5,0 o mayor a 9,5 no soportan vida vegetal, ni especies animales. A su vez su valor es importante en la operación de procesos de tratamiento de agua y aguas residuales y en el control de la corrosión.

2.4.1.2 DQO. Parámetro analítico de contaminación que mide el contenido de materia orgánica en una muestra de agua mediante oxidación química. En este proceso la materia se convierte en CO₂ y H₂O, sin importar que tan asimilable sea biológicamente la sustancia. Es una prueba que involucra oxidación ácida del agua por dicromato de Potasio.

⁸ GÓMEZ PERERIRA, July Paola. Estandarización de cuatro métodos de análisis para la determinación de la alcalinidad total, dureza total, dureza cálcica y cloruros utilizados como indicadores de contaminación en aguas naturales, potables y residuales industriales. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 2013.

Tabla 1. Escala de la clasificación de la Calidad del agua, conforme a la Demanda Química de Oxígeno (DQO).

CRITERIO	CLASIFICACION	COLOR
DQO ≤ 10	Excelente: No Contaminada	Azul
10 < DQO ≤ 20	Buena Calidad: Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable y no biodegradable	Verde
20 < DQO ≤ 40	Aceptable: Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente.	Amarillo
40 < DQO ≤ 200	Contaminada: Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal	Naranja
DQO > 200	Fuertemente contaminada: Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales	Rojo

Fuente: Atlas de la cuenca Lerma-Chapala. Evaluación de la Calidad del Agua.

2.4.1.3 DBO₅. Se denomina como la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos en la oxidación de la materia orgánica para producir productos finales estables como CO₂ y H₂O. Es una indicación indirecta del Carbono orgánico biodegradable presente en una masa líquida dada.

Si hay mucha materia orgánica fácilmente biodegradable los organismos aeróbicos crece sin dificultad, al aumentar la población ocurre un descenso en la concentración de Oxígeno Disuelto en el sistema. Es un parámetro que permite (junto con la DQO) reconocer gradientes que van desde una condición relativamente natural hasta un tipo de agua que muestra aportaciones importantes de descargas.

Tabla 2. Escala de clasificación de la Calidad del agua conforme a la Demanda Bioquímica de Oxígeno.

CRITERIO	CLASIFICACION	COLOR
$DBO_5 \leq 3$	Excelente: No Contaminada	Azul
$3 < DBO_5 \leq 6$	Buena Calidad: Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable y no biodegradable	Verde
$6 < DBO_5 \leq 30$	Aceptable: Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente.	Amarillo
$30 < DBO_5 \leq 120$	Contaminada: Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal	Naranja
$DBO_5 \geq 120$	Fuertemente contaminada: Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales	Rojo

Fuente: Atlas de la cuenca Lerma-Chapala. Evaluación de la Calidad del Agua

2.4.1.4 SST. Los sólidos suspendidos totales es un parámetro asociado con pequeñas cantidades de materia orgánica y material disperso en virtud de su naturaleza coloidal ya que no sedimentan por gravedad cuando el agua se encuentra en reposo. Determinan en gran parte el color aparente del agua y la franja aeróbica y fotosintética de un reservorio de agua. El principal interés de este parámetro, asociado con la turbidez del agua natural, se relaciona con la destinación del recurso para el consumo público y con las condiciones de vida de la fauna acuática. Una alta concentración de sólidos producirá disturbios en el crecimiento de los huevos de los peces, modifica su movimiento natural, su migración y reduce la abundancia de alimentos.

2.4.1.5 Grasas y aceites⁹. Se define como aceites y grasas a cualquier material recuperado como sustancia soluble en un solvente. Incluye otros materiales extraídos por el solvente de muestras acidificadas (tales como compuestos azufrados, ciertos pigmentos orgánicos, y clorofila) y no volatilizados durante la prueba. Algunas sustancias extraíbles, como los ácidos grasos y grasas insaturadas, se oxidan rápidamente, de ahí, se incluyen precauciones especiales para minimizar este efecto.

Se utiliza el método de partición gravimétrica líquido/líquido, basado en la técnica del Standard Methods 5520B, para determinar la concentración de aceites y grasas en muestras líquidas. Los aceites y grasas disueltas o emulsificados son extraídos del agua por contacto íntimo con un solvente extractor. El solvente es n-hexano al 85% o una mezcla de solventes (80% n-hexano y 20% metil-terbutil éter) para el método gravimétrico. Se determina el contenido de aceites y grasas en la muestra inicial por diferencia gravimétrica.

Los solventes orgánicos agitados con algunas muestras pueden formar una emulsión difícil de romper. Este método incluye una forma de manejar esas emulsiones.

Se recomienda en lo posible reciclar el solvente, ya que la recuperación de este reduce la emisión de vapores a la atmósfera y los costos de suministro de solvente.

⁹ STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER. Method 5520 B. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. 21st. ed., New York, 2005. pp 5-37.

2.5 USOS ALTERNATIVOS DEL ACEITE VEGETAL

2.5.1 Biodiesel. La definición de biodiesel presentada por las especificaciones ASTM (American Society for Testing and Material Standard, asociación internacional de normativa de calidad), lo define como ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de lípidos renovables, tales como aceites vegetales o grasas de animales, y que se utilizan en motores de ignición de compresión. Sin embargo, los ésteres más utilizados, son los de metanol y etanol (obtenidos a partir de la transesterificación de cualquier tipo de aceites vegetales o grasas animales o de la esterificación de los ácidos grasos), debido a su bajo costo y sus ventajas químicas y físicas¹⁰.

El término “bio” hace reseña a su naturaleza renovable y biológica en contraste con el combustible diésel habitual que es derivado del petróleo; mientras que diésel se refiere a su uso en motores de este tipo¹¹.

Se encuentra registrado como combustible y como aditivo para combustibles en la Agencia de Protección del Medio Ambiente (Environment Protection Agency (EPA)), en los Estados Unidos. Este biocombustible puede ser obtenido a partir de aceites vegetales tales como el aceite de maní, palma, soya, girasol y otros aceites vegetales, grasas animales o a partir de aceite residual de frituras. Se utiliza puro (B100 conocido como “diésel verde”), también en mezclas o cortes con diésel orgánico en diferentes concentraciones, la numeración indica el porcentaje por volumen de biodiesel en la mezcla. Una de las concentraciones más usada es del

¹⁰ ROBALINO, Carlos Samuel. y Dra. Manzano, Patricia. Guía para la obtención de biodiesel por medio de Transesterificación de aceites vegetales y animales. Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción. Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). Guayaquil, Ecuador. 2 p

¹¹ URIBE G. Morayma.2010. Simulación de una planta piloto para la producción de biodiesel en el laboratorio de operaciones unitarias de la esiqie. Departamento de Ingeniería química petrolera. Instituto politécnico nacional. México D.F. México. 12 p

20 % es decir 20 partes del biodiesel por 80 de diesel de petróleo, otra forma de decirlo sería con un corte de B20¹².

2.5.1.1 Ventajas del biodiesel¹³

- Tiene propiedades físicas y químicas similares a las del diésel convencional derivado del petróleo, por lo que su utilización no requiere cambio en los motores diésel.
- Mayor poder disolvente, que hace que no se produzca carbonilla ni se obstruyan los conductos y mantiene limpio el motor.
- Empleo de fuentes naturales renovables como materias primas, tales como aceite vegetal usado dando solución al problema de contaminación generada por la inadecuada disposición final y reutilización de dichos aceites.
- Reduce las emisiones de partículas sólidas menores a 10 micrones (PM10), monóxido de carbono, contribuyendo así a la reducción del calentamiento global.
- Es más seguro de transportar y almacenar, ya que tiene un punto de inflamación 100°C mayor que el diésel de origen fósil. El biodiesel podría explotar a una temperatura de 150°C.
- El biodiesel (B100) se degrada de 4 a 5 veces más rápido que el diésel y puede ser usado como solvente para limpiar derrames de diésel.

¹² HERRERA, Juan y VÉLEZ, Julián. 2008. Caracterización y aprovechamiento del aceite residual de frituras para la obtención de un combustible (biodiesel). Escuela de tecnología química. Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, Colombia.8 p.

¹³ STEGER, Eva; GUTIÉRREZ., Joseph, Zambrano M y otros. Soft & Pure Producción de Jabón. Facultad de Ingeniería. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela. 2016.

- Contiene 11% de oxígeno en peso y prácticamente no contiene azufre, por lo que no genera SO₂ (dióxido de azufre), un gas que contribuye en forma significativa a la contaminación ambiental.
- Reduce substancialmente la emisión de la mayoría de agentes contaminantes. Al ser un combustible oxigenado, el biodiesel tiene una combustión más completa que el diésel, su combustión produce menos humo visible y menos olores nocivos y su uso contribuye a disminuir la contaminación del aire.
- El biodiesel no contamina fuentes de agua superficial, porque es altamente biodegradable en el agua.

2.5.1.2 Desventajas del biodiesel¹⁴

- El biodiesel presenta problemas de fluidez y congelamiento a bajas temperaturas (<0°C).
- Los costos de la materia prima son elevados y guardan relación con el precio internacional del petróleo, actualmente es un producto relativamente costoso.
- Los cultivos energéticos, la materia prima, también son empleados como cultivos alimenticios, lo que producen una situación problemática entre el mercado alimenticio y el de los combustibles, deformando los precios y creando un impacto desfavorable en el mercado.
- Debido a que el biodiesel tiene una viscosidad mayor que el diésel pueden existir problemas de pérdidas de flujo a través de los filtros e inyectores.

¹⁴ BIBLIOTECA UNIVERSIDAD DE LOS ANDES. Op. Cit. 24 p.

- La presencia de K y Na puede causar la precipitación de jabones obstruyendo los filtros. Estos se presentan en el Biodiesel debido a un defectuoso proceso de lavado en su producción.
- Por su alto poder solvente, se recomienda almacenar el biodiesel en tanques limpios; si esto no se hace, los motores podrían ser contaminados con impurezas provenientes de los tanques.
- El contenido energético del biodiesel es algo menor que el del diesel (12% menor en peso un 8% en volumen), por lo que su consumo es ligeramente mayor.
- El biodiesel de baja calidad (con un bajo número de cetano) puede incrementar las emisiones de NOx (óxidos de nitrógeno), los cuales contaminan la capa de ozono, pero si el número de cetano es mayor que 68, las emisiones de NOx serían iguales o menores que las provenientes del diesel fósil.
- Posee menor estabilidad a la oxidación que el diesel, debido a que posee dobles enlaces y oxígeno en su molécula. Esto es importante a la hora de almacenar durante mucho tiempo el biodiesel.
- Glicerina Libre y Total. Hay que controlar muy bien los niveles de estos dos parámetros debido a que afectan de forma muy directa la bomba de inyección.

Así entonces este producto está destinado a unos cuantos usos particulares, los cuales son:

- Suministro de generadores de electricidad. El Biodiesel es más económico, además es limpio y renovable para generar electricidad.
- Automóviles modernos de motor diésel.

- Alimentación de vehículos destinados a trabajar con Biodiesel.
- Medio combustible para suministrar calefacción a los hogares en calderas que funcionan con biodiesel, donde pueden operar con Biodiesel (B20), el cual es elaborado con 20% biodiesel y 80% de aceite de petróleo.
- Hay quienes han empleado y reformado sus sistemas de calefacción para operar con Biodiesel (B100), un biocombustible elaborado completamente con aceites vegetales, el cual brinda una quema mucho más limpia que el petróleo convencional.
- Aditivos lubricantes en base a aceite biodiesel, porque es un buen lubricante en comparación al de uso actual en base a petróleo poco sulfurado, los inyectores de combustible y otros tipos de bombas de combustible, pueden perfectamente ser lubricados con aceite biodiesel.
- Por otra parte, el biodiesel disuelve los hidrocarburos por lo que también se ha utilizado para limpiar vertidos de hidrocarburos (por ejemplo, en el accidente del Erika en la costa francesa).

3. DISEÑO EXPERIMENTAL

3.1 REACTIVOS

Para el estudio del impacto ambiental generado por el aceite vegetal usado (AVU) fueron empleados los siguientes reactivos

- Aceite vegetal usado (AVU)
- Agua industrial

El AVU utilizado para la elaboración de las muestras de estudio, fue obtenido mediante un proceso de recolección en diferentes restaurantes y residencias domésticas en la zona metropolitana de Bucaramanga. La recolección total de AVU se aproximó a los 3 galones, con el propósito de obtener una muestra representativa del aceite vegetal usado que es depositado en las aguas residuales.

El agua fue obtenida del suministro de la red de acueducto de la ciudad de Bucaramanga.

3.2 METODOLOGÍA

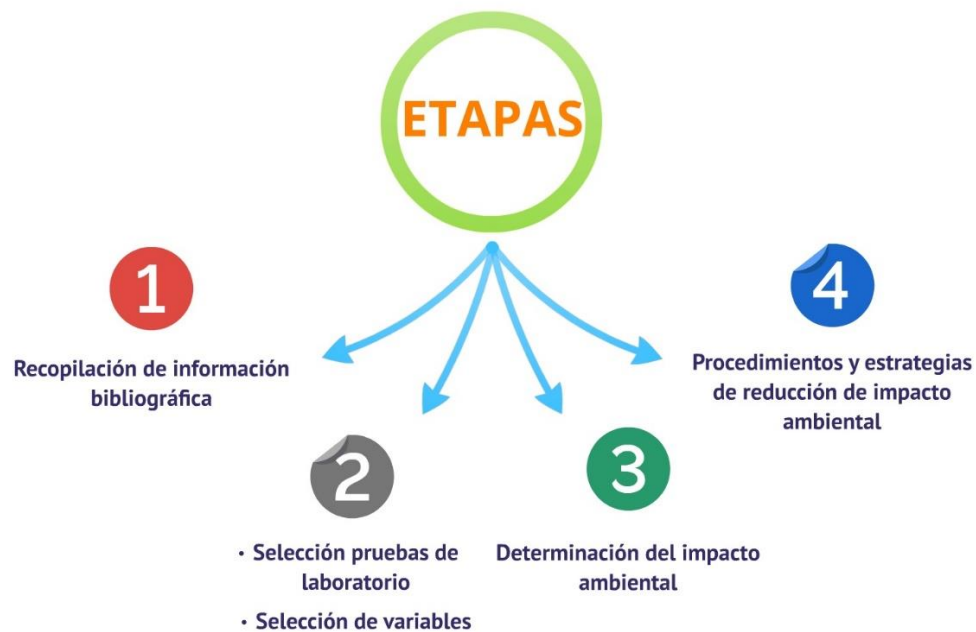
ETAPA 1: En esta etapa se procede a la recopilación de información bibliográfica del aceite vegetal usado y pruebas de laboratorio para la determinación de cambios fisicoquímicos del agua.

