



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y
Recursos Hidráulicos (ERIS)

**RELACIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO DE TRAMPAS DE
GRASAS (DESENGRASADORES) VERSUS SU EFICIENCIA,
EN AGUAS RESIDUALES COMERCIALES**

Ing. Martín Chinchilla Paniagua

Asesorado por el MSc. Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos

Guatemala, septiembre de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**RELACIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO DE TRAMPAS DE
GRASAS (DESENGRASADORES) VERSUS SU EFICIENCIA,
EN AGUAS RESIDUALES COMERCIALES**

ESTUDIO ESPECIAL

PRESENTADO A LA ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA
Y RECURSOS HIDRÁULICOS (ERIS)

POR

ING. MARTÍN CHINCHILLA PANIAGUA

ASESORADO POR EL MSC. ING. ADÁN POCASANGRE COLLAZOS

COMO REQUISITO PREVIO PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE

**MAESTRO (*MAGISTER SCIENTIFICAE*) EN CIENCIAS
DE INGENIERÍA SANITARIA**

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**DIRECTOR DE LA ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y
RECURSOS HIDRÁULICOS (ERIS)**

MSc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN DE ESTUDIO ESPECIAL

EXAMINADOR	MSc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis
EXAMINADOR	MSc. Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos
EXAMINADOR	MSc. Ing. Félix Alan Douglas Aguilar Carrera

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

RELACIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO DE TRAMPAS DE GRASAS (DESENGRASADORES) VERSUS SU EFICIENCIA, EN AGUAS RESIDUALES COMERCIALES

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), con fecha 09 de julio de 2014.



Ing. Martín Chinchilla Paniagua
martinchillap@gmail.com
Carné No. 201490161

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser mi apoyo y guía espiritual cada día y permitirme cumplir una meta más en mi vida.
Mis padres	Sandra Paniagua Paniagua y Martín E. Chinchilla Fonseca, por su continua educación en mi vida, ser ejemplo de ética y profesionalismo, el incondicional apoyo y su eterno amor.
Mis hermanos	Adelina, Elena y Jorge Chinchilla Paniagua, por ser ejemplo de superación, su comprensión, cariño y apoyo incondicional.
Mi esposa	María Fernanda Ramírez, por darle más alegría a mi vida, por su amor y cariño incondicional, darme su apoyo en todo momento, por ser mi amiga, mi novia y mi amor.
Mi familia	A mi familia costarricense y guatemalteca por todo el apoyo y cariño que me brindan.
Mis compañeros, amigos y docentes	Por su apoyo en todo momento, su confianza y por ser parte importante de mi vida.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por colaborar conjunto a la ERIS y apoyar la formación de ingenieros en el área hídrica y sanitaria.

Mis padres

Por su apoyo emocional y económico, para sacar adelante un proyecto más de vida.

**Inga. María Fernanda
Ramírez Hernández**

Por su apoyo en todo el proceso, por la motivación y comprensión. Gracias por tu amor.

**Ing. Andy Williams
Alonzo**

Por su ayuda en todo momento, su ética, humildad, compañerismo y sobre todo su don de gente. Gracias por tu apoyo en el desarrollo de este trabajo.

**MSc. Ingeniero Adán
Pocasangre**

Por su tiempo y dedicación durante las consultas, por compartir su experiencia y conocimiento para el desarrollo de este trabajo.

**MSc. Ing. Félix Aguilar
Carrera**

Por su espacio y tiempo para aclarar consultas para llevar a cabo el desarrollo del trabajo especial.

MSc. Ing. Pedro Saravia Celis	A su dedicación en la dirección de la ERIS, sus consejos, su tiempo y conocimiento compartido para cada uno de los estudiantes.
Lic. Federico Nave	Por la recomendación del modelo estadístico y por el espacio brindado para el entendimiento del mismo.
Dr. Ernesto Villagrán	Por el tiempo brindado y apoyo en las consultas en la modelación del SPSS.
Arq. Amilcar Figueroa	Por la oportunidad de realizar este trabajo de investigación en su recinto de trabajo. También a todo el equipo de trabajo de la cafetería por el buen trato que me brindaron, gracias a Marina Rueda, Brenda Hernández, Reynaldo Lampin, César Galindo y Álvaro Cortez.
Ing. Zenón Much	Por compartir todo su conocimiento con nosotros y hacer de las clases de química, microbiología y limnología algo especial.
Moisés Adolfo Dubón Gálvez	Por el apoyo brindado en el laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria Dra. Alba Tabarini de la ERIS, Usac.
Al lector	Por su interés en esta investigación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XIII
RESUMEN.....	XXI
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XXIII
JUSTIFICACIÓN.....	XXV
OBJETIVOS.....	XXVII
HIPÓTESIS.....	XXIX
ANTECEDENTES GENERALES.....	XXXI
ALCANCES Y LÍMITES	XXXV
INTRODUCCIÓN	XXXVII
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Agua residual.....	1
1.1.1. Aguas residuales domésticas	2
1.1.2. Aguas residuales comerciales	3
1.1.3. Aguas residuales industriales	5
1.2. Composición de las aguas residuales domésticas y comerciales	5
1.2.1. Aguas negras.....	6
1.2.2. Aguas grises	8
1.2.2.1. Producción de aguas grises.....	8
1.2.2.2. Caracterización de aguas grises.....	10
1.2.2.3. Consideraciones de las aguas grises ..	11