ETAPA 2: Se realiza un proceso de selección de las pruebas de laboratorio a implementar, para hacer el desarrollo del diseño experimental teniendo en cuenta las propiedades fisicoquímicas del agua que se desean analizar.

ETAPA 3: Se realiza un análisis de los resultados obtenidos en laboratorio, con el propósito de determinar la variación de las propiedades fisicoquímica como parámetro para medir el impacto ambiental generado por la deposición del aceite vegetal usado.

ETAPA 4: Desarrollo de procedimientos y estrategias para mitigar y/o evitar el impacto ambiental generado por el AVU.

Figura 2. Esquema de etapas metodológicas.



3.3 SELECCIÓN DE PRUEBAS DE LABORATORIO

Apoyados en la recopilación de información y los servicios que presta el laboratorio químico de consultas industriales de la universidad industrial de

Santander se determina que las pruebas adecuadas para medir el impacto ambiental son:

1. Potencial de Hidrogeniones o pH
2. DQO
3. DBO₅
4. SST
5. Grasas y aceites

3.4 DISEÑO EXPERIMENTAL

Tomando como referencia el libro “Diseño y análisis de experimentos-montgomery” cuyo contenido es a gran escala un compendio de consejos y guías de cómo se debe diseñar y analizar un experimento, para que este tenga una validez y sea acorde con las respuestas que busca el autor del diseño.

3.4.1 Factores, variables y parámetros que tienen alguna influencia el experimento. Los factores que tienen influencia sobre un experimento son aquellos que, al ser modificados, se obtiene algún cambio en los resultados o datos que se están midiendo en el experimento en cuestión, estos a su vez pueden ser clasificados como controlables y no controlables, estos últimos teniendo la posibilidad de ser adaptados para que sean controlables en un experimento específico. Todos estos factores serán definidos por el autor del diseño en una mezcla de literatura y experiencia.

3.4.1.1 Factores, variables y parámetros controlables que afectan el experimento.

- Concentración %v/v
- Temperatura °C

- Propiedades del agua y el AVU
- Volumen de la muestra
- Cantidad demuestras
- Repetición de las pruebas

3.4.1.2 Factores, variables y parámetros no controlables.

- Humedad del laboratorio.
- Calidad de los reactivos usados en el laboratorio.

NOTA: Es importante decir que en este experimento únicamente se tendrá variación de la concentración %v/v del AVU que contamina el agua, debido a que los demás factores, variables o parámetros, si pueden tener efecto sobre los resultados de las pruebas anteriormente nombradas, pero dicho efecto será de proporciones mínimas o despreciables para el objetivo de la investigación.

3.4.2 Esquema del trabajo del laboratorio. La metodología utilizada en las pruebas del laboratorio de consultas químicas industriales se rige por los procedimientos consignados en el libro Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, procedimientos que a su vez están compilados en el capítulo 4.

Se realizó un total de 25 pruebas como se muestra en el anexo A. Se varió el parámetro de la concentración 5 veces obteniendo 5 muestras. Posteriormente, a cada muestra se le realizo las 5 pruebas anteriormente nombradas.

Tabla 3. Esquema de variación de concentración en laboratorio.

	PARAMETRO	%v/v (AVU)					PRUEBA
1	Concentración	5	10	15	20	25	pH

	PARAMETRO	%v/v (AVU)					PRUEBA
--	-----------	------------	--	--	--	--	--------

2	Concentración	5	10	15	20	25	DQO
---	---------------	---	----	----	----	----	-----

	PARAMETRO	%v/v (AVU)					PRUEBA
3	Concentración	5	10	15	20	25	DBO5

	PARAMETRO	%v/v (AVU)					PRUEBA
4	Concentración	5	10	15	20	25	SST

	PARAMETRO	%v/v (AVU)					PRUEBA
5	Concentración	5	10	15	20	25	GRASAS Y ACEITES

Los niveles de concentración que se emplearon en el diseño experimental fueron tomados de la literatura, haciendo una escala desde el valor mínimo hasta el valor máximo que se podrían encontrar en las aguas residuales.

4. PRUEBAS Y PROCEDIMIENTOS EN EL LABORATORIO

Este capítulo es una síntesis de los procedimientos que realizó el laboratorio de consultas química industriales de la Universidad Industrial de Santander, laboratorio que prestó sus servicios en el desarrollo de este proyecto. Los procedimientos y desarrollo de pruebas del laboratorio químico de consultas industriales están a su vez guiados del libro Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater y este laboratorio cuenta con las certificaciones y avales pertinentes para dar garantía de los resultados.

Nota: La institución encargada en Colombia de otorgar certificaciones y avales a los laboratorios es el IDEAM.

4.1 pH^{15 16}

4.1.1 Toma y preservación de muestra. Las muestras para determinar pH, deberán ser tomadas en recipientes de polipropileno y asegurándose que estén bien tapadas, se recomienda analizar el pH lo más pronto posible y evitar la exposición al aire, en especial las muestras de aguas alcalinas, ya que el CO₂ del aire, tiende a reaccionar con la alcalinidad de la muestra y variar su pH.

4.1.2 Equipos. Medidor de pH de laboratorio: La tabla 4 muestra las características típicas más importantes de cuatro tipos de aparatos. Cualquier

¹⁵ AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Annual book of Standards 1994 Determinación de pH en el agua. Metodo ASTM D 1293-84 reprobado en 1990

¹⁶ Standard methods for the examination of water and waste water publicado por la APHA. Determinación de pH en agua. Método 4500-H⁺ B 1995

aparato, junto con sus electrodos asociados (vidrio y referencia), pueden ser usados, la elección será de acuerdo a la precisión deseada en la medición.

Tabla 4. Características típicas en sistemas de medición de pH.

	TIPO I	TIPO II	TIPO III	TIPO IV
<i>Escala normal</i>	0 a 14	0 a 14	0 a 14	0 a 14.000
<i>Escala expandida</i>	.	2 unidades de pH	1.4 unidades de pH	.
<i>División de la escala</i>	0.1	0.01	0.01	0.001
<i>Exactitud</i>	+/- 0.05	+/- 0.01	+/- 0.007	+/- 0.002
<i>Repetibilidad</i>	+/- 0.02	+/- 0.005	+/- 0.002	+/- 0.002
<i>Corrección por Temp</i>
<i>Manual o Automática</i>	si	si	si	si
<i>Intervalo en ° C</i>	0 a 100	0 a 100	0 a 100	0 a 100
<i>División menor ° C</i>	2	2	2	2
<i>Corrección - pendiente</i>	-	si	si	si

Fuente: Standard methods for the examination of water and waste water publicado por la APHA. Determinación de pH en agua. Método 4500-H+ B 1995.

4.1.3 Reactivos

- Solución amortiguadora de pH 4.00 a 25 ° C
- Disolver 10.12 g de biftalato de potasio ($\text{KHC}_4\text{H}_4\text{O}_6$) en agua destilada y diluya a un litro.
- Solución amortiguadora de pH 6.86 a 25 ° C.
- Disolver 3.39 g de Fosfato monopotásico (KH_2PO_4) y 3.53 g de Fosfato disódico anhidro (Na_2HPO_4) en agua destilada y diluya a un litro.
- Solución amortiguadora de pH 9.18 a 25 ° C
- Disolver 3.80 g de Tetraborato de sodio decahidratado ($\text{Na}_3\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) en agua destilada y diluya a un litro.
- Estas soluciones deben prepararse con agua destilada y recién hervida durante 15 minutos y enfriada, lo anterior es para eliminar la contaminación del CO_2 disuelto en el agua y evitar crecimientos microbianos.

- Los fosfatos de sodio y potasio y el biftalato de potasio se deben secar a 110 ° C durante 2 horas antes de pesarlas.
- El tetraborato de sodio decahidratado (Bórax) no debe ser secado a la estufa.
- Las soluciones amortiguadoras preparadas, se deben guardar en frascos de vidrio o de polipropileno, bien tapadas y prepararse cada mes.

4.1.4 Materiales y vidriería. Material común de laboratorio para contener la muestra y las soluciones para calibrar:

- Vasos de precipitado.
- probetas ya sean de vidrio o de plástico.

4.1.5 Limitaciones e interferencias. El electrodo de vidrio es relativamente inmune a las interferencias del color, turbidez, material coloidal, cloro libre, oxidantes y reductores. La medición se afecta cuando la superficie de la membrana de vidrio está sucia con grasa o material orgánico insoluble en agua, que le impide hacer contacto con la muestra, por lo anterior se recomienda la limpieza escrupulosa de los electrodos.

En muestras de un pH mayor a 10, se presenta el error del sodio, el cual puede ser reducido utilizando electrodos especiales de bajo error de sodio y haciendo las correcciones indicadas en el instructivo del electrodo.

La temperatura tiene dos efectos de interferencia, el potencial de los electrodos y la ionización de la muestra varían. El primer efecto puede compensarse haciendo un ajuste en el botón de la " temperatura" que tienen todos los aparatos. El segundo efecto es inherente de la muestra y solo se toma en consideración, anotando la temperatura de la muestra y su pH; para más exactitud, se recomienda que la muestra esté a 25 ° C, que es la temperatura de referencia para la medición del pH.

4.1.6 Preparación de estándares de control de calidad.

1. Prenda el medidor de pH y permita que se caliente
2. Mida la temperatura de la solución amortiguadora de pH 6.86 y ajuste el medidor con el botón de Temperatura
3. Inserte los electrodos en la solución de pH 6.86 y ajuste el pH a este valor en el medidor con el botón de calibrar
4. Elevar y enjuagar los electrodos con agua destilada
5. Inserte los electrodos en la solución de pH 4.00 y ajuste el pH a este valor en el medidor con el botón de Pendiente (Slope)
6. Elevar y enjuagar los electrodos con agua destilada.

4.1.7 Procedimiento

1. Una vez calibrado el aparato de medición de pH, se procede a la medición de la muestra.
2. Mida la temperatura de la muestra y ajuste el medidor con el botón de Temperatura.
3. Inserte los electrodos en la muestra y lea el pH correspondiente.
4. Elevar y enjuagar los electrodos con agua destilada.
5. Almacenar los electrodos en solución amortiguadora de pH 7 o menor.

4.1.8 Precisión. La precisión que se puede obtener con una cuidadosa calibración del aparato y electrodos, será de +/- 0.05 unidades de pH.

4.2 SST

4.2.1 Toma y preservación de la muestra. Tome la muestra en tal forma que no contenga partículas flotantes grandes o aglomerados sumergidos de materiales no homogéneos. Utilice frascos plásticos de polipropileno de por lo menos 500 mL de capacidad. Refrigere la muestra a 4°C hasta el momento del análisis para minimizar la descomposición microbológica de los sólidos. Antes de iniciar el análisis, lleve la muestra a temperatura ambiente. Efectúe el análisis dentro de los siete días siguientes a la toma de la muestra.

4.2.2 Equipos.

- Horno digital (ED 53 WTB Binder)
- Balanza analítica de cuatro cifras decimales (Mettler Toledo AG 204)
- Bomba de vacío (Emerson Gast)
- Reactivos
- Agua destilada
- Caolín coloidal USP (United States Pharmacopoeia XIII)
- Materiales y vidriería
- Botellas de Polipropileno.
- Aparato completo para filtración por membrana, fabricado en plástico (policarbonato),
 - para membranas de 47 mm de diámetro, capacidad de 250 mL, para ser utilizado para
 - filtración al vacío o a presión, con recipiente receptor de filtrado.
- Filtros de fibra de vidrio Ref: S&S GF6, diámetro 47 mm, REF 10370019
- Cápsulas de aluminio de 65 mm de diámetro, para pesar.
- Pinzas metálicas para manejo de las cápsulas de aluminio y de los filtros de fibra de vidrio.
- Microespátula metálica para manejo de los filtros de fibra de vidrio.
- Desecador para SST.

- Probetas de vidrio de 100, 250 y 500 mL.
- Frasco lavador.

4.2.3 Limitaciones e interferencias. Antes de iniciar el análisis, retire las partículas gruesas flotantes y los aglomerados sumergidos, de materiales no homogéneos o de naturaleza extraña al resto de la muestra. Debido a que un residuo excesivo en el filtro puede formar una costra que impide el paso del agua, limite el tamaño de muestra suspendiendo la operación de filtrado cuando el tiempo de filtración haya superado los 10 minutos.

4.2.4 Preparación de estándares de calidad. En un vaso de 250 mL coloque alrededor de 10 gramos de caolín y séquelo a 103-105°C durante dos horas, como mínimo. Deje enfriar dentro de un desecador, hasta temperatura ambiente. Prepare las siguientes muestras como control de calidad:

ESTÁNDAR CONTROL Concentración 50 mg/L Prepárelo diariamente. Peso necesario de caolín para preparar 100 mL de suspensión = 0,0050 g. Si mantiene el caolín en el desecador, no se requiere secarlo cada vez. Preparación: Pese directamente en un vaso de 250 mL 0.0050 g de caolín y adicione 100 mL de agua destilada medidos con una probeta. Agite para homogeneizar. Peso esperado de residuo seco = 5 mg

ESTÁNDAR CONTROL Concentración 500 mg/L. Prepárelo diariamente. Peso necesario de caolín para preparar 100 mL de suspensión = 0,0500 g. Si mantiene el caolín en el desecador, no se requiere secarlo cada vez. Preparación: Siga el procedimiento indicado anteriormente para el patrón de 50 mg/L Peso esperado de residuo seco = 50 mg.