1.2.2.4.	Comparación de las aguas grises y negras	13
2.	TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	15
2.1.	Pretratamiento.....	17
2.1.1.	Cribas.....	18
2.1.2.	Desarenadores.....	19
2.1.3.	Trampas de grasa y aceite	21
2.1.3.1.	Tipos de separación	23
2.1.3.1.1.	Sistema mecánico de flotación.....	25
2.1.3.1.2.	Separación natural	29
3.	METODOLOGÍA	31
3.1.	Investigación de información	31
3.2.	Punto de muestreo	32
3.2.1.	Información general de la cafetería	33
3.3.	Procedimiento de diseño experimental	34
3.3.1.	Construcción del modelo experimental	35
3.3.2.	Parámetros experimentales.....	37
3.3.3.	Inversión económica de la investigación	39
3.4.	Método estadístico	39
3.4.1.	Regresión múltiple.....	40
3.4.1.1.	Aplicaciones de la regresión múltiple ...	40
3.4.1.2.	Requisitos y limitaciones	41
3.4.1.3.	Variables numéricas e indicadoras.....	42
3.4.2.	Número de muestras.....	42
3.4.3.	Determinación de probabilidad del número de muestras.....	45

3.4.4.	Modelación estadística	48
4.	RESULTADOS	53
4.1.	Curva de caudal	53
4.2.	Toma de muestras.....	56
4.2.1.	Análisis fisicoquímico del agua comercial.....	57
4.3.	Biodegradabilidad del agua	68
4.4.	Remoción de DBO ₅ y DQO con el pretratamiento	69
4.5.	Resumen variables y datos en SPSS.....	70
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	71
5.1.	Análisis de regresión múltiple	72
5.1.1.	Modelo con variables independientes.....	74
5.1.2.	Modelo con covariables	76
5.1.3.	Modelo con variables independientes y covariables.....	79
5.2.	Análisis de la eficiencia respecto a días de operación	87
5.3.	Comparación del efluente de la trampa de grasas con el Reglamento de Vertido de Guatemala	91
5.4.	Comportamiento de la DBO ₅ y DQO	92
	CONCLUSIONES	97
	RECOMENDACIONES	99
	BIBLIOGRAFÍA.....	101
	APÉNDICES	107
	ANEXOS.....	127

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Fluctuación del agua residual y concentración de sólidos sedimentables, para una población de 50 000 habitantes en 24 horas.....	3
2.	Rejilla con lámina de escurrimiento.....	18
3.	Canal desarenador.....	20
4.	Trampa de grasas y aceites.....	23
5.	Trampa de espuma de Wolf.....	27
6.	Ubicación del muestreo.....	32
7.	Dimensionamiento de trampa de grasas experimental.....	35
8.	Instalación de trampa de grasas experimental.....	37
9.	Gráfica para tabla distribución F de Fisher.....	45
10.	Vista de introducción de variables del SPSS.....	49
11.	Vista de introducción de datos de variables del SPSS.....	50
12.	Proceso de medición de caudal.....	53
13.	Gráfica de curva de caudal durante cada 15 minutos.....	55
14.	Gráfica de curva de caudal durante cada 30 minutos.....	55
15.	Gráfica de curva de caudal durante cada hora.....	56
16.	Primer muestreo de modelo experimental.....	57
17.	Altura de grasas, aceites y sólidos sedimentados en día 1.....	58
18.	Altura de grasas, aceites y sólidos sedimentados en día 3.....	59
19.	Altura de grasas, aceites y sólidos sedimentados en día 5.....	60
20.	Altura de grasas, aceites y sólidos sedimentados en día 7.....	61
21.	Altura de grasas, aceites y sólidos sedimentados en día 9.....	62

22.	Altura de grasas, aceites y sólidos sedimentados en día 1, repetición 2	63
23.	Altura de grasas, aceites y sólidos sedimentados en día 3, repetición 2	64
24.	Altura de grasas, aceites y sólidos sedimentados en día 5, repetición 2	65
25.	Altura de grasas, aceites y sólidos sedimentados en día 7, repetición 2	66
26.	Altura de grasas, aceites y sólidos sedimentados en día 9, repetición 2	67
27.	Caudal cafetería Nissi <i>versus</i> caudal residual comercial típico	71
28.	Gráfica de eficiencia de grasas y aceites <i>versus</i> caudal.....	82
29.	Gráfica de Ef_{GyA} <i>versus</i> Vol_{Trampa}	83
30.	Gráfica de Ef_{GyA} <i>versus</i> Vol_{Trampa}	84
31.	Eficiencia de trampa de grasas y aceites para diferentes valores de caudal y volúmenes de trampas	87
32.	Gráfico de remoción de grasas y aceites <i>versus</i> días de operación en cafetería Nissi	88
33.	Relación de DBO_5 y días de operación.....	93
34.	Relación de DQO y días de operación.....	94

TABLAS

I.	Caudales residuales de establecimientos comerciales.....	4
II.	Composición típica del agua residual doméstica bruta	6
III.	Resumen de uso del agua que se convierte en aguas grises	9
IV.	Demanda de agua para diferentes actividades domésticas	10
V.	Características de las aguas grises en casas de Omani, Omán.....	12