4.2.5 Procedimiento.

1. Preparación del filtro o disco de fibra de vidrio: Siempre maneje el disco mediante pinzas metálicas y/o microespátula metálica. No manipule el filtro con la mano.
 - 1.1 Marque cada cápsula de aluminio con un número, de forma consecutiva.
 - 1.2 Coloque el disco sobre el soporte, con el lado rugoso hacia arriba, aplique vacío.
 - 1.3 Lave el disco con tres porciones sucesivas de 20 mL de agua destilada, medidos con probeta.
 - 1.4 Deje el vacío durante 1 minuto adicional para secar el disco.
 - 1.5 Cuidadosamente y con la ayuda de una microespátula o de unas pinzas, retire el disco y colóquelo dentro de la cápsula de aluminio correspondiente.
 - 1.6 Seque el conjunto (cápsula de aluminio + disco) en el Horno precalentado a 105°C por 1 h.
 - 1.7 Lleve el conjunto a un desecador y deje enfriar aproximadamente por 15 minutos, hasta temperatura ambiente.
 - 1.8 Pese y registre el peso del conjunto en el formato correspondiente TF0067, en la columna Tara 1.
 - 1.9 Repita el ciclo de secado, enfriado y pesado. Registre en el formato el nuevo peso. Mantenga el conjunto en un desecador hasta que se vaya a utilizar; registre en columna tara 2.
 - 1.10 La máxima variación aceptada en el peso del conjunto es de cinco unidades en la cuarta cifra decimal. Si se cumple con este requisito se puede decir que se ha alcanzado peso constante. En caso contrario se debe someter a un nuevo ciclo de secado hasta que se cumpla con el requisito anterior (un tercer ciclo de secado se registra en la columna de observaciones).

2. Procesamiento de la muestra.
 - 2.1 Saque del desecador el conjunto correspondiente a la muestra que va a procesar. Instale el disco en el equipo de filtración. Haga vacío en el sistema y fije el disco con una pequeña cantidad de agua destilada.

- 2.2 Agite invirtiendo el recipiente de la muestra varias veces.
- 2.3 De la muestra recién agitada, tome rápidamente una alícuota medida con probeta, transfiera cuantitativamente al filtro y registre el volumen total filtrado en el formato TF0067.
- 2.4 Deje el vacío por un minuto más para retirar el exceso de humedad del filtro.
- 2.5 Retire cuidadosamente el disco con ayuda de una microespátula y colóquelo en la cápsula de aluminio correspondiente.
- 2.6 Seque el conjunto en el Horno a 103-105°C, durante 1 hora.
- 2.7 Lleve el conjunto a un desecador y deje enfriar aproximadamente por 15 minutos, hasta temperatura ambiente.
- 2.8 Pese y registre el peso del conjunto en el formato TF0067, en la columna Peso 1
- 2.9 Repita el ciclo de secado, enfriado y pesado. Registre en el formato el nuevo peso, en la columna peso 2.
- 2.10 La máxima variación aceptada en el peso del conjunto es de cinco unidades en la cuarta cifra decimal. Si se cumple con este requisito se puede decir que se ha alcanzado peso constante. En caso contrario se debe someter a un nuevo ciclo de secado hasta que se cumpla con el requisito anterior (registre el tercer peso en la columna de observaciones).
- 2.11 Tape firmemente los frascos que contienen el residual de cada muestra. Entréguelos a la persona designada para el manejo del cuarto frío con el fin de que sean almacenados nuevamente.

4.3 DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO POR REFLUJO CERRADO Y VOLUMETRÍA

4.3.1 Toma y preservación de la muestra. Colecte las muestras en botellas de plástico o de vidrio.

La muestra se preserva en campo por adición de H₂SO₄ conc. (2 mL de H₂SO₄ conc. /L de muestra) y se mantiene refrigerada hasta el momento del análisis. El tiempo máximo de vida útil de la muestra es de veintiocho días.

Las muestras que contengan sólidos sedimentables deben mezclarse muy bien para homogenizar y obtener una muestra representativa.

4.3.2 Equipos.

- Bureta digital marca Metrohm, modelo Dosimat 775, con una capacidad de 20 ml y una resolución de 0.002 mL, y un agitador magnético complementario.
- Bureta de vidrio marca Kimax, con una capacidad de 10 mL y una resolución 0.02 mL.
- Bureta de vidrio dispensadora, con una capacidad de 50 mL y una resolución 0.1 mL.
- Balanza analítica con aproximación de 0.0001 g.
- Microdigestor para micro DQO marca Bioscience, Inc., diseñado para mantener una temperatura constante de operación de 150°C.
- Termoreactor para DQO marca E & Q., diseñado para mantener una temperatura constante de operación de 150°C.

4.3.3 Reactivos.

- Agua Ultrapura, obtenida en la pistola del purificador Labconco WaterPro PS.

- Solución de digestión, 0,0167M ó 0.1 N: Ponga a secar a 150°C durante 2 horas. Dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) con pureza superior al 99.5%. En un vaso de 1000 mL disuelva 4,913 g del Dicromato de potasio anhidro, en 500 mL de agua desionizada filtrada, adiciónese muy lentamente 167 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado y 33,3 g de Sulfato mercúrico ($HgSO_4$) grado reactivo, espere a que se disuelva y se enfríe a temperatura ambiente, complete en balón volumétrico de 1000 mL. Almacene en botella ámbar a temperatura ambiente.
- Reactivo de ácido sulfúrico: Prepare con una semana de anticipación. Agregue sulfato de plata (Ag_2SO_4), grado reactivo o técnico, en cristales o en polvo, a una cantidad de H_2SO_4 concentrado en proporción de 5,5 g de Ag_2SO_4 /kg H_2SO_4 (aproximadamente 545 mL de ácido), tome una botella de 2500 mL de ácido sulfúrico concentrado (como viene en la presentación del 98%) y adiciónese 25.2294 g de Ag_2SO_4 . Deje en reposo una semana para que se disuelva el Ag_2SO_4 . Una vez disuelto, transfiera cuidadosamente y almacene en la bureta de vidrio dispensadora, con una capacidad de 50 mL, a temperatura ambiente.
- Solución indicadora de ferroina: Disuelva 1,485 g de 1,10-fenantrolina monohidratada y 0,695 g de Sulfato ferroso heptahidratado ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) en agua desionizada filtrada y diluya en balón de 100 mL. Almacene en frasco con dispensador gota a gota y a temperatura ambiente.
- Ftalato ácido de potasio (KHP) estándar. Triture ligeramente y ponga a secar Biftalato de potasio ($HOCC_6H_4COOK$) a 110°C hasta peso constante. Disuelva 0,2125 g de biftalato de potasio en agua ultrapura y lleve a volumen en un balón volumétrico de 500 mL. El biftalato tiene una DQO teórica de 1,176 mg O_2 /mg y la solución tiene una DQO teórica de 500 mg O_2 /L. La solución es

estable hasta tres meses si se conserva refrigerada; se debe verificar la presencia o ausencia de crecimiento biológico, y en caso afirmativo descartarla.

- Solución titulante de Sulfato ferroso amoniacal hexahidratado ($\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) FAS, aproximadamente 0.04 N: Disuelva 15,6856 g de FAS en agua desionizada filtrada. Adiciónese 20 mL de H_2SO_4 concentrado, grado reactivo lentamente, deje enfriar y complete en balón volumétrico de 1000mL. Valore la solución diariamente con la solución de digestión de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$.
- Solución titulante de Sulfato ferroso amoniacal hexahidratado ($\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) FAS, aproximadamente 0.1 N: Disuelva 39,2140 g de FAS en agua desionizada filtrada. Adiciónese 20 mL de H_2SO_4 concentrado, grado reactivo lentamente, deje enfriar y complete en balón volumétrico de 1000 mL. Valore la solución diariamente con la solución de digestión de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$.
- Solución de digestión, 0,04175 M ó 0.25 N: Seque a 150°C durante 2 horas, Dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) con pureza superior al 99.5%. En un vaso de 1000 mL disuelva 12.2825 g del Dicromato de potasio anhidro, en 500 mL de agua desionizada filtrada, adiciónese muy lentamente 167 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado y 33,3 g de Sulfato mercúrico (HgSO_4) grado reactivo, espere a que se disuelva y se enfríe a temperatura ambiente, complete en balón volumétrico de 1000 mL. Almacene en botella ámbar a temperatura ambiente.
- Solución de digestión, 0,004175 M ó 0.025 N: Seque a 150°C durante 2 horas. Dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) con pureza superior al 99.5%. En un vaso de 1000 mL disuelva 1.2283 g del Dicromato de potasio anhidro, en 500 mL de agua desionizada filtrada, adiciónese muy lentamente 167 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado y 33,3 g de Sulfato mercúrico (HgSO_4) grado reactivo,

espere a que se disuelva y se enfríe a temperatura ambiente, complete en balón volumétrico de 1000 mL. Almacene en botella ámbar a temperatura ambiente.

4.3.4 Materiales

- Balones aforados clase A de 50 mL.
- Erlenmeyers de 125 mL.
- Pipetas aforadas clase A, de 2, 2.5, 5, 6, 10, 20 y 25 mL.
- Pipetas graduadas de 5 y 10 mL.
- Probetas vidrio de 50 mL.
- Transferpipeta de 10 mL
- Pipeta Pasteur.
- Microespátula.
- Micropipeta de 1000 YL
- Tubos de digestión, de vidrio borosilicato, de 16 × 100 mm, con tapa rosca con empaque de Teflón y que soporten temperaturas hasta de 200°C.
- Tubos de digestión, de vidrio borosilicato, de 25 × 150 mm, con tapa rosca con empaque de Teflón y que soporten temperaturas hasta de 200°C.

4.3.5 Limitaciones e interferencias. Los compuestos alifáticos volátiles de cadena lineal no se oxidan en cantidad apreciable, en parte debido a que están presentes en la fase de vapor y no entran en contacto con el líquido oxidante; tales compuestos se oxidan más efectivamente cuando se agrega Ag_2SO_4 como catalizador. Sin embargo, éste reacciona con los iones cloruro, bromuro y yoduro produciendo precipitados que son oxidados parcialmente.

Las dificultades causadas por la presencia de los haluros pueden superarse en buena parte, aunque no completamente, por acomplejamiento antes del proceso de reflujos con sulfato de mercurio (HgSO_4), que forma el haluro mercúrico correspondiente, muy poco soluble en medio acuoso. Si bien se especifica 1 g de HgSO_4 para 50 mL de muestra, se puede usar una menor cantidad mientras se mantenga una relación HgSO_4 : Cl^- de 10:1, cuando la concentración de cloruro sea menor de 2000 mg/L. La técnica no se debe usar para muestras que contengan más de 2000 mg de Cl^- /L; existen otros procedimientos diseñados para determinar la DQO en aguas salinas.

El nitrito (NO_2^-) tiene una DQO de 1,1 mg de O_2 /mg de $\text{NO}_2\text{-N}$, y como las concentraciones de NO_2^- en aguas rara vez son mayores de 1 o 2 mg $\text{NO}_2\text{-N}$ /L, esta interferencia es considerada insignificante y usualmente se ignora. Para evitar una interferencia significativa debida al NO_2^- , agregar 10 mg de ácido sulfúrico por cada mg de $\text{NO}_2\text{-N}$ presente en el volumen de muestra usado; agregue la misma cantidad de ácido sulfúrico al blanco de agua destilada. Las especies inorgánicas reducidas, tales como ión ferroso, sulfuro, manganoso, etc. Se oxidan cuantitativamente bajo las condiciones de la prueba; para concentraciones altas de estas especies, se pueden hacer las correcciones al valor de DQO obtenido, según los cálculos estequiométricos en caso de conocer su concentración inicial.

4.3.6 Procedimiento de análisis.

1. Digestión de la muestra
2. Precaliente conectando el digestor una hora antes de colocar las muestras para que éste alcance los 150 °C.
3. Preparación de blancos: Transfiera una alícuota de 2,5 mL de agua ultrapura en un tubo de digestión, adicione 1,5 mL de solución de digestión y 3,5 mL de

reactivo de ácido sulfúrico (este reactivo debe ser dispensado gota a gota por la pared del tubo. Tape herméticamente los tubos, agite varias veces, sin invertir.

PRECAUCIÓN: Use la careta de seguridad y guantes gruesos para proteger las manos del calor producido al mezclar el contenido de los tubos, mezcle minuciosamente antes de aplicar calor, para prevenir el calentamiento local en el fondo del tubo y una posible reacción explosiva.

4. Prepare 6 tubos como blancos, 3 de ellos colóquelos en digestión junto con las muestras y los otros 3 déjelos sin digerir, para valorar la concentración del FAS.

5. Tratamiento de la muestra. Agite vigorosamente la muestra, transfiera a un tubo de digestión, 2,5 mL de muestra, agregue cuidadosamente 1.5 mL de solución de digestión y 3,5 mL de reactivo de ácido sulfúrico por la pared del tubo de tal manera que se forme una capa de ácido debajo de la mezcla de muestra y solución digestora. Tape herméticamente y agite, si la muestra presenta coloración verdosa o azul, indica que se encuentra fuera de rango de lectura, repita el procedimiento utilizando dicromato de potasio 0,25 N, titule con sulfato ferroso amoniacal. Tenga en cuenta las precauciones.

6. Verifique el tipo de muestra, cuando ésta corresponda a un adicionado recuerde medir el volumen antes de iniciar el análisis y regístrelo en el formato y en el envase.

Valoración del Titulante.

1. Valoración del FAS: Tome cada uno de los blancos no digeridos, transfíeralos cuantitativamente a un erlenmeyer de 125 mL, enjuague varias veces con agua ultrapura y vierta el contenido en el erlenmeyer. Adicione 2 gotas de indicador de ferroina, mezcle rápidamente con el agitador magnético.

2. Titule con el FAS aprox 0,04 N (si usó dicromato 0.025 N ó 0.10 N) o aprox. 0.10 N (si usó dicromato 0.25N). El punto final de la titulación es un cambio de color de azul verdoso a café rojizo permanente.

Titulación de muestras.

i. Medición de la reducción del dicromato: Tome los tubos de los blancos digeridos y realice el mismo procedimiento de titulación que el efectuado para la valoración del FAS.

ii. Titulación de las muestras:

iii. Tome los tubos de las muestras y estándares y realice el mismo procedimiento de titulación que el efectuado para la valoración del FAS.

NOTA: Si en la etapa de titulación de las muestras al adicionar ferroína, toman color rojizo permanente, significa que todo el dicromato ha sido consumido, por lo tanto, es necesario utilizar el dicromato más concentrado. Si este también es consumido diluya la muestra. Deseche los residuos en la caneca rotulada Desechos de DQO ubicada debajo del mesón del área de DQO.

4.4 DBO₅¹⁷

4.4.1 Toma y preservación de la muestra. La muestra para el análisis de DBO puede degradarse significativamente durante el almacenamiento entre la

¹⁷ STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER. 5-DAY BOD TEST 5210 B. Membrane Electrode Method 4500- O G. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. 21st ed., New York, 2005.pp 5-2, 4-141.

recolección y su análisis, resultando en valores bajos de DBO. Esto se minimiza analizando rápidamente la muestra. No obstante, es necesario mantenerlas el tiempo mínimo posible en almacenamiento, incluso si se llevan a bajas temperaturas.