VI.	Cantidad y composición de las aguas residuales y demanda de agua en viviendas particulares, según Pöpel.....	13
VII.	Aportes per cápita de los diferentes componentes del agua residual doméstica	14
VIII.	Límites máximos permisibles para entes generadores nuevos.....	17
IX.	Material retenido en las cribas según abertura	19
X.	Velocidades de sedimentación para diferentes tamaños de arenas a una temperatura de 16 °C y una eliminación al 90 %	21
XI.	Resultados de la flotación en aguas residuales industriales	26
XII.	Dimensionamiento de separadores de aceites y grasas, según normas suizas.....	29
XIII.	Tiempo de retención hidráulico mínimo según caudal	30
XIV.	Muestreos según día de operación (una repetición)	44
XV.	Caudal total cada 15 minutos de un día.....	54
XVI.	Muestra 1, 2 y 3 – Repetición 1 – Día 1 de operación	58
XVII.	Muestra 4, 5 y 6 – Repetición 1 – Día 3 de operación	59
XVIII.	Muestra 7, 8 y 9 – Repetición 1 – Día 5 de operación	60
XIX.	Muestra 10, 11 y 12 – Repetición 1 – Día 7 de operación	61
XX.	Muestra 13, 14 y 15 – Repetición 1 – Día 9 de operación	62
XXI.	Muestra 16, 17 y 18 – Repetición 2 – Día 1 de operación	63
XXII.	Muestra 19, 20 y 21 – Repetición 2 – Día 3 de operación	64
XXIII.	Muestra 22, 23 y 24 – Repetición 2 – Día 5 de operación	65
XXIV.	Muestra 25, 26 y 27 – Repetición 2 – Día 7 de operación	66
XXV.	Muestra 28, 29 y 30 – Repetición 2 – Día 9 de operación	67
XXVI.	Relación de biodegradabilidad de las aguas grises DBO ₅ /DQO	68
XXVII.	Porcentaje de remoción de DBO ₅ y DQO en trampa de grasas.....	69
XXVIII.	Estadísticos descriptivos de grasas y aceites	70
XXIX.	Comparación del caudal residual de la cafetería Nissi.....	71

XXX.	Correlaciones entre las variables que influyen en eficiencia de la trampa de grasas.....	73
XXXI.	Variables entradas/introducidas ^a del primer modelo.....	74
XXXII.	Resumen del primer modelo.....	74
XXXIII.	Anova ^a del primer modelo.....	75
XXXIV.	Coefficientes del primer modelo	75
XXXV.	Variables entradas/introducidas ^a del segundo modelo	77
XXXVI.	Resumen del segundo modelo	77
XXXVII.	Anova ^a del segundo modelo.....	77
XXXVIII.	Coefficientes del segundo modelo.....	78
XXXIX.	Variables entradas/introducidas ^a del tercer modelo.....	79
XL.	Resumen del tercer modelo.....	80
XLI.	Anova ^a del tercer modelo.....	80
XLII.	Coefficientes del tercer modelo	80
XLIII.	Variables entradas/introducidas ^a del 3° modelo modificado	85
XLIV.	Resumen del tercer modelo modificado	85
XLV.	Anova ^a del tercer modelo modificado	85
XLVI.	Coefficientes del tercer modelo modificado	86
XLVII.	Coefficientes del modelo lineal de días de operación.....	88
XLVIII.	Cantidad de residuos de grasas, aceites y sólidos	89
XLIX.	Volumen total de la trampa de grasas	90
L.	Dimensionamiento de la trampa de grasas	90
LI.	Estadística de parámetros del agua residual comercial.....	91
LII.	Muestras que cumplen con límites permisibles de vertido.....	91
LIII.	Eficiencias de remoción de DBO ₅ en uso de trampa de grasas	92
LIV.	Eficiencias de remoción de DQO en uso de trampa de grasas	93
LV.	Correlaciones entre DBO ₅ , DQO y otras variables	95

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A_{GyA}	Altura de grasas y aceites acumulados
A_{SS}	Altura de sólidos sedimentados acumulados
A	Ancho de la trampa de grasas
F_a	Área de la superficie del separador de aceite y grasa
cm	Centímetro
Q	Caudal
C_o	Carbono
cm³/s	Centímetros cúbicos por segundo
cm/s	Centímetros por segundo
b_i	Coefficiente del modelo estadístico
g	Constante gravitacional
DBO₅	Demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días
DQO	Demanda química de oxígeno
Q_K	Densidad del cuerpo extraño
Q_F	Densidad del líquido fase
D	Días de operación
d	Diámetro
F	Distribución estadística de Fisher
Ef._{DBO5}	Eficiencia de remoción de DBO ₅
Ef._{DQO}	Eficiencia de remoción de DQO
Ef._{GyA}	Eficiencia de remoción de grasas y aceites
P	Fósforo total
A_T	Fuerza ascensional de la partícula

A_L	Fuerza ascensional total de burbujas de aire
$^{\circ}\text{C}$	Grados centígrados
gl (<i>error</i>)	Grados de libertad del error
gl (<i>ct</i>)	Grados de libertad del tratamiento
gl (<i>totales</i>)	Grados de libertad totales
g/m	Gramos por centímetro
g/cm^3	Gramos por centímetro cúbico
$g/p/d$	Gramos por persona por día
$g/hab-d$	Gramos por habitante por día
H	Horas
H_1	Hipótesis alternativa
H_0	Hipótesis nula
$I.D.$	Ingreso de datos
kg/dm^3	Kilogramo por decímetro cúbico
kg/m^3	Kilogramo por metro cúbico
L	Largo
l	Litros
$l/p/d$	Litros por persona por día
l/m^3	Litros por metro cúbico
l/s	Litros por segundo
m	Metros
m^2	Metros cuadrados
m^3	Metros cúbicos
m^3/s	Metros cúbicos por segundo
m/h	Metros por hora
m/s	Metros por segundo
m/s^2	Metros por segundos al cuadrado
mg	Miligramos
mg/l	Miligramos por litro

ml	Mililitros
mm	Milímetros
min	Minutos
NH₃-N	Nitrógeno amoniacal
N	Nitrógeno total
N	Número de muestra total
Re	Número de Reynolds
n	Número de variables dentro de la muestra
NMP	Número más probable
D_T	Peso de la partícula a elevar
P	Profundidad
IBM SPSS	Programa estadístico informativo
R²	R cuadrado
Ef.SSed	Remoción de sólidos sedimentados
Ef.SSusp	Remoción de sólidos suspendidos
s	Segundos
SS	Sólidos suspendidos
Temp	Temperatura
t	Tiempo
TRH	Tiempo de retención hidráulica en minutos
TRHseg	Tiempo de retención hidráulica en segundos
T.G.	Trampa de grasas
Y	Variable dependiente
v₁	Variable independiente uno
v₂	Variable independiente dos
X_i	Variabes independientes o explicativas
v	Velocidad
v_a	Velocidad de ascenso
v_s	Velocidad de ascenso o descenso

η_F	Viscosidad dinámica del líquido base
V	Volumen
V_A	Volumen de grasas y aceites diarios
V_H	Volumen hidráulico de la trampa de grasas
V_S	Volumen de sólidos sedimentados diarios
V_T	Volumen total de la trampa de grasas
VolG	Volumen de grasas y aceites acumulados
VolSS	Volumen de sólidos sedimentados acumulados
Vol_{Trampa}	Volumen interno de la trampa de grasas

GLOSARIO

Aeración	Introducción de aire al agua por medios mecánicos o hidráulicos.
Aguas grises	Componente del agua residual que contiene grasas y aceites, espumas, material orgánico e inorgánico. Proviene de fregaderos, lavamanos, duchas y lavaderos.
Aguas negras	Componente del agua residual, con heces y orina, proveniente de inodoros, mingitorios y bidés. Su nombre es por la materia orgánica descompuesta se torna de color negro.
Anova	Análisis de varianza, por sus siglas en inglés.
Biocidas	Sustancias químicas sintéticas o de origen natural destinados a destruir, contrarrestar, neutralizar la acción o control de otro tipo de organismo considerado nocivo para el hombre. Entre ellos desinfectantes, conservantes, plaguicidas.
Biodegradabilidad	Capacidad de descomposición de la materia en subproductos químicos naturales.

Caudal	Cantidad de fluido que pasa por determinado elemento en la unidad de tiempo puede expresarse en litros por segundo, (l/s).
Cepis	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria.
Choque hidráulico	Disipación de energía hidráulica.
Cieris	Centro de Información de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos.
Coefficiente de variación	Medida de la dispersión relativa de un conjunto de datos, que se obtiene dividiendo la desviación estándar del conjunto entre su media aritmética, se expresa en porcentaje (%).
Coliformes fecales	Parámetro que indica la presencia de contaminación fecal en el agua y bacterias patógenas. Proviene del tracto digestivo de los humanos y animales de sangre caliente.
Colinealidad	Relación directa de una variable sobre otra.
Compuestos órgano-halogenados	Sustancias químicas orgánicas que contienen uno o varios átomos de un elemento halógeno (entre ellos cloro o compuestos formados con bromo e yodo).

Covariable	Variable de la que se desconoce con certeza si tiene influencia sobre otra, si actúa de forma independiente o con otras.
DBO₅	Demanda bioquímica de oxígeno. Cantidad de oxígeno requerido para degradar la materia biodegradable, transcurridos 5 días desde que inicia la reacción de oxidación. Se expresa en miligramos por litro (mg/l).
Desviación estándar	Medida estadística que define cuán separados están los datos en su conjunto.
DIN	Instituto Alemán de Normalización, por sus siglas en alemán.
DQO	Demanda química de oxígeno. Mide la cantidad de materia orgánica e inorgánica capaz de oxidarse por medios químicos en una muestra de agua. Expresada en miligramos por litro (mg/l).
Efluente	Descarga producido por un ente generador de caudal.
Espumas	Formada de jabones y detergentes. Sustancias flotantes con densidades inferiores a $1,0 \text{ g/cm}^3$, generalmente alrededor de $0,95 \text{ g/cm}^3$.

Eutrofización	Proceso natural y antropogénico en el cual se enriquecen las aguas con nutrientes por la descomposición de materia orgánica. Existe crecimiento de algas, disminución del oxígeno, deteriorando el estado natural del cuerpo de agua.
Grados de libertad (conjunto de datos)	Número de valores que pueden ser asignados de forma arbitraria, antes de que el resto de las variables tomen un valor automáticamente, producto de establecerse las que son libres. Esto con el fin de compensar e igualar un resultado el cual se ha conocido previamente.
Grasas y aceites	Grasas animales, aceites, ceras, manteca presente en las aguas residuales. Compuestas de carbono, oxígeno e hidrógeno en diferentes proporciones.
GTZ	Agencia Alemana de Cooperación Técnica, por sus siglas en alemán.
Hidrocarburos	Compuestos orgánicos formados únicamente por átomos de carbono e hidrógeno.
Límite máximo permisible	Valor máximo de un parámetro, el cual no debe ser excedido según el reglamento o ley de aguas normado por cada país.

Linealidad	Indica que el valor esperado de la variable dependiente que depende linealmente de las variables independientes.
MARN	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
Metales pesados	Elementos presentes en diferente estado de oxidación en el agua, aire y suelo, con diversos grados de reactividad, carga iónica y solubilidad en agua.
Muestreo (agua)	Obtener una parte representativa del agua en estudio, según los parámetros a analizar.
Normalidad	Distribución normal estadísticas de un conjunto de datos.
OMS	Organización Mundial de la Salud.
OPS	Organización Panamericana de la Salud.
Parámetros de agua	VARIABLES o características físicas, químicas o microbiológicas del agua.
Peso específico	Peso de un cuerpo por unidad de volumen. Expresado en gramos por centímetro cúbico, g/cm^3 .
Pipas	Tuberías y alcantarillas.