Muestras puntuales. Si el análisis se inicia dentro de las 2 horas después de la recolección no es necesario refrigerarlas; después de 2 horas de la recolección la muestra se debe mantener refrigerada a 4°C o menos. Comenzar el análisis dentro de las 6 horas de la recogida de la muestra, y cuando el sitio de muestreo es distante del laboratorio y el análisis no se puede comenzar dentro de las 6 horas de la recogida se debe almacenar a 4°C y reportar con los resultados el tiempo y la temperatura de almacenamiento. En ningún caso iniciar el análisis después de 24 horas de haber tomado la muestra.

Muestras compuestas. Mantener las muestras refrigeradas a 4°C o menos durante el proceso de composición, que se debe limitar a 24 h. Aplicar el mismo criterio de almacenamiento de las muestras puntuales, iniciando la medición del tiempo de almacenamiento al finalizar el periodo de composición. Especificar el tiempo y las condiciones de almacenamiento como parte de los resultados.

4.4.2 Materiales y equipos

1. Botellas Winkler de 300 mL de capacidad, lavadas con detergente, enjuagadas varias veces, y escurridas antes de utilizarlas.
2. Incubadora de aire controlada termostáticamente a 20 ± 1 °C.
3. Agitador magnético.
4. Probetas para medir la muestra.
5. Balones Clase A de volumen adecuado para preparar diluciones cuando se requiera.
6. Película plástica.

7. Erlenmeyer de 5000 mL para contener el agua de dilución.
8. Erlenmeyer de 100 mL para preparar inóculo y para estándar estériles.
9. Varias pipetas graduadas y aforadas, preferiblemente estériles, para dosificar los nutrientes.
10. Frasco lavador con agua desionizada.
11. Papel absorbente.
12. Pipetas graduadas de 10 mL.
13. Balanza analítica.
14. Termómetro.

Método Electrodo de Membrana SM 4500 - O G.

1. Oxímetro.
2. Barra magnética para introducir en las botellas y barra magnética larga para retirarlas.
3. Beaker grande para contener las botellas durante la medición.

4.4.3 Reactivos

- Buffer de fosfatos. Para un litro de solución: Disolver 8,5 g KH_2PO_4 , 21,75 g de K_2HPO_4 , 33,4 g $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, y 1,7 g NH_4Cl en unos 500 ml de agua destilada y diluir a 1 litro. El pH debe estar en 7,2 sin más ajustes, debe almacenarse siempre en la nevera a 4 °C. Descartar cualquier reactivo si se ve alguna señal de crecimiento biológico en la botella stock. Para preparar 250 mL: Disolver 2,125 KH_2PO_4 , 5,438 g de K_2HPO_4 g, 8,35 g $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, y 0,425 g NH_4Cl en unos 100 ml de agua destilada y diluir a 250 mL. Alternativamente disolver 10,625 g de KH_2PO_4 y 0,425 g de NH_4Cl en cerca de 170 mL de agua desionizada. Ajustar el pH a 7,2 con NaOH al 30% y diluir a 1 L.

- Solución de Sulfato de magnesio. Para un litro de solución, disolver 22,5 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ en agua destilada y diluir a 1 litro. Para preparar 250 mL, disolver 5,625 g de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ en 100 mL y diluir a 250 mL.
- Solución de Cloruro de calcio. Para un litro de solución, disolver 27,5 g CaCl_2 en agua destilada y diluir a 1 litro. Para preparar 250 mL, disolver 6,875 g de CaCl_2 en aproximadamente 100 mL y diluir en 250 mL.
- Solución de Cloruro férrico. Para un litro de solución, disolver 0,25 g $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ en agua destilada y diluir a 1 litro. Para preparar 250 mL, disolver 0,063 g $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ en 100 mL y diluir en 250 mL.
- Soluciones comerciales buffer y de nutrientes. Las soluciones de cloruro de amonio, cloruro de calcio, cloruro férrico, sulfato de magnesio, fosfato de potasio monobásico, fosfato de potasio dibásico y fosfato de sodio dibásico, se tienen en presentación para disolver en 6 litros de agua, como alternativa de trabajo.
- Solución ácida 1 N. Se utiliza para neutralizar las muestras en el rango de 6,5 – 7,5 unidades. Añada lentamente 28 ml de H_2SO_4 concentrado al agua destilada y diluya a 1 litro.
- Solución alcalina 1N. Se utiliza para neutralizar las muestras en el rango de 6,5 – 7,5 unidades. Disolver 40 g de NaOH en agua destilada y diluir a 1 litro.

Existen numerosos factores que afectan la prueba de la DBO_5 , entre ellos la relación de la materia orgánica soluble a la materia orgánica suspendida, los sólidos sedimentables, los flotantes, la presencia de hierro en su forma oxidada o reducida, la presencia de compuestos azufrados y la falta de mezcla. Hasta el momento no existe una forma de corregir o ajustar los efectos de estos factores.

La oxidación de las formas reducidas del nitrógeno como amoníaco y nitrógeno orgánico mediada por microorganismos, ejercen una demanda nitrogenácea, la cual ha sido considerada como una interferencia en la prueba; sin embargo, ésta puede ser eliminada con la adición de inhibidores químicos. Se reportan los resultados como DBOC5 (DBO carbonácea) cuando se inhibe la demanda nitrogenácea. Sin inhibición, la DBO calculada corresponde a la suma de la carbonácea y la nitrogenácea. La inhibición es recomendable en muestras de efluentes secundarios, para muestras de agua contaminada o cuando la semilla provenga de efluentes secundarios.

Si el agua de dilución es de baja calidad, la DBO aparecerá como DBO de la muestra, efecto que será amplificado por el factor de dilución y el resultado será un valor alto, por lo que se requiere definir antes la fuente ideal de agua para el trabajo de laboratorio.

Las existencias de algas en la muestra constituyen una interferencia al método, debido a que generan oxígeno, sin embargo, su efecto puede obviarse fácilmente incubando las muestras en frascos o sitios oscuros.

4.4.4 Procedimiento

- Para todas las muestras: Registre el valor de pH a la temperatura dentro del laboratorio en el formato de datos, antes de realizar las diluciones. Las muestras con pH extremos (inferiores a 5 o superiores a 10), se deben neutralizar a un pH entre 7,0 y 7,2 con una solución ácida 1N o solución alcalina 1N, cuidando de no diluir la muestra más de un 0.5%. Se puede justificar una excepción para las aguas naturales cuando la DBO se mide a valores de pH in situ. El pH del agua de dilución no debería ser afectado por la menor dilución de la muestra. Siempre que se ajuste el pH de una muestra se debe inocular.

- Para muestras con compuestos clorados residuales: se debe tomar la muestra antes de los procesos de cloración. Si la muestra ha sido clorada pero no hay cloro residual detectable, se debe inocular el agua de dilución. Si hay presencia de cloro residual, debe eliminarse con una gota de tiosulfato de sodio Na_2SO_3 e inocular el agua de dilución. No ensayar muestras cloradas/decloradas sin inocular el agua de dilución. En algunos casos el cloro puede disiparse con una o dos horas de estar expuesta la muestra a la luz, que puede ser durante el tiempo de transporte y manipulación.
- Para muestras que contienen metales tóxicos, como es el caso de algunos residuos industriales, se requiere un estudio especial y tratamiento.
- Para muestras sobresaturadas con oxígeno disuelto, es decir, aquellas con contenido mayor a 9 mg/L de oxígeno disuelto a 20°C provenientes de lugares fríos o con abundante fotosíntesis, para prevenir la pérdida de oxígeno durante la incubación, se debe reducir el oxígeno disuelto hasta saturación a temperatura de $20 \pm 3^\circ\text{C}$, agitando en una botella parcialmente llena o aireando la muestra.
- Usar agua destilada para preparar el agua de dilución. Para asegurar la calidad se debe contar con material muy limpio. Se prefiere preparar inmediatamente antes de su uso y no con más de ocho horas de anticipación. La fuente de agua de dilución debe estar evaluada con la prueba de chequeo antes de ser utilizada en análisis, según formato de verificación de la calidad del agua.
- Preparación de la suspensión de semilla inoculo: Algunas muestras no contienen la cantidad necesaria de microorganismos para oxidar la materia orgánica biodegradable presente y es el caso de residuos desinfectados, vertimientos a alta temperatura, que presenten valores de pH menores a 6 o superiores a 8 unidades o los residuos almacenados más de 6 horas luego de su recolección; éstas muestras se deben inocular añadiendo al agua de dilución una

población de microorganismos para que realice la oxidación de la materia orgánica. Con el objeto de corregir el valor de oxígeno disuelto consumido por una muestra, se debe restar a este el consumido por el inóculo, para lo cual se debe correr una botella con el agua inoculada. El inóculo puede proveerse con el sobrenadante de agua residual doméstica cruda, almacenada a 20°C por no más de 36 horas o con inóculo liofilizado.

- Preparación del agua de dilución: Transferir el agua destilada en cantidad suficiente (para las diluciones, los controles y duplicados) a los erlenmeyer para preparar el agua de dilución. Chequear que el oxígeno disuelto esté en 7,5 mg/L antes de iniciar el procedimiento; si no se cumple, airear hasta conseguir este valor a temperatura de 20 ± 3 °C. Agregar 1 mL de cada una de las siguientes soluciones: de buffer de fosfato, 1mL de solución de sulfato de magnesio; 1mL de solución de cloruro de calcio, y 1mL de solución de cloruro férrico por cada litro de agua destilada para proporcionar los nutrientes y el pH adecuado para el crecimiento bacterial dentro de las botellas; cuando se requiera, se utilizará proporcionalmente la cantidad de las soluciones comerciales buffer y de nutrientes, teniendo en cuenta disolver las sales que generalmente se encuentran aglomeradas en un extremo. Confirmar la temperatura de 20 ± 3 °C. Si el agua de dilución muestra un consumo mayor a 0,2 mg/L a los cinco días, se debe cambiar la fuente de agua o mejorar su calidad. Para evaluar este valor se tendrá en cuenta lo indicado por la supervisión técnica.

- Antes de hacer las diluciones lleve las muestras a 20 ± 3 °C

- Preparación de diluciones: Con el agua de dilución preparada, realizar por lo menos dos diluciones con un tamaño de la muestra en la botella que asegure un consumo de oxígeno en 5 días (OD inicial menos OD final) de al menos 2 mg/l del oxígeno disuelto y que permanezca por lo menos un residual (OD final) de 1 mg/L al cabo de los 5 días. Marcar cada botella con el código de muestra, la fecha de análisis, la dilución preparada.

- Registrar la hora del análisis, el volumen del inóculo agregado y del inhibidor si aplica, en el formato de Datos para análisis de DBO5. Sólo la experiencia con una muestra particular permitirá hacer hasta una sola dilución.
- Con la DQO como referencia se pueden correlacionar algunos valores de DBO. Se determinan como guía las siguientes diluciones: de 0,01 a 1% para desechos industriales, 1 a 5% para descargas crudas y sedimentadas, 5 a 25% para efluentes tratados biológicamente y 25 a 100% para aguas superficiales contaminadas. Las diluciones se pueden preparar en material volumétrico Clase A.
- Cualquiera de los métodos de dilución puede ser combinado con cualquier método de medición de oxígeno disuelto. Para diluciones mayores que 1:100 (3 ml en la botella) hacer una dilución primaria en balón, antes de hacerla en la botella.
- El número de botellas dependerá del método de medición de oxígeno (El método iodométrico requiere el doble), del número de duplicados establecidos, de los controles de calidad como el control de agua de dilución o blanco, el control inóculo cuando se inocule y el control de glucosa ácido glutámico. Llevar un formato de Datos para Análisis de DBO5 por cada muestra. El control del agua de dilución y el inóculo se registra en uno de los formatos de datos para análisis de DBO5, del grupo analizado.
- Diluciones preparadas en material volumétrico: Este tipo de diluciones se recomienda para diluciones mayores al 1% (1 en 100 ó 3 mL en botella). En un balón o probeta de capacidad adecuada, colocar la cantidad de muestra correspondiente a la dilución definida, que esté mezclada lo suficiente como para evitar la pérdida de sólidos por sedimentación, y luego diluir hasta el volumen del recipiente con agua de dilución.

- Adicionar el inóculo o el inhibidor, según requiera y tomar el volumen de la muestra completamente agitada para llevar a cada uno del material volumétrico clase A, evitando que los sólidos sedimenten en el recipiente durante la transferencia.
- Adición del inhibidor de nitrificación: Las muestras que requieren inhibición de la nitrificación incluyen, pero no están limitados a los efluentes tratados biológicamente, muestras inoculadas con efluentes tratados biológicamente y aguas de río. Para inhibir la nitrificación, añadir 3 mg (o ajustado si no es 100% puro) de (TCMP) 2-cloro-6-(tricloro metil) piridina (TCMP) a cada botella de 300 ml antes de llenarla más de dos terceras ($2/3$) partes del volumen y permitir su dilución antes de llenarla, para evitar que flote.
- Reportar el uso de inhibición de la nitrificación y el químico utilizado en los resultados. Inocular las muestras a las cuales se les aplica el inhibidor de nitrificación.
- Llenado de botellas: Llenar cuidadosamente las botellas con suficiente agua de dilución de modo que la inserción del tapón desplace todo el aire, sin dejar burbujas. Para evitar el intercambio de gases durante el periodo de incubación, y luego de la medición de oxígeno, debe asegurarse en la botella un sello de agua y cubrirlo con bolsa plástica, atada con banda elástica.
- Medición de oxígeno disuelto inicial: Reemplazar el líquido desplazado con suficiente muestra o ya diluida para llenar la botella y completar el sello de agua.
- Realizar la medición del oxígeno disuelto inicial dentro de los 30 minutos siguientes a la preparación de la dilución.

- Utilizar el método de electrodo de membrana SM 4500-O G en todas las botellas preparadas que van a incubación. Debe procurarse siempre utilizar el mismo electrodo cuando se hacen las lecturas inicial y final en todas las muestras, teniendo en cuenta que la medición debe realizarse en mezcla completa dentro de las botellas. Controlar siempre la temperatura de la muestra al hacer la medición inicial para que cumpla con 20°C.