Potencial de hidrógeno	Indica la concentración de iones de hidrógeno en una disolución. Se trata de una medida de acidez de la disolución. También expresada como pH.
Pretratamiento	Tratamiento previo al afluente de un sistema de tratamiento cuando es necesario remover algún contaminante que interfiera en el proceso.
Productos fitosanitario	Plaguicida, sustancia destinada a prevenir la acción o destruir los insectos, ácaros, moluscos, roedores, hongos, malas hierbas, bacterias y otras formas de vida perjudiciales para la salud pública.
Sólidos suspendidos	Son las partículas no disueltas y en suspensión, dando cierto aspecto y color al agua. Se asocian con la turbiedad del agua, se expresa en miligramo por litro (mg/l).
Sólidos sedimentados	Cantidad de sólidos que se asientan en el fondo por tener mayor densidad que el agua. Se expresa en centímetros cúbicos por litro, (cm ³ /l).
Tanque de compensación	Dispositivo regulador de caudal de entrada a sistema de tratamiento de agua, para evitar picos de caudal.
Tensión superficial	Cantidad de energía necesaria para aumentar la superficie de un líquido por unidad de área.

Tiempo de retención hidráulico	Tiempo que transcurre cuando el líquido atraviesa de inicio a fin, un proceso hidráulico.
Trampa de grasas	Dispositivo utilizado en el pretratamiento, para remover las grasas y aceites, contenida en el agua.
Tratamiento de agua	Procesos que se le da al agua para remover materia indeseable o perjudicial para la salud y ambiente.
Turbiedad	Parámetro físico que mide el paso de la luz a través del agua y la dispersión que las partículas en ella refractan. Entre más partículas suspendidas en el agua, mayor concentración de turbiedad.
Vertedero	Dispositivo hidráulico utilizado para medir el caudal y regular el flujo.

RESUMEN

En el presente estudio se evalúa la relación de los parámetros de diseño de una trampa de grasas sobre la eficiencia de remoción de grasas y aceites. Durante la investigación experimental se observa cómo los sólidos sedimentados se acumulan dentro de la trampa de grasas, afectando directamente el volumen interno de la trampa. Con ello se disminuye el tiempo de retención hidráulica, parámetro de diseño relacionado con la eficiencia.

El experimento se desarrolla con aguas residuales comerciales y se construye en la cafetería Nissi del T2 – Facultad de Arquitectura de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Se construye una trampa de grasas con dimensiones similares a una trampa de grasas y aceites comercial. Se fabrica en vidrio para entender mejor lo que sucede dentro de la trampa.

Se determinan las variables de evaluación, basado en lo indicado en la teoría respecto al diseño de las trampas de grasa y lo experimentado. La variable dependiente es la eficiencia de la remoción de grasas y aceites. Las variables independientes son el caudal, los días de operación, la altura de grasas y aceites acumulados y la altura de sólidos sedimentados. Se analizaron otras covariables como el volumen de grasas, el volumen de sólidos sedimentados, el volumen de la diferencia entre el total con los dos anteriores y el tiempo de retención hidráulica.

En el estudio se establecen tres rangos de caudales para cada día, mínimo, medio y máximo. Con nueve días de operación, muestreando cada dos días (5 muestras x 3 caudales por muestra), se obtienen 15 muestreos en una

fase completa de operación. Con al menos 2 fases, se da un total de 30 muestreos, cumpliendo con una cantidad de grados de libertad suficiente (en la tabla de distribución F de Fisher) para que un análisis estadístico por medio de un modelo de regresión múltiple sea justificable.

El modelo estadístico de regresión múltiple se introduce en el programa informático IBM SPSS, versión 22.0.0.0. Se analizan tres modelos: 1. Variables independientes, 2. Covariables, 3. Variables independientes y covariables). De los cuales el tercer modelo modificado explica mejor el comportamiento del experimento, con un R^2 de 0,57, con una probabilidad y un nivel de significancia dentro del 95 % de confianza. Se define una ecuación en función del volumen de trampa de grasas y el caudal, para calcular la eficiencia que se desee alcanzar.

Se concluye que los sólidos sedimentados, variable no aplicada en la teoría del diseño de las trampas de grasas, influyen sobre la eficiencia en la remoción de grasas y aceites. Conforme avanzan los días de operación se van acumulando los sólidos sedimentados (en mayor proporción que las grasas y aceites), reduciendo el volumen de la trampa y a la vez disminuyendo el tiempo de retención necesario para beneficiar la separación de las grasas y aceites.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Guatemala, como en Centroamérica el bajo desarrollo, en proyectos de infraestructura de tratamiento de aguas residuales, ha generado un alto porcentaje de contaminación en los cuerpos receptores como quebradas, ríos y lagunas, Mata, Mora y Portuguez (2011). En el apéndice I, se puede observar el árbol de problemas.

Las aguas grises son un importante componente de las aguas residuales ya sean domésticas, comerciales o industriales (dependiendo de la industria). Están compuestas de altos porcentajes de grasas, aceites y espumas (de detergentes y jabones). Proviene de aparatos como fregaderos, lavamanos, duchas y lavaderos. Las aguas residuales comerciales aportan gran cantidad de aguas grises, ya que proceden de centros comerciales, restaurantes, lavanderías, hoteles donde se utiliza una suma importante de los aparatos antes mencionados, aporta la GTZ (1991).

Las aguas grises se caracterizan por contener nutrientes como el fósforo, nitrógeno, un alto porcentaje de la demanda bioquímica oxígeno (DBO), la demanda química de oxígeno (DQO) que compone el agua residual, según Homsí, 2010. Por esto, al ser vertidas sin tratamiento a ríos, crean un desequilibrio ambiental al cambiar los niveles de pH (potencial de hidrógeno) e incrementar la turbiedad del agua, y otros elementos dependiendo de lo que este compuesto el efluente.

Además, mezcladas con las aguas negras, al ser tratadas sin un adecuado pretratamiento, provocan inestabilidad en el sistema, encareciendo el

proceso de tratamiento. Por ello la importancia de un adecuado pretratamiento en un sistema de tratamiento de aguas residuales, separando las aguas grises de las aguas con materia fecal, Romero (1999).

Un pretratamiento para aguas residuales comerciales es el uso de una trampa de grasas, para remover grasas, aceites y espumas de las aguas grises, permitiendo un afluente más regular al sistema. Inclusive muchos restaurantes y centros comerciales invierten en una trampa de grasas, suponiendo que al instalarla, cumplirá a cabalidad su función. Pero no saben con certeza si estas son eficientes. Ignorando también cada cuánto tiempo se le debe dar mantenimiento.

Las trampas de grasas, se diseñan y construyen considerando únicamente el volumen hidráulico, en función del caudal máximo horario y el tiempo de retención hidráulico que la teoría propone para ese caudal, GTZ (1991). En el diseño no se toman en cuenta variables como el tiempo con que se le desea dar mantenimiento, la cantidad de grasa y aceite del ente generador y tampoco otra variable como lo son los sólidos que sedimentan.

Por otro lado se cuenta con poca investigación respecto al diseño de las mismas. Los sólidos sedimentados se van incrementando durante los días de operación al igual que las grasas y aceites acumulados. Se cree que deben ser considerados como variables del diseño, ya que afectan el volumen efectivo de la trampa de grasas, generando un tiempo de retención hidráulico menor, restando eficiencia al pretratamiento. Por esta razón surge la pregunta, ¿Serán los sólidos sedimentados una variable que afecte la eficiencia de las trampas de grasas, para ser considerada dentro del diseño del pretratamiento de aguas residuales comerciales?

JUSTIFICACIÓN

En la actualidad las personas buscan hacer un uso integral de los recursos naturales, ya que estos se están reduciendo potencialmente. La sociedad debe velar por la recuperación del medio ambiente y minimizar el impacto negativo que genera la contaminación. Para ello es de vital importancia reducir el consumo de los recursos. Pero cuando el recurso ya ha sido utilizado, este debería cumplir con un ciclo integral, de forma que su disposición final sea la más adecuada para el ambiente, Mata, Mora y Portuguez (2011).

Las aguas residuales comerciales son una causa de contaminación de ríos u otros cuerpos de vertido, además de la obstrucción de líneas de drenaje de aguas residuales. Esto debido al alto contenido de grasas y aceites, Romero (1999), y también a un ineficiente o nulo tratamiento y un posterior vertido que no cumplen con los requisitos mínimos según los reglamentos o normas de la legislación pertinente.

En este estudio se propone evaluar qué variables influyen en la eficiencia de las trampas de grasas y cuánto y en qué orden correlacionan más. Determinar el tiempo óptimo para darle mantenimiento a la trampa. Además de comparar su efluente con la concentración permisible de grasas y aceites exigido por ley en el Reglamento de las Descargas y Reúso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos.

El tema de investigación será de importancia tanto para aquellas personas físicas o jurídicas que invierten en un sistema de pretratamiento como para los que se dedican al diseño, desarrollo, construcción e instalación de trampas de

grasas. Para estos últimos tiene mayor importancia, por no contar con un protocolo de diseño y comercializar trampas de tamaño único, para cualquier tipo de comercio, sin evaluar las diferentes variables que se analizarán en este estudio.

OBJETIVOS

General

Evaluar la relación que tienen los sólidos sedimentados dentro de los parámetros de diseño de una trampa de grasas de separación natural y su eficiencia, como pretratamiento de aguas residuales comerciales provenientes de una cafetería en la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Específicos

1. Determinar la correlación entre las variables de diseño de una trampa de grasa y su eficiencia, por medio de un modelo estadístico de regresión múltiple utilizando el programa estadístico informático IBM SPSS, versión 22.0.0.0.
2. Identificar el tiempo requerido para hacer una operación y mantenimiento adecuado.
3. Determinar si existe una remoción de DBO₅ y DQO en la trampa de grasas e identificar cuan biodegradable es el efluente.
4. Comparar la grasa y aceite del efluente de las trampas de grasas con los parámetros requeridos por el *Reglamento de Descargas y Reúso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos* (Acuerdo Gubernativo 236-2006).

HIPÓTESIS

Los sólidos sedimentados acumulados dentro de la trampa de grasas, no tomados en cuenta en la teoría de diseño, afectan la eficiencia del pretratamiento. Además existe una reducción 40 % de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) y la demanda química de oxígeno (DQO) proveniente de grasas, aceites y espumas de detergente respectivamente.

Hipótesis nula (H_0): los sólidos sedimentados acumulados no afectan la eficiencia de la trampa de grasas, por ello, no es tomada en cuenta en la teoría del diseño.

Hipótesis alternativa (H_1): los sólidos sedimentados acumulados afectan la eficiencia de la trampa de grasas, por ello, debe ser tomada en cuenta en la teoría del diseño.

ANTECEDENTES GENERALES

En Cieris, Centro de Información de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, no se registran investigaciones experimentales en relación a la eficiencia de las trampas de grasas y tampoco en otros centros de información de Centroamérica. Lo más similar al estudio propuesto es la investigación *Alternativas para el tratamiento de aguas grises de origen doméstico* de Hernández Juárez, Jaime (2010). Donde se diseña y construyen filtros biológicos (piedra pómez y carbón) para la remoción de cargas contaminantes, de las aguas grises. Se obtuvo una remoción promedio del 29,13 % del DBO₅ y un 39,43 % de DQO.