Realizar la medición de oxígeno disuelto de la siguiente manera:

- Colocar la botella dentro de un beaker de 500 mL en el equipo de agitación, destaparla y adicionar una barra magnética. Adaptar el electrodo limpio en la boca de la botella para evitar intercambio gaseoso. Realizar la lectura con el procedimiento AR del multiparámetro y repetirlo para confirmar el valor. Registrar el valor de oxígeno leído en cada botella. Retirar la barra magnética y proceder a llenar la botella y tapanla si se trata de oxígeno inicial o desecharla si es el final.
- Utilizar el método iodométrico de modificación de azida SM 4500-O C (Ver protocolo para la determinación de oxígeno disuelto) como método alternativo de medición de oxígeno y de manera frecuente para definir si requiere corrección la medida del sensor de oxígeno utilizado en el laboratorio.
- Registrar en el formato Datos de medición de DBO5, GL-F-21.
- Incubación de la muestra: Incubar las botellas a 20 ± 1 °C evitando el contacto con la luz para evitar el crecimiento de algas durante este periodo.
- Medición de oxígeno disuelto final: Después de 5 días \pm 6 horas de incubación, determinar el oxígeno disuelto en todas las botellas, utilizando el mismo método con el que se midió el oxígeno disuelto inicial.
- Registrar en el formato Datos de medición de DBO5., GL-F-21.

4.5 GRASAS Y ACEITES¹⁸

4.5.1 Toma y preservación de muestra. Tomar una muestra en una botella de vidrio ámbar de 1L o más (o frasco de vidrio de boca ancha con tapa de PTFE), lavada previamente con jabón (Tipo extrán), enjuagado con agua, y con acetona u otro solvente para remover cualquier residuo que pueda interferir con el análisis. No rebosar el frasco, y no subdividir la muestra en el laboratorio.

Recoger además una réplica de la muestra, estas deben ser colectadas en paralelo. Si el análisis se va a realizar después de pasadas 2 horas, acidificar a pH 2 o menos con HCl.

H₂SO₄ concentrado y refrigerar, para garantizar la preservación de la muestra. Cuando se requiera la concentración promedio en un periodo extendido, examinar porciones individuales recogidas a intervalos prescritos para eliminar las pérdidas de grasa en el equipo de muestreo durante la recolección de una muestra compuesta.

Al recolectar lodos, procurar obtener muestras representativas. Cuando no se pueda analizar dentro de las 2 h siguientes, preservar con 1 mL HCl concentrado/80 g muestra y refrigerar. Nunca preservar muestras con cloroformo (CHCl₃) o benzoato de sodio.

4.5.2 Materiales y equipos

¹⁸ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Method 5520 B. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. 21st. ed., New York, 2005. pp 5-37.

- Botella de vidrio ámbar de 500 ml o 1L
- Balanza analítica de precisión $\pm 0,0001\text{g}$
- Pipetas de 5, 10 mL
- Embudos de separación de capacidad mayor o igual a 1L, con llave de teflón.
- Recipientes de vidrio igual o mayor a 100 mL para recibir el extracto.
- Probeta igual o mayor a 1L.
- Soporte universal metálico.
- Desecador.
- Receptáculo para solvente recuperado (beaker pequeño, viales de 10 mL).
- Bomba de vacío u otra fuente de vacío.

4.5.3 Reactivos.

- Ácido clorhídrico, o ácido sulfúrico concentrado
- n- hexano, mínimo 85% de pureza, punto de ebullición 69°C. No use mangueras para transferir solvente entre contenedores.
- Metil- tert-butil éter, punto de ebullición 55 a 56°C. No use mangueras para transferir solvente entre contenedores
- Sulfato de sodio anhidro, Na_2SO_4
- Mezcla de solvente 80% n-hexano; 20% v/v metil-tert-butil éter.
- Solución estándar de calibración: Prepare una solución de acetona que contenga una cantidad conocida de vaselina (grado analítico): Disuelva unos 0,500 gramos de vaselina en 50 mL de Acetona. La solución preparada tiene una concentración de 10 mg/mL de solución. Prepare una muestra sintética de 5mg/L adicionando 500 μL (0,5 mL) de la solución anterior en 1L de agua desionizada. Utilice este como material de referencia.

4.5.4 Limitaciones e interferencias. Los solventes orgánicos pueden disolver no solo el aceite y la grasa sino también otras sustancias orgánicas. Cualquier sustancia filtrable soluble en el solvente (azufre elemental, aromáticos complejos, derivados de hidrocarburos con cloro, azufre y nitrógeno, y ciertos pigmentos orgánicos) son extraídos y recuperados como aceite y grasa. No existe un solvente que disuelva selectivamente solo aceites y grasas.

Para todos los métodos excepto el de partición infrarrojo, la remoción de solvente causa la pérdida de los hidrocarburos de cadena corta y aromática simples por volatilización. Seguir los tiempos de secado estrictamente, para estandarizar la pérdida gradual de peso. Para esos métodos, durante el enfriamiento del frasco de destilación y del material extraído, puede observarse un ligero aumento de peso, posiblemente por la absorción de agua si no usa un desecador. Para el método infrarrojo, el uso del detector puede obviar algunas interferencias coextraídas. Para el método Soxhlet respetar los tiempos de extracción por la solubilidad variable de las grasas. Para el método de hidrocarburos, los hidrocarburos más polares, como aromáticos complejos y derivados con cloro, nitrógeno y azufre, pueden ser adsorbidos en la sílica gel. La materia grasa también puede interferir.

Si se forman emulsiones difíciles de romper por centrifugación, usar otros métodos. Esas muestras pueden ser efluentes de proceso de papel, y manufacturas de zeolita. Determinar el método a usar en cada caso.

Algunas matrices pueden elevar la cantidad de agua distribuida en el fluido orgánico de extracción. Cuando se seca el solvente con sulfato de sodio, puede excederse la capacidad secante del sulfato de sodio, disolviéndose y pasando al frasco tarado.

Luego del secado los cristales de sulfato se hacen visibles. Esta es una interferencia positiva en métodos gravimétricos. Si esto sucede, redissolver el

aceite y grasa con 30 mL de solvente de extracción, luego drenar el solvente a través de un embudo con papel filtro lavado con solvente, a otro frasco tarado. Lavar el primer frasco dos veces más, combinando todo el solvente en el frasco nuevo, y luego tratarlo como una muestra extraída.

4.5.5 Procedimiento.

1. Si previamente la muestra no ha sido acidificada baje el pH <2 con H₂SO₄ o HCl.
2. Marque el nivel de la botella hasta donde se encuentra el menisco de agua (si no se encuentra llena), para medir posteriormente el volumen.
3. Transfiera toda la muestra de la botella al embudo de separación.
4. Agregue 30 mL o más de hexano a la botella vacía. Tape y agite vigorosamente por algunos segundos. Transfiera el hexano al embudo de separación.
5. Tape el embudo y agite por unos segundos y afloje la llave para que salgan los vapores. Agite nuevamente por 5 minutos más.
6. Coloque el embudo en el soporte universal y deje separar las fases.
7. Recoja la fase acuosa en la misma botella de la muestra y transfiera el extracto hexánico que contiene los aceites y las grasas a un recipiente de vidrio.
8. Repita el proceso dos veces más agregando a la muestra 30 mL de hexano. Mezcle las fases hexánicas con el primer extracto contenido en el recipiente de vidrio.

9. Para determinar el volumen inicial de la muestra, llenar la botella con agua (del grifo) hasta la marca realizada y transferir a una probeta.

10. Para remover el exceso de agua en el extracto de hexano, agregar aproximadamente 10 g de Sulfato de Sodio anhidro (Na_2SO_4). Tape y almacene.

11. Deposite el extracto en vial o beaker pequeño previamente pesado, usando una pipeta pasteur, evitando el paso de sulfato de sodio al recipiente.

12. Deje secar los viales a temperatura ambiente y registre su peso final. Para acelerar el secado del extracto use la bomba de vacío soplando aire con la manguera. (Se recomienda usar una corriente de nitrógeno o gas inerte seco).

13. Para verificar peso constante dejar por 2 horas y anotar peso final. Si es diferente al anotado anteriormente, dejar 2 horas más, hasta obtener peso constante.

NOTA: El principal residuo de este método es el solvente empleado, el cual debe recolectarse de un sistema de secado (rotovapor) y almacenar apropiadamente en contenedores rotulados. La muestra extraída puede desecharse, sin embargo, se debe tener la precaución de ajustarle a un valor de pH entre 6 y 8 unidades (si lo requiere) antes de ser descargadas al vertedero.

5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

El aceite vegetal usado al llegar a los ríos crea una película que impide su capacidad de intercambio de oxígeno afectando flora y fauna acuática y el ecosistema, también el aceite puede adherirse a las agallas de los peces dificultando su respiración y en ocasiones hasta causando altos índices de mortalidad en las zonas afectadas.

El objetivo de este capítulo será determinar qué tan desfasados se encuentran los valores de las pruebas realizadas en laboratorio respecto a los valores que deberían tener esos parámetros evaluados según la Resolución 0631 de 2015 por el cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones, como un indicativo de como al variar las concentraciones de aceite vegetal usado estos parámetros se ven afectados y consecuentemente se van a ver afectado la fauna y la flora en las zonas de deposición de aceite vegetal usado.

Tabla 5. Parámetros evaluados y sus límites permisibles según el Resolución 0631 de 2015.

PARÁMETRO	UNIDADES	AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS – ARD DE LAS SOLUCIONES INDIVIDUALES DE SANEAMIENTO DE VIVIENDAS UNIFAMILIARES O BIFAMILIARES	AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS – ARD DE LAS AGUAS RESIDUALES (ARD – ARnD) DE LOS PRESTADORES DEL SERVICIO PÚBLICO DE ALCANTARILLADO A CUERPOS DE AGUAS SUPERFICIALES, CON UNA CARGA MENOR O IGUAL A 625,00 kg/día DBO ₅
Generales			
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	200,00	180,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L O ₂		90,00
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	5,00	90,00
Grasas y aceites	mg/L	20,00	5,00

Fuente: Resolución: Ministerio de ambiente y Desarrollo Sostenible, 0631 del 7 de marzo de 2015.

Por el cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.

Tabla 6. Parámetros evaluados y sus límites permisibles según el Resolución 0631 de 2015.

PARÁMETRO	UNIDADES	AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS – ARD Y AGUAS RESIDUALES NO DOMESTICAS – ARnD DE LOS PRESTADORES DEL SERVICIO PÚBLICO DE ALCANTARILLADO, CON UNA CARGA MAYOR A 625,00 Kg/día Y MENOR O IGUAL A 3.000,00 Kg/día DBO ₅	AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS – ARD, Y AGUAS RESIDUALES NO DOMÉSTICAS – ARnD DE LOS PRESTADORES DEL SERVICIO PÚBLICO DE ALCANTARILLADO, CON UNA CARGA MENOR O IGUAL A 3.000,00 kg/día DBO ₅
Generales			
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	180,00	150,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L O ₂	90,00	70,00
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	90,00	70,00
Grasas y aceites	mg/L	20,00	10,00

Fuente: Resolución: Ministerio de ambiente y Desarrollo Sostenible, 0631 del 7 de marzo de 2015.

Por el cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones

Tabla 7. Parámetros evaluados y sus límites permisibles según el Resolución 0631 de 2015.

PARÁMETRO	UNIDADES	PROCESAMIENTO DE HORTALIZAS, FRUTAS, LEGUMBRES, RAICES Y TUBÉRCULOS	BENEFICIO DE CAFÉ (CLASIFICACIÓN DE LA FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS – FNC/ CENICAFE).	
			PROCESO O ECOLÓGICO	PROCESO TRADICIONAL
Generales				
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00	5,00 a 9,00	5,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	150,00	3.000,00	650,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L O ₂	50,00		400,00
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	100,00	800,00	400,00
Grasas y aceites	mg/L	10,00	30,00	10,00

Fuente: Resolución: Ministerio de ambiente y Desarrollo Sostenible, 0631 del 7 de marzo de 2015.

Por el cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.

Tabla 8. Parámetros evaluados y sus límites permisibles según el Resolución 0631 de 2015.

PARÁMETRO	UNIDADES	PROCESOS POSTCOSECHAS DE PLÁTANO Y BANANO	PRODUCCIÓN DE AZÚCAR Y DERIVADOS A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR	EXTRACCIÓN DE ACEITES DE ORIGEN VEGETAL
Generales				
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	200,00	900,00	1.500,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L O ₂	50,00	500,00	600,00
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	100,00	200,00	400,00
Grasas y aceites	mg/L	10,00	2,00	2,00

Fuente: Resolución: Ministerio de ambiente y Desarrollo Sostenible, 0631 del 7 de marzo de 2015.

Por el cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.

5.1 RESULTADOS

En la Tabla 9 se muestra los resultados de Potencial de Hidrogeniones o pH obtenidos en el laboratorio según las variaciones de concentración %V/V de AVU.

Tabla 9. Resultados de Potencial de Hidrogeniones o pH

	%V/V	%V/V	%V/V	%V/V	%V/V
	5	10	15	20	25
PARAMETRO	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	MUESTRA 4	MUESTRA 5
pH	6,74	6,79	6,83	6,92	6,94
Unidades de pH					

Teniendo en cuenta los parámetros evaluados y al comparar con los valores máximos permisibles admisibles en la Resolución 0631 de 2015, el agua cumplió lo establecido en los parámetros de pH, encontrándose en un rango de 6,74 hasta 6,94. Por ende, permite inferir que el agua para potabilizada requiere solamente tratamiento convencional (coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección) para ser destinada como recurso humano y doméstico.

No representa riesgo de vida para las especies vegetales, ni animales. A su vez su valor es importante en la operación de procesos de tratamiento de agua y aguas residuales y en el control de la corrosión.

Finalmente, el pH obtenido para las diferentes concentraciones de muestreo fue de carácter neutro, ajustándose a los valores permisibles en la normativa vigente. Se puede determinar que el Potencial de Hidrogeniones del agua en presencia de aceite vegetal usado no presenta alteraciones que representen amenaza para un desarrollo ambiental sostenible.

En la Tabla 10 se muestra los resultados de Sólidos Suspendidos Totales (SST) obtenidos en el laboratorio según las variaciones de concentración %V/V de AVU.

Tabla 10. Resultados de Sólidos Suspendedos Totales (SST).