La Organización Panamericana de la Salud-OPS (2003), con la unidad de apoyo técnico para el saneamiento básico del área rural, generan una guía de especificaciones técnicas para el diseño de trampa de grasas. Le dan importancia de carácter obligatorio al uso de trampas de grasas, para la remoción de la grasa en aguas residuales provenientes de establecimiento, donde se procesan alimentos y se haga uso de detergentes como lavanderías, restaurantes, hoteles, hospitales y similares. Se elabora una lista de requisitos previos para la correcta implementación de una trampa de grasas. Se dan dimensiones mínimas y recomendaciones según caudal, calculado por unidades de gasto por aparato sanitario que descarga en la trampa de grasas.

En los Estados Unidos, los tres sistemas predominantes para el pretratamiento del flujo residual de los establecimientos alimenticios son: trampas pasivas para las grasas pequeñas, trampas grandes de concreto subterráneas y los sistemas automáticos para remover la grasa y el aceite. Las

trampas de grasa pasivas tienen origen en 1885, cuando se emitieron las primeras patentes en los Estados Unidos. En la actualidad las trampas de grasas pequeñas y grandes usan el mismo diseño básico de operación que las trampas de grasa de los modelos del 1885. (Big dipper, 2015).

Las propiedades de la grasa y el aceite representan de un 10 % hasta un 15 % densidades más livianas que el agua, naturalmente flotan a la superficie dentro del separador de grasa. Como resultado el agua se desplaza fuera del fondo del tanque al mismo tiempo que la grasa se contiene en la superficie del separador. Esta es la explicación por la cual se observa una "capa" de grasa en la superficie dentro del separador. Ya que la grasa y el aceite se acumulan de arriba a abajo, frecuentemente es difícil medir la profundidad o establecer que tan llena esta la trampa de grasa.

El aspecto más importante es entender que cuando las trampas de grasa se llenan, su eficiencia para separar la grasa disminuye. Cuando la trampa de grasa está llena al máximo, reteniendo grasa y aceite, el proceso de separación del flujo residual se anula. Como consecuencia, esto causa que los restaurantes recurran constantemente a los servicios para limpiar las líneas de las tuberías (Big dipper, 2015).

Las aguas residuales comerciales, específicamente de restaurantes contienen tres basuras que afectan las alcantarillas. Estas son las grasas, los sólidos y los limpiadores químicos. No solo dañan el flujo dentro de la tubería sino que también contribuyen a que huelan mal y terminan reduciendo la capacidad de las pipas causando derramamiento de las alcantarillas. Y termina siendo un problema para el negocio y los residentes aledaños. Según el diario Wall Street, la grasa en los alcantarillados causa el 75 % de la reducción media

de la capacidad de las tuberías en EE.UU., según Presleigh, John J. del Departamento de Sanidad del condado de Santa Cruz.

ALCANCES Y LÍMITES

Dentro de los alcances se investigan temas relacionados a aguas grises, aguas residuales comerciales, aceites, grasas, trampas de grasas, tratamientos por flotación. Esto siempre dentro del ambiente de estudio, tanto en bibliografía física como libros, revistas, tesis, además información de internet con su requerido filtro para evitar obtener contenido falso o mala procedencia.

Al ser una investigación cuantitativa se determinará una hipótesis y se trabajará con el fin de obtener un resultado a esa hipótesis.

Se definen los parámetros necesarios para determinar el análisis del agua residual comercial efluente de la cafetería y de la trampa de grasas. Para ello se tomarán muestras de la entrada a la trampa de grasas y de la salida de la misma. La concentración de grasas y aceites después de la trampa de grasas se compara con la exigida por los reglamentos de ley del país para descargarlo.

Como limitante se presentan:

- El estudio se realizará únicamente en una cafetería, debido a la dificultad del acceso a diferentes restaurantes que tienen políticas de protección y manejo de información privada.
- La cafetería está dentro de una universidad.

- Se estudiará solo una trampa de grasas, con el mismo volumen de una trampa de grasas comercial del país, construida en vidrio.
- El muestreo se realiza durante días antes y después de semana santa y los meses de mayo y junio los cuales son de menor asistencia estudiantil, comparado a otros meses de curso lectivo.
- La determinación de grasas y aceites se realiza con una metodología fisicoquímica alternativa, planteada por el docente de la ERIS MSc. Ing. Zenón Much.
- Se descartan parámetros o variables como lo son el viento, la temperatura del ambiente, altitud sobre el nivel del mar, el tipo de grasa o aceite.

INTRODUCCIÓN

En los países en vías de desarrollo la limitada inversión en investigación, planeación, construcción, ejecución y operación de proyectos de tratamiento de aguas residuales, ha provocado contaminación en los cuerpos de agua y en los suelos. Y esto es causa de muchas epidemias y enfermedades en los seres vivos, Mata, Mora y Portuguez (2011).

Por ello la importancia de las investigaciones y desarrollo de proyectos relacionados al tratamiento de aguas residuales. Este proyecto evalúa cómo las variables del diseño de una trampa de grasas (pretratamiento también llamado desengrasador, utilizado para separar las grasas de las aguas residuales) influyen sobre la eficiencia de remoción de grasas y aceites, en aguas residuales comerciales. Estas contienen altas cargas de grasas y aceites según la caracterización fisicoquímica realizada en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria Dra. Alba Tabarini de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS).

Las grasas y aceites son un parámetro contenido en las aguas provenientes de fregaderos de cocinas de casas, restaurantes, cafeterías, cualquier establecimiento que manipule alimentos de grasa animal o vegetal. Estas elevan las concentraciones de DBO_5 , Romero (1999). Parámetro que explica la cantidad de oxígeno que se requiere para descomponer la carga contaminante del agua. El perjuicio de las grasas en las aguas residuales es el daño que le causa a las tuberías de conducción sanitaria obstruyéndolos y afectando su hidráulica. Además resta oxígeno en cuerpos de agua y restringir

la transferencia de oxígeno en los tratamientos de aguas residuales y provocar un incremento en gastos de operación y mantenimiento.