	%V/V	%V/V	%V/V	%V/V	%V/V
	5	10	15	20	25
PARAMETR	MUESTRA	MUESTRA	MUESTRA	MUESTRA	MUESTRA
O	1	2	3	4	5
SST	601	589	581	582	619
mg/L					

Según los resultados obtenidos en los parámetros fisicoquímicos, el agua presentó alta concentración de sólidos, que puede ser evidenciado en pequeñas cantidades de materia orgánica y material disperso en virtud de su naturaleza coloidal ya que no sedimentan por gravedad cuando el agua de estudio se encuentra en reposo, lo cual podrá presentar disturbios en el crecimiento de los huevos de los peces, modifica su movimiento natural, su migración y reduce la abundancia de alimentos.

En la Tabla 11 se muestra los resultados de DBO₅ obtenidos en laboratorio según las variaciones de concentración %V/V de AVU.

Tabla 11. Resultados de DBO₅

	%V/V	%V/V	%V/V	%V/V	%V/V
	5	10	15	20	25
PARAMETR	MUESTRA	MUESTRA	MUESTRA	MUESTRA	MUESTRA
O	1	2	3	4	5
DBO5	46762,5	63075	16965	104400	106575
mg/L O2					

Al ser analizados los resultados del parámetro DBO₅ que miden la cantidad de oxígeno que consumen los microorganismos al proliferar en el agua residual y alimentarse de su materia orgánica, se buscó evaluar el impacto en la fauna acuática de cuerpos receptores.

Los resultados obtenidos que se encuentran por encima de los 45000mg/L O₂ hasta los 106575 mg/L O₂ denotan valores No aceptables y bastante lejanos a los aceptables, debido a que la Resolución 0631 de 2015 determina valores para aguas residuales domesticas ARD y no domesticas ARND entre los 150-180 mg/L O₂ y un máximo de 3000 mg/L O₂ para algunas aplicaciones agroindustriales específicas.

Los valores altamente desfasados en comparación a los que exige la resolución el ministerio de ambiente colombiano, se deben a las capas de aceite vegetal que se pueden formar en las superficies de los cuerpos de agua, obstaculizando de esta forma el ingreso del oxígeno al agua.

En la Tabla 12 se muestra los resultados de DQO obtenidos en laboratorio según las variaciones de concentración %V/V de AVU.

Tabla 12. Resultados de DQO

	%V/V	%V/V	%V/V	%V/V	%V/V
	5	10	15	20	25
PARAMETR O	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	MUESTRA 4	MUESTRA 5
DQO	19764	18468	19845	16524	17172
mg/L O ₂					

La demanda química de oxígeno DQO es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mgO₂/l).

Al igual que en la mayoría de las pruebas realizadas en este proyecto se evidencia que los valores presentados en la tabla 12 que mide el DQO fluctúan entre los 17000 mg/L O₂ y los 19000 mg/L O₂ de manera no proporcional según el aumento

de la concentración, se encuentran por encima de los valores comprendidos en la Resolución 0631 de 2015 los cuales están aproximados a los 200 mg/L O₂ para ARD y ARND, y en casos especiales agroindustriales hasta los 1500mg/L O₂.

Estos altos valores refrendan la necesidad de procesos o procedimientos como los que se plantean en este proyecto para mitigación de la contaminación ambiental por los aceites vegetales usados.

En la Tabla 13 se muestra los resultados de grasas y aceites obtenidos en laboratorio según las variaciones de concentración %V/V de AVU.

Tabla 13. Resultados de Grasas Y Aceites.

	%V/V	%V/V	%V/V	%V/V	%V/V
	5	10	15	20	25
PARAMETRO	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	MUESTRA 4	MUESTRA 5
GRASAS Y ACEITES	49702,8	97140,2	16218,2	232714,6	301241,6
mg/L					

Los resultados de los parámetros de grasas y aceites medidas en laboratorio permiten hacer un conteo de la cantidad de cadenas de este tipo presentes en la muestra, estos resultados son de suma importancia debido a que las grasas y aceites son contaminantes potenciales y riesgosos que deben ser extraídos o minimizados antes de llegar a los cuerpos de agua, para este fin las empresas de agua y alcantarillado hacen uso de diferentes métodos en sus plantas de tratamiento de aguas, algunos de ellos como las trampas de aceite y la implementación de bacterias para que degraden dichas cadenas, este ultimo de extremo cuidado porque algunas de las bacterias en su proceso de absorción de nutrientes disuelven estas grasas pasándolas de su estado libre y fácil separación

a un estado emulsionado y de difícil separación, generando aumento de costos de tratamiento.

Los resultados obtenidos en laboratorio, permiten evidenciar como desde la concentración inicial de 5% V/V de AVU con un valor de grasas y aceites de 49702,8 mg/L, ya se exceden de manera exorbitante los valores establecidos en la Resolución 0631 de 2015 en la que los valores rondan los 10 mg/L y en casos especiales hasta 20 mg/L como límites para la deposición de aguas residuales ARD y ARND, y que para las demás concentraciones de estudio va en aumento dicho exceso. Exaltado el exceso de grasas y aceites presentes en las muestras con las concentraciones respectivas de la tabla 13, se infiere que es necesario un procedimiento o proceso que permita optimizar los sistemas de reducción y control de AVU de los sistemas de tratamiento de aguas desecho, donde se evidencia el potencial riesgo a través de los resultados obtenidos en el estudio.

NOTA: El análisis de resultados comprendido en este proyecto aclara que, para este caso de estudio, se hizo caso omiso a diferentes aspectos y variables que se presumen podrían reducir la distancia entre los valores dictados en la Resolución 0631 de 2015 y que se tomaron como valores de referencia para notar la contaminación generada por el AVU.

6. PROCEDIMIENTO GENERAL DE MITIGACIÓN

Debido a que en su mayoría las personas en nuestra sociedad no están comprometidas con disminuir el consumo de aceite vegetal, se hace necesaria la creación de un procedimiento que brinde una alternativa para reducir el impacto ambiental causado por la deposición de aceites vegetales usados al medio ambiente a través de las aguas residuales.

El punto de inicio de este procedimiento parte del proyecto de grado para optar al título de magister *“Estudio de factibilidad para la implementación de un sistema de recolección y planta de tratamiento de aceite vegetal usado (AVU) en la ciudad de Bucaramanga, para convertirlo en biodiesel y comercializarlo como un producto de la empresa Joapetrol Company”*.

La realización de este procedimiento se fundamenta en los siguientes aspectos que se han tomado como principales, estos respectivamente son:

- La búsqueda necesaria de nuevas alternativas que permitan reducir el impacto ambiental generado por el inadecuado manejo del AVU.
- La obligación de vincular a la sociedad ya que son los principales consumidores de aceite vegetal, por ende, los potenciales depositadores de AVU al medio ambiente.
- Centrar los esfuerzos en información, capacitar y concientizar a la comunidad de las ventajas que ofrece el tener un procedimiento de recolección del aceite vegetal usado, con el fin de evitar las consecuencias desfavorables de la deposición del AVU en las aguas residuales.

- Encontrar una alternativa práctica y eficiente para disponer del aceite usado y recolectado.

6.1 MECANISMO DE RECOLECCIÓN DE ACEITES VEGETALES USADO

Existen diferentes alternativas para hacer uso del aceite vegetal usado recolectado, entre ellas se destaca la creación de múltiples empresas dedicadas a la recolección de aceite vegetal usado para la obtención del biodiesel a partir de este.

Este proyecto toma en cuenta procedimientos ya existentes de recolección de aceite vegetal usado, encontrando pautas generales a seguir para que la recolección de este aceite sea práctico y eficiente, el cual permita abarcar en su totalidad aquellos sectores residenciales que no se encuentren vinculados al sistema de recolección y a su vez evitar que estos aceites vegetales usados sean obtenidos por el mercado negro, que los reenvasa y los distribuye como nuevos, influyendo en la desaceleración de procesos requeridos en las plantas productoras de biodiesel y permita de igual manera abastecer en un mayor porcentaje el mercado y cumplir las metas de producción.

Por otra parte, la encuesta realizada durante el proyecto refleja que la población actual se encuentra dispuesta a la vinculación de un sistema estratégico de recolección, que permita a su vez la reducción del impacto que causa el vertimiento de aceites vegetales al sistema de aguas residuales.

Estas pautas son:

1. Generar campañas de concientización e información acerca de las ventajas ambientales en la recolección de aceite vegetal usado en la comunidad en la cual

se desee implementar el proyecto. Demostrando por medio de evidencias de investigación las diferentes afectaciones y consecuencias que conlleva el inadecuado vertimiento por residuos de aceites al sistema de drenaje municipal como también la oportunidad de obtención de nuevos productos a través de su reutilización.

2. Dotar a la comunidad que desee vincularse al proyecto de recolección con contenedores de almacenamiento apropiados, según la cantidad de AVU que consuman y generen. En estos contenedores podrían depositarse los recipientes de botellas plásticas de acuerdo al volumen aportado por los hogares. Botellas hechas en polietileno lo que permite a su vez gran resistencia al choque y a la flexión, escaso desgaste, adaptable a diferentes circunstancias térmicas y no muestra fenómenos de hinchamiento.

Figura 3. Botella plástica para reciclar.



Fuente: ENVASES DE PLASTICO ROHER Alcoholeros [en línea] disponible en: <http://www.envasesdeplasticoroher.com/envases/alcoholeros/>

Se estableció dejar envases especiales de vertimiento de aceite vegetal usado para que al momento de estos ser recogidos se les otorgue un nuevo envase limpio para su posterior uso.

Los contenedores en los cuales se recomienda deben ir almacenados las botellas plásticas serán elaborados de aluminio anodizado y fibra de vidrio, en su interior debe encontrarse un sistema de deslizamiento que impida la caída libre de las botellas plásticas.

3. Crear un cronograma con los días y horarios de recolección que se adapten a cada comunidad según sus necesidades. Ya que el almacenamiento del aceite vegetal usado durante largos periodos de tiempo impide la transesterificación del mismo. Esto permite entonces en el mercado satisfacer la oferta y demanda de biodiesel.

4. Implementar un sistema práctico de comunicación, información y atención, entre la comunidad y el sistema de recolección. Que permita de ser necesaria la recolección temprana fuera de los días ya agendando como también información de emergencia que se desee resolver por las partes involucradas en el sistema de recolección.

NOTA: Cada una de las anteriores pautas deben estar sujetas a un proceso previo de estudio, evaluación e implementación, con el fin de obtener un proceso de recolección que sea satisfactorio para la comunidad y los involucrados en la recolección del aceite vegetal usado.

7. OBTENCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE AVU

El proceso general de transesterificación o alcoholisis empleado para la obtención de biodiesel consiste en una reacción química reversible entre aceites vegetales usados (lípidos renovables) y un alcohol más base. De esta reacción se produce un metil éster y un subproducto (glicerol). Los cuales pueden emplearse en los motores de automoción de combustión interna (diésel) o en calderas de calefacción.

7.1 TECNOLOGÍA ACTUAL DE TRANSESTERIFICACIÓN PARA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL

Actualmente existen diversos procesos para desarrollar la reacción de transesterificación. Estas difieren según el tipo de alcohol y catalizador utilizado en dicha reacción. La selección del catalizador es un punto fundamental a la hora de identificar que procedimiento ofrece mejores resultados¹⁹.

- Transesterificación alcalina
- Transesterificación acida
- Transesterificación con catálisis enzimática

7.1.1 Transesterificación alcalina. Es el proceso más desarrollado y aplicado, debido a que los catalizadores empleados, como hidróxidos o carbonatos de sodio o potasio y son baratos. Recibe su nombre debido a que el catalizador utilizado es de carácter alcalino tales como hidróxido de sodio (NaOH), metóxido de sodio

¹⁹ FIGUEROA MÉNDEZ, Diana Carolina. SANCHEZ MARÍN, Nilson. 2015, Determinación de las variables óptimas para el procesamiento de aceite vegetal por medio de transesterificación en la obtención de biodiesel. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.

(NaOCH₃) e hidróxido de potasio (KOH). Este es el método más usado debido a que los reactivos son de fácil obtención y el catalizador alcalino ayuda a la velocidad de la reacción. Los productos obtenidos siguen siendo ésteres y glicerina, pero hay que tener cuidado ya que se presenta formación de jabones en la glicerina lo que puede ser un problema operacional a considerar²⁰.

Su desventaja consiste en la necesidad de tener ausencia total de agua, puesto que ésta induce una hidrólisis con formación de jabones y pérdidas de éster. El catalizador más usado es el hidróxido de sodio (NaOH) y es por esto que este proceso es más sensible a la pureza de los reactivos y de la humedad, debido a que el NaOH es altamente higroscópico, es decir que absorbe fácilmente la humedad del aire.

7.1.2 Transesterificación ácida. Compuestos ácidos son utilizados como catalizadores en la reacción de transesterificación ácida. Los ácidos más usados son ácido sulfúrico (H₂SO₄) y ácido clorhídrico (HCl). Uno de los primeros estudios realizados de esta reacción con catálisis ácida fue llevado a cabo por el químico "Canaksi Mustafa"²¹ en 2001 donde observo el comportamiento de la conversión de aceite a ésteres en cuatro parámetros fundamentales en la reacción como lo son la relación molar alcohol aceite, temperatura de reacción, concentración de ácido y contenido de agua, arrojando resultados importantes permitiendo saber que el contenido de agua afecta grandemente la reacción reduciéndola a porcentajes menores del 90%.

Además, se requieren temperaturas superiores a los 100°C, la separación del glicerol es difícil de realizar y se requieren materiales de construcción resistentes para los equipos. Este tipo de reacción presenta grandes inconvenientes a la hora

²⁰ MEHER, L.C; VIDYA SAGAR, D; NAIK, S.N. Technical aspects of biodiesel production by transesterificationa review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 10 (3): 2006 p. 248-268.

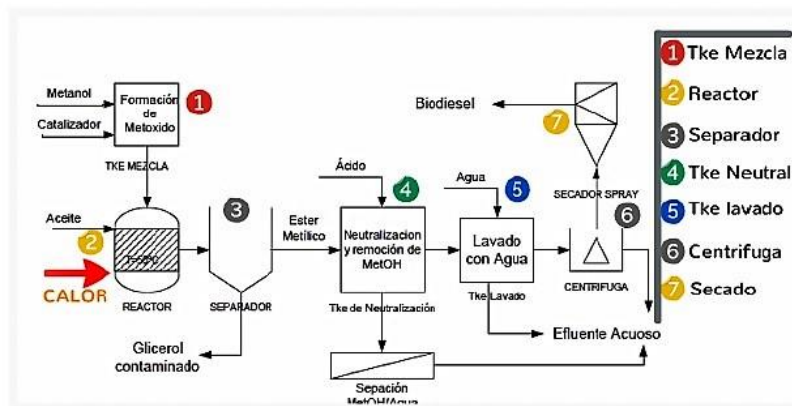
²¹ CANACKCI, Mustafa; The potential of restaurant waste lipids as biodiesel feedstocks.2001.

de manipular y obtener los reactivos debido a su peligrosidad y alta contaminación²².

7.1.3 Transesterificación con catálisis enzimática. El uso de enzimas puede ser uno de los procedimientos de mayor rendimiento debido a las importantes ventajas que ofrece una enzima y una de ellas es que estas enzimas se producen de manera muy selectivas por lo que se evitarían muchos procesos de pretratamientos y menos residuos. Pero el gran inconveniente es la obtención de la enzima²³. Hoy día, el costo de un reactivo para este tipo de reacción química podría superar los catalizadores mencionados anteriormente, por lo que este método no es viable comercialmente.

7.2 ETAPAS EN LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE AVU

Figura 4. Diagrama de flujo - Producción de biodiesel



Fuente: DICKSON, Andrés. Biodiesel: Generalidades y producción a pequeña escala. Taller de diseño, comunicación y representación gráfica. Universidad de la república. Uruguay. 2011.

²² MAY, C.Y. Transesterification of Palm Oil: Effect of Reaction Parameters. Journal of Oil Palm Research 16 (2): 2004 p. 1-11.

²³ HELWANI, Z., OTHMAN, M.R., AZIZ, N., KIM, J., FERNANDO, W.J.N. Solid heterogeneous catalysts for transesterification of triglycerides with methanol: A review. Applied Catalysis A: General 2009

Como es común, el aceite vegetal usado (AVU) por ser un aceite proveniente de frituras y de más, contiene contaminantes como partículas en suspensión de migas de comida e impurezas de suciedad y/o partículas de agua líquida, que pueden afectar el proceso de transesterificación, por tal motivo se debe hacer los respectivos procedimientos para tratar de retirar estos contaminantes mencionados. El primero de ellos y el más sencillo es el filtrado del aceite vegetal con ayuda de un papel filtro. El segundo procedimiento es la eliminación de las partículas de agua líquida presentes en el aceite usado. Para ello lo que se hace es calentar el aceite a una temperatura de 100°C y mantener dicha temperatura por un tiempo no mayor de 10 minutos²⁴.

7.2.1 Formación del Metoxido en tanque de mezcla (Metanol + Catalizador).

Se agrega lentamente con agitación Metanol y NaOH/KOH. La elección del alcohol está generalmente relacionada con factores económicos y aspectos técnicos del proceso de producción, como la facilidad de separación de ésteres y de glicerina. Los más utilizados son el metanol y el etanol, aunque otros alcoholes como el isopropanol y butílico también pueden ser utilizados.

El metanol presenta ventajas sobre el etanol, destacando:

- Requiere menor cantidad de alcohol en exceso.
- Posee mayor eficiencia de conversión de aceites.
- Requiere menores temperaturas de reacción.
- Posee menor tiempo de reacción.
- Separación de fases más fácil.
- Recuperación más fácil.

²⁴ FIGUEROA MÉNDEZ, Diana Carolina. SANCHEZ MARÍN, Nilson. 2015, Determinación de las variables óptimas para el procesamiento de aceite vegetal por medio de transesterificación en la obtención de biodiesel. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.

Para acelerar la reacción de transesterificación se utiliza normalmente un catalizador (NaOH, NaOCH₃ o KOH). En relación a los catalizadores básicos, los alcóxidos y los hidróxidos de metales alcalinos son los más utilizados. De los alcóxidos, principalmente el metóxido de sodio y de potasio, son los catalizadores más activos, produciendo rendimientos muy elevados (98% y 97% respectivamente, frente a 90% del hidróxido de potasio 85% del hidróxido de sodio) y reduciendo el tiempo de reacción. En tanto, estos catalizadores son desactivados por el agua por lo que necesitan que la proporción de agua en el alcohol y en el aceite sea muy baja²⁵.

7.2.2 Reactor agitado. Cuando una reacción de transesterificación se lleva a cabo, puede observarse inicialmente la formación de dos fases, fase de alcohol y fase de aceite vegetal, que se mezclan en el transcurso de la reacción. Al concluir, dentro del reactor se forman dos nuevas fases bien diferenciadas, fase de “cima” constituida básicamente por éster y la fase de “fondo” formada por glicerol²⁶.

7.2.3 Separación Ester Met/Glicerol. En la transesterificación se debe tener en cuenta el contenido de agua y ácidos grasos libre de la materia prima, debido a que la presencia del agua puede causar la saponificación del éster y puede consumir el catalizador y reducir la eficacia del mismo. El contenido máximo de ácidos grasos libre debe ser de 0,5%²⁷.

Como se ha referido anteriormente, después de la reacción existen dos productos principales: glicerina y ésteres. Estos dos productos tienen densidades diferentes. Los ésteres tienen densidad del orden de 0,83 g/cm³, mientras que el glicerol

²⁵ VICENTE, G.; MARTINEZ, M.; ARACIL, J. Integrated biodiesel production: a comparison of different homogeneous catalysts systems. *Bioresource Technology* 92 (2004) 297–305.

²⁶ ISHIKURA, C. Relatório de estágio produção de biodiesel a partir de óleos usados de fritura. 2005. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Departamento de Engenharia Química e Alimentos. Brasil. 54 p.

²⁷ CORPODIB, Corporación para el desarrollo industrial de la biotecnología y producción limpia. Programa estratégico para la producción de biodiésel – combustible automotriz a partir de aceites vegetales. 2003. Informe final. Bogotá. Colombia. 445 p.

tiene una densidad de orden de 1,05 g/cm³ o más. La densidad de la fase de glicerol depende de la cantidad de alcohol, agua y catalizador que contenga. Esta diferencia de densidad es suficiente para que las fases puedan ser separadas por gravedad en un decantador. Como alternativa a la decantación puede ser utilizada una centrífuga para separar estos dos compuestos, siendo esta operación más rápida, pero requiere de una mayor inversión en equipos; o la utilización de aditivos que promuevan la aglomeración de moléculas de glicerol tornando el proceso más rápido. La glicerina arrastra consigo la mayor parte del jabón, catalizador y alcohol.

Aún con esto, la tasa de separación es afectada por diversos factores. La mayoría de los procesos utilizan una agitación intensa durante la reacción, al menos en su inicio para la incorporación del alcohol en exceso en la fase de aceite. Si este grado de agitación se prolonga durante todo el tiempo de reacción, el glicerol se dispersará en el medio en partículas más pequeñas. Esta dispersión acarreará un mayor tiempo de decantación de las partículas en la fase de glicerol²⁸.

7.2.4 Neutralización (agregado de ácido Fosfórico). Otro factor importante es el pH del medio de reacción. Cuanto más cerca al neutro, más rápida será la separación de fases. Ésta es una de las razones por las cuales se debe minimizar la cantidad de catalizador utilizado. La presencia de alcohol en una o ambas fases también afectaría el proceso de separación. Esto se debe al hecho de que el alcohol es miscible en ambas fases, tornando el éster soluble en glicerol y vice-versa.

El tratamiento con ácido fosfórico elimina el catalizador y convierte los jabones en ácidos grasos libres y el exceso de metanol se elimina por destilación a vacío (en plantas de pequeña producción no se realiza este paso).

²⁸ VAN GERPEN, J.; SHANKS, B.; PRUSZKO, R.; CLEMENTS, D.; KNOTHE, G. Biodiesel Production Technology - August 2002–January 2004. 2004. Subcontractor report. National Renewable Energy Laboratory. 110 p.

7.2.5 Lavado de biodiesel. Elimina restos de glicerina, catalizador y alcohol. El lavado se realiza por aspersión de agua templada (50 a 60 °C). La aspersión debe ser tal, que no promueva la agitación para prevenir la formación de emulsión²⁸.

7.2.6 Centrifugación. Separar el agua de lavado del biodiesel

7.2.7 Secado de Biodiesel. Elimina restos de agua y completa la remoción del alcohol. Finalmente, se procede a realizarse el control de calidad del biodiesel obtenido. Donde el producto obtenido debe cumplir con cada una de las especificaciones impartidas por la normativa vigente.

8. ENCUESTA

La Tabla 14 es la síntesis de los resultados de la encuesta que se realizó en el barrio la universidad de la ciudad de Bucaramanga a cien unidades residenciales, teniendo en cuenta también locales y restaurantes de esta misma zona.

Tabla 14. Resultados de encuesta realizada.

		OPCIONES			
		A	B	C	D
# PREGUNTAS	1	<i>N.A, suma un total de 304 personas</i>			
	2	92	4	4	0
	3	<i>N.A, Suma en total 319 litros de aceite vegetal</i>			
	4	43	49	5	3
	5	37	63	N.A	
	6	93	7	N.A	
	7	52	48	N.A	
	8	45	33	17	5
	9	92	8	N.A	
	10	5	95	N.A	
	11	43	35	14	8

Esta encuesta tiene algunos puntos claves, algunos de ellos se nombrarán continuación para hacer hincapié y resaltar aspectos que influyen directamente en la contaminación ambiental por el aceite vegetal usado.

Los aspectos importantes o puntos claves que la encuesta revelo son:

- Cada persona consume aproximadamente 1,05 litros de aceite vegetal al mes

- Un 92% del AVU se deposita de manera irresponsable en la basura y la cañería.
- El 63% de los encuestados no conoce de manera concreta los efectos al medio ambiente de la mala deposición del aceite vegetal usado.
- Más del 90% de los encuestados ve con buenos ojos que se recolecte el aceite vegetal usado porque les evita el problema de qué hacer con este.
- En general la gente no conoce y no está interesada en qué uso se le dé a este aceite, siempre y cuando sea positivo para el medio ambiente.
- En general la gente está dispuesta a colaborar con un sistema de recolección.

Estos aspectos muestran un poco el panorama en cuanto a la gran cantidad de aceite que se vierte y deposita en de forma irresponsable en la mayoría de los casos por desconocimiento, por falta de información o por falta de una sistema que le preste el servicio a la gente para deshacerse del aceite y no tener que arrojarlo a la basura o al alcantarillado, así mismo permite destacar como los encuestados se encontraron dispuesto a una colaboración gratuita con un sistema de recolección de AVU, con el interés de ayudar al medio ambiente.

9. CONCLUSIONES

Por intermedio de este estudio obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Se identificaron y evaluaron las variaciones de parámetros fisicoquímicos de las muestras de aguas residuales, donde se evidencia a través de los resultados altos valores en los parámetros SST, DQO, DBO5, Grasas y aceites, con valores entre 601-619 mg/L, 46762-106575 mg O₂/L, 19764-17172 mg O₂/L, 49702-301241 mg/L, respectivamente. Que sobrepasan los límites aceptados por el ministerio de ambiente en Colombia de manera abrupta, indicando la afección del cuerpo de agua superficial por parte de materia orgánica no biodegradable, la cual es resistente a la descomposición microbiana, lo que representa riesgo de vida para las especies vegetales y animales.
- Se observa a través de los resultados de laboratorio que el parámetro fisicoquímico Potencial de hidrogeno (pH) de las aguas residuales en presencia de aceite vegetal usado no presenta variación considerable, encontrándose en el rango entre 6,72 y 6,94 para concentraciones entre el 5% v/v y 25% v/v respectivamente, lo cual está dentro de un rango considerado como neutro y que permite el desarrollo de la fauna y la flora de manera normal.
- Los sistemas de recolección de AVU permiten que se reduzca en aproximadamente 1,05 litros/personas mensuales el desecho del mismo, remplazando la inadecuada deposición en las aguas residuales, los sistemas de recolección de basuras tradicionales y otros métodos utilizados para deshacerse de estos aceites luego de uso.

- El plan generalizado de manejo y recolección de aceite vegetal usado permite prevenir, mitigar, corregir, controlar y subsanar los impactos ambientales de éste, impulsando a su vez proyectos empresariales como la obtención biodiesel y otros.

10. RECOMENDACIONES

- Debe hacerse un estudio de la contaminación ambiental generada por la deposición de AVU, teniendo en cuenta los parámetros físico-químicos del agua que no se incluyeron en este proyecto de grado, con el fin de tener el problema ambiental identificado de manera más amplia y concluyente.
- Deben realizarse un mayor número de pruebas de laboratorio para cada parámetro físico-químico del agua, obteniendo una base de datos sólida que permita hacer un análisis estadístico de la contaminación ambiental por AVU.
- Es importante, que en Colombia se ejerza mayor control acerca de la deposición del AVU en las aguas residuales ARD y ARnD, por parte el ministerio de ambiente como principal ente encargado.
- Debe tramitarse en Colombia una legislación más fuerte contra la contaminación ambiental por AVU, que permita una reducción de esta problemática y que proteja de manera más certera y eficiente los cuerpos de aguas superficiales a los cuales llegan las ARD y las ARnD.
- Se debe realizar un estudio de viabilidad económica para implantar y poner en operación un sistema de recolección de aceite vegetal usado, teniendo en cuenta los usos en materia de industria que a este se le pueden dar.
- Desarrollar un estudio de viabilidad económica de una planta para la producción de biodiesel usando como materia prima el aceite vegetal usado (AVU) que se pueda obtener por medio de un sistema de recolección.

- Es necesaria la vinculación de la red de consumidores de aceite vegetal dentro de un sistema de recolección, que garantice el AVU como materia prima en la producción y obtención de biodiesel.

BIBLIOGRAFIA

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, American Water Works Association, Water Pollution

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Annual book of Standards 1994

ANAYA ACEVEDO, Javier Armando. Análisis de la calidad de agua del río de oro aplicando índices de contaminación (íco's) en la zona de influencia del barrio la colina campestre en el municipio de Piedecuesta-Santander. Bucaramanga. 2013

AVILA GÓMEZ, Adrián E. Desarrollo de la cinética química de la reacción de transesterificación de la oleína de palma. Barranquilla.2006

CANACKCI, Mustafa; The potential of restaurant waste lipids as biodiesel feedstocks.2001.

CASTILLO, D. "Vialidad de los biocombustibles y bioetanol". 2009.

CONTROL FEDERATION. 21st. ed., New York, 2005. pp 5-37.

CORPODIB, Corporación para el desarrollo industrial de la biotecnología y producción limpia. Programa estratégico para la producción de biodiésel – combustible automotriz a partir de aceites vegetales. 2003. Informe final. Bogotá. Colombia. 445 p.

DETERMINACIÓN DE PH EN AGUA. Método 4500-H+ B 1995

DETERMINACIÓN DE PH EN EL AGUA. Metodo ASTM D 1293-84 reprobado en 1990

FIGUEROA MÉNDEZ, Diana Carolina. SANCHEZ MARÍN, Nilson. 2015, Determinación de las variables óptimas para el procesamiento de aceite vegetal por medio de transesterificación en la obtención de biodiesel. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.

GÓMEZ PERERIRA, July Paola. Estandarización de cuatro métodos de análisis para la determinación de la alcalinidad total, dureza total, dureza cálcica y cloruros utilizados como indicadores de contaminación en aguas naturales, potables y residuales industriales. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 2013.

HELWANI, Z., OTHMAN, M.R., AZIZ, N., KIM, J., FERNANDO, W.J.N. Solid heterogeneous catalysts for transesterification of triglycerides with methanol: A review. Applied Catalysis A: General 2009

HERRERA, Juan y VÉLEZ, Julián. Caracterización y aprovechamiento del aceite residual de frituras para la obtención de un combustible (biodiesel). Escuela de tecnología química. Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, Colombia. 8 p. 2008.

ISHIKURA, C. Relatório de estágio produção de biodiesel a partir de óleos usados de fritura. 2005. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Departamento de Engenharia Química e Alimentos. Brasil. 54 p.

MAY, C.Y. Transesterification of Palm Oil: Effect of Reaction Parameters. Journal of Oil Palm Research 16 (2): 2004 p. 1-11.

MEHER, L.C; VIDYA SAGAR, D; NAIK, S.N. Technical aspects of biodiesel production by transesterification a review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 10 (3): 2006 p. 248-268.

ROBALINO, Carlos Samuel. y Dra. MANZANO, Patricia. Guía para la obtención de biodiesel por medio de Transesterificación de aceites vegetales y animales. Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción. Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). Guayaquil, Ecuador. 2 p

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION of water and waste water publicado por la APHA.

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION of Water and Wastewater. 5-DAY BOD TEST 5210 B. Membrane Electrode Method 4500- O G. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. 21st ed., New York, 2005.pp 5-2, 4-141.

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION of Water and Wastewater. Method 5520 B. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. 21st. ed., New York, 2005. pp 5-37.

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION of Water and Wastewater. Method 5520 B.

STEGER, Eva; GUTIÉRREZ., Joseph, Zambrano M y otros. Soft & Pure Producción de Jabón. Facultad de Ingeniería. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela. 2016.

SUÁREZ MARCOS, Irene. Transesterificación de aceites vegetales con metanol utilizando catalizadores mesoestructurados funcionalizados con grupos sulfónicos. Móstoles, España. 2010.

URIBE GÓMEZ, Morayma. Simulación de una planta piloto para la producción de biodiesel en el laboratorio de operaciones unitarias de la esiqie. Departamento de Ingeniería química petrolera. Instituto politécnico nacional. México D.F.2010.

VAN GERPEN, J.; SHANKS, B.; PRUSZKO, R.; CLEMENTS, D.; KNOTHE, G. Biodiesel Production Technology - August 2002–January 2004. 2004. Subcontractor report. National Renewable Energy Laboratory. 110 p.

VARGAS DORADO, Mabel Cristina. SOLARTE URBANO, Natalia. Diseño de las estrategias de recolección del aceite de cocina usado para su reutilización en la producción de biodiesel en cuatro (4) barrios de la ciudad de Cali. Santiago de Cali. 2013.

VICENTE, G.; MARTINEZ, M.; ARACIL, J. Integrated biodiesel production: a comparison of different homogeneous catalysts systems. Bioresource Technology 92 (2004) 297–305.

ANEXOS

Anexo A. Informe de resultados quimicos de consultas industriales

	LABORATORIO QUIMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES	Código: F-PA-02	
	POST-ANALITICO	Versión: 08	
	INFORME DE RESULTADOS	Fecha: 2016/08/08 Página 1 de 4	



Acreditación por el IDEAM según la Resolución No. 1111 de 2015 y Resolución 0921 de 2016, en los parámetros pH, DBO₅, DOQ, SST, fenoles, SAAM, grasas y aceites, hidrocarburos en aguas, metales totales y disueltos en aguas, pH y metales totales en suelos, TCLP en residuos peligrosos y toma de muestras puntuales y compuestas





Autorización del Ministerio de la Protección Social, mediante la resolución 1615 de 2015, para la realización de análisis físicos, químicos y microbiológicos al agua para consumo humano

Informe de resultados No.	I-16-452	Fecha de emisión:	Octubre 05 de 2016
Cliente:	BRANDON ALFONSO CASTAÑEDA – JEISON SOLANO SOLANO		
Dirección del cliente:	Calle 32 No. 32-70		
Solicitud de servicio No.	16-410	No. de muestras:	05
Fecha de recepción de las muestras:	Septiembre 23 de 2016		
Muestras recibidas por:	Amparo López		
Fecha de análisis:	Septiembre 26 de 2016 – Octubre 05 de 2016		

1. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra:	16-410-01	Tipo de muestra:	Puntual
Identificación de la muestra:	MUESTRA 1		
Matriz de la muestra:	Agua Proceso Experimental		
Muestreo realizado por:	El Cliente		
Lugar y punto de muestreo:	Bucaramanga / Casa		
Fecha del muestreo:	Septiembre 22 de 2016		

PARAMETRO	RESULTADO	METODO
Demanda Bioquímica Oxígeno (mg O ₂ /L)	46762,5	Respirométrico / SM 5210 D
Demanda Química Oxígeno (mg O ₂ /L)	19764	Titrimétrico –Reflujo Cerrado/SM 5220 C
Sólidos Suspendidos Totales(mg/L)	601	Gravimétrico/ SM 2540 D
Grasas y Aceites (mg/L)	49702,8	Extracción Líquido-Líquido / SM 5520 B
pH (Unidades de pH)	6,74	Potenciométrico / SM 4500-H ⁺ B

	LABORATORIO QUÍMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES	Código: F-PA-02	
	POST-ANALITICO	Versión: 06	
	INFORME DE RESULTADOS	Fecha: 2016/06/08 Página 2 de 4	

Informe de resultados No. I-16-452 Solicitud de servicio No. 16-410

2. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra:	16-410-02	Tipo de muestra:	Puntual
Identificación de la muestra:	MUESTRA 2		
Matriz de la muestra:	Agua Proceso Experimental		
Muestreo realizado por:	El Cliente		
Lugar y punto de muestreo:	Bucaramanga / Casa		
Fecha del muestreo:	Septiembre 22 de 2016		



PARAMETRO	RESULTADO	METODO
Demanda Bioquímica Oxígeno (mg O ₂ /L)	63075	Respirométrico / SM 5210 D
Demanda Química Oxígeno (mg O ₂ /L)	18468	Titrimétrico –Reflujo Cerrado/SM 5220 C
Sólidos Suspendidos Totales(mg/L)	589	Gravimétrico/ SM 2540 D
Grasas y Aceites (mg/L)	97140,2	Extracción Líquido-Líquido / SM 5520 B
pH (Unidades de pH)	6,79	Potenciométrico / SM 4500-H ⁺ B

3. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra:	16-410-03	Tipo de muestra:	Puntual
Identificación de la muestra:	MUESTRA 3		
Matriz de la muestra:	Agua Proceso Experimental		
Muestreo realizado por:	El Cliente		
Lugar y punto de muestreo:	Bucaramanga / Casa		
Fecha del muestreo:	Septiembre 22 de 2016		

PARAMETRO	RESULTADO	METODO
Demanda Bioquímica Oxígeno (mg O ₂ /L)	16965	Respirométrico / SM 5210 D
Demanda Química Oxígeno (mg O ₂ /L)	19845	Titrimétrico –Reflujo Cerrado/SM 5220 C
Sólidos Suspendidos Totales(mg/L)	581	Gravimétrico/ SM 2540 D
Grasas y Aceites (mg/L)	16218,2	Extracción Líquido-Líquido / SM 5520 B
pH (Unidades de pH)	6,83	Potenciométrico / SM 4500-H ⁺ B

Ciudad Universitaria Carrera 27 Calle 9 – Edificio Camilo Torres/ Laboratorio 222
Conmutador: (7) 6344000 Ext. 1469-2463-2465. Telefax: (7) 6349009
Página web: <http://ciencias.uis.edu.co/lqci/> E-mail: labquimco@gmail.com
Bucaramanga - Colombia

	LABORATORIO QUIMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES	Código: F-PA-02	
	POST-ANALITICO	Versión: 06	
	INFORME DE RESULTADOS	Fecha: 2016/06/08 Página 3 de 4	

Informe de resultados No. I-16-452 Solicitud de servicio No. 16-410

4. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra:	16-410-04	Tipo de muestra:	Puntual
Identificación de la muestra:	MUESTRA 4		
Matriz de la muestra:	Agua Proceso Experimental		
Muestreo realizado por:	El Cliente		
Lugar y punto de muestreo:	Bucaramanga / Casa		
Fecha del muestreo:	Septiembre 22 de 2016		



PARAMETRO	RESULTADO	METODO
Demanda Bioquímica Oxígeno (mg O ₂ /L)	104400	Respirométrico / SM 5210 D
Demanda Química Oxígeno (mg O ₂ /L)	16524	Titrimétrico –Reflujo Cerrado/SM 5220 C
Sólidos Suspendidos Totales(mg/L)	582	Gravimétrico/ SM 2540 D
Grasas y Aceites (mg/L)	232714,6	Extracción Líquido-Líquido / SM 5520 B
pH (Unidades de pH)	6,92	Potenciométrico / SM 4500-H*B

5. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra:	16-410-05	Tipo de muestra:	Puntual
Identificación de la muestra:	MUESTRA 5		
Matriz de la muestra:	Agua Proceso Experimental		
Muestreo realizado por:	El Cliente		
Lugar y punto de muestreo:	Bucaramanga / Casa		
Fecha del muestreo:	Septiembre 22 de 2016		

PARAMETRO	RESULTADO	METODO
Demanda Bioquímica Oxígeno (mg O ₂ /L)	106575	Respirométrico / SM 5210 D
Demanda Química Oxígeno (mg O ₂ /L)	17172	Titrimétrico –Reflujo Cerrado/SM 5220 C
Sólidos Suspendidos Totales(mg/L)	619	Gravimétrico/ SM 2540 D
Grasas y Aceites (mg/L)	301241,6	Extracción Líquido-Líquido / SM 5520 B
pH (Unidades de pH)	6,94	Potenciométrico / SM 4500-H*B

Ciudad Universitaria Carrera 27 Calle 9 – Edificio Camilo Torres/ Laboratorio 222
Conmutador: (7) 6344000 Ext. 1469-2463-2465. Telefax: (7) 6349009
Página web: <http://ciencias.uis.edu.co/lqci/> E-mail: labquimco@gmail.com
Bucaramanga - Colombia

	LABORATORIO QUIMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES	Código: F-PA-02	
	POST-ANALITICO	Versión: 06	
	INFORME DE RESULTADOS	Fecha: 2016/06/08 Página 4 de 4	

Informe de resultados No. I-16-452 Solicitud de servicio No. 16-410

Observaciones: Ninguna

Nota 1: Estos resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas y reportadas por el laboratorio.

Nota 2: En caso de ser copia del resultado original se realizará la siguiente aclaración: Copia del resultado original.

Estimado cliente: Para nosotros es muy importante conocer sus inquietudes, sugerencias, felicitaciones, quejas y/o reclamos en los servicios prestados por el laboratorio, con el propósito de mejorar nuestros servicios. Le agradecemos que se comunique con el laboratorio, donde un miembro del personal amablemente recibirá su solicitud y pronto estaremos en comunicación con usted para aclarar y/o resolver su requerimiento.

Revisó y aprobó:



Luz Yolanda Vargas Fiallo
Directora del Laboratorio
Química. Msc Química UIS
MP PQ 1144

Elaboró: Amparo López G

Anexo B. Formato de encuesta en conocimiento y uso del AVU

Encuesta conocimiento y uso del aceite vegetal usado

La presente encuesta tiene como único objetivo recolectar información de aspectos relacionados con el uso, la deposición y la posible solución a esta problemática ambiental, para que este aceite vegetal usado no llegue a los cuerpos de agua mediante las aguas residuales.

1. ¿Cuántas personas viven en su domicilio?

2. ¿Qué tipo de aceite usa para freír alimentos en su cocina?

- A. Aceite vegetal
- B. Mantequilla, margarina u otro tipo de grasa animal
- C. Otro tipo de aceite
- D. Todas las anteriores

3. ¿De lo anterior término medio, cuantos litros de aceite vegetal consume mensualmente en su domicilio para freír alimentos?

_____ LITROS

4. ¿Qué hace con el aceite usado en su domicilio?, ¿Qué destino da al aceite usado?

- A. Lo tiro a la basura
- B. Lo tiro por la alcantarilla/fregadero.
- C. Lo entrego a una entidad que recoge el aceite usado directamente en casa.
- D. Lo llevo a una entidad capacitada para disponer de el

5. **¿Conoce los efectos ambientales de una mala disposición del aceite vegetal usado?**

- A. SI
- B. NO

6. **¿Considera que un sistema de recolección de aceite vegetal usado, el cual recoja este aceite con el fin de darle un nuevo uso y evitar que este llegue al medio ambiente, es la mejor opción para evitar esta problemática?**

- A. SI
- B. NO

7. **¿Sabe qué uso o usos industriales puede darse al aceite usado recogido?**

- A. SI
- B. NO

8. **¿Qué tipos de uso conoce?**

- A. Producción de biodiesel/biocombustibles.
- B. Fabricación de jabón.
- C. Alimento de animales.
- D. Otros

9. **¿Ha usado alguna vez un sistema de recogida de aceite usado?**

- A. SI
- B. NO

10. **¿Existe un sistema de recolección de aceite usado en la zona donde vive?**

- A. SI
- B. NO

11. **¿Si en la zona donde vive se instalará un sistema de recogida de aceite usado, estaría dispuesto a reciclar su aceite usado? (Esto significa que tendría que almacenarlo en casa y depositarlo más tarde en un contenedor autorizado).**

- A. Si, participaría en cualquier caso incluso si el sistema es complejo.
- B. Sí, pero sólo participaría en el caso en el que fuera un sistema práctico y sencillo.
- C. No participaría en ninguna ocasión.
- D. Ya reciclo