Al determinar las variables de mayor influencia sobre la eficiencia de las trampas de grasa, se logra diseñarlas para que la remoción de grasas y aceites sea constante durante los días de operación que deseen establecer. Así reducir la cantidad de grasas y aceites que se vierten a los alcantarillados sanitarios, sistemas de tratamiento de aguas residuales y cuerpos de agua. De esta manera se baja la carga contaminante de las aguas residuales comerciales.

Se utiliza un programa informático de estadística (SPSS, versión 22.0.0.0), para identificar por medio de modelos de regresión múltiple, acerca de cuál o cuáles variables en conjunto afectan más la remoción de las grasas de la trampa. En el estudio hay ciertas limitaciones, como es el lugar del experimento, la cantidad de unidades experimentales, la dimensión del volumen de la trampa y los días en que se toma la muestra experimental.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Agua residual

Es el agua desechada luego de haber sido usada o utilizada en alguna función o proceso y queda contaminada, Lozano (2012). Según el Acuerdo Gubernativo 236-2006 son las aguas que han recibido uso y cuyas calidades han sido modificadas. Y las clasifica en aguas residuales de tipo ordinario (generadas en actividades domésticas, por el uso de servicios sanitarios, pilas, lavamanos, lavatrastos, lavado de ropa y otras similares), y de tipo especial (generadas por servicios públicos municipales y actividades industriales, agrícolas, pecuarias, hospitalarias, entre otras).

Las aguas residuales son el mayor contaminante de agua dulce en el planeta, ya que normalmente son vertidas a cuerpos receptores como quebradas, ríos, lagunas, sin ningún tipo de tratamiento que remueva las características indeseables que terminan contaminando y degradando la calidad del agua superficial, Mata, Mora y Portuguez (2011).

Se clasifican según su procedencia, en aguas residuales domésticas, comerciales e industriales, (Cepis, 1991). Cada una tiene una composición que la caracteriza según el uso que se le da al agua.

1.1.1. Aguas residuales domésticas

Son las aguas provenientes de uso domésticos, de casas, residencias, condominios, y otros. Compuestas de aguas grises y aguas negras. Según Pöpel (1928), las aguas residuales domésticas se originan en:

- Aguas negras:
 - Uso del inodoro.

- Aguas grises:
 - Preparación de alimentos, en el lavado de platos y ropa, limpieza de la casa, higiene personal, lavado de vehículos.

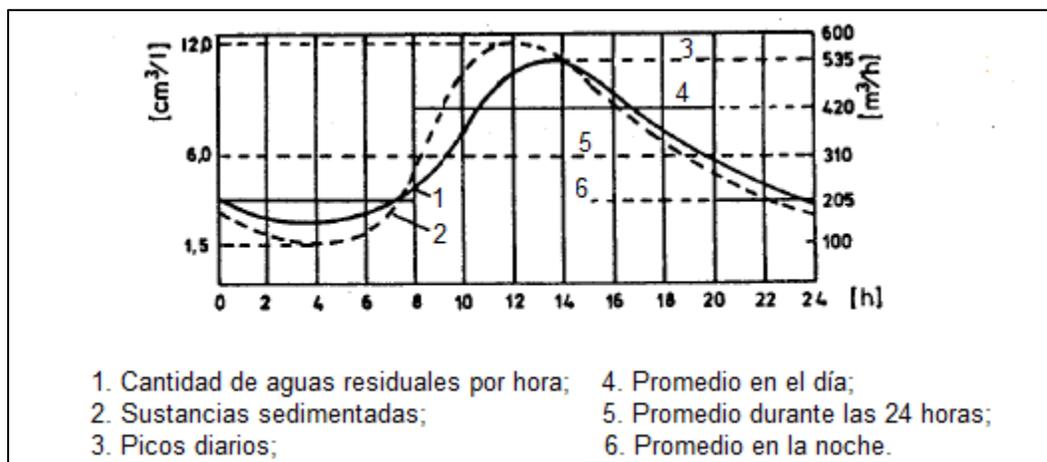
Según la OPS (2003), la cantidad de aguas residuales domésticas es la misma al agua consumida del sistema de abastecimiento menos el agua utilizada para cocinar, beber, regar el césped y el jardín. Las heces y otros productos desechados alcanzan aproximadamente los 1,4 kg por persona por día. Alcanzando casi un 80 % de consumo de agua.

Como el consumo del agua está relacionado con los hábitos y condiciones de vida, al mejorarlos, la cantidad de aguas residuales también se acrecienta. El volumen varía horaria, diaria y anualmente. Indica Imhoff, GTZ (1991), que se puede apreciar un incremento de aguas residuales al comienzo de la semana, debido al lavado de ropa y en el fin de semana por la limpieza del hogar.

Con respecto a los domingos y feriados hay una reducción notoria. Hay cambios representativos en la producción de agua residual durante todo el día, teniendo un incremento en la concentración en las horas de la mañana,

llegando al máximo al medio día y descender progresivamente presentando a un punto mínimo durante la noche.

Figura 1. **Fluctuación del agua residual y concentración de sólidos sedimentables, para una población de 50 000 habitantes en 24 horas**



Fuente: Cepis. *Manual de disposición de aguas residuales*.

1.1.2. Aguas residuales comerciales

Provenientes de los centros comerciales. También se puede identificar como aguas comerciales, a los efluentes de los comercios, restaurantes, cafeterías, lavanderías, hoteles, centros turísticos, supermercados, mercados, hospitales, cines, teatros, bares, lava autos, y otros.

Se diferencian de las domésticas, por el alto contenido de aguas grises, por lo tanto alta concentración de grasas, aceites, jabones y detergentes y exceso de sólidos. Según Pöpel (1928), las aguas residuales comerciales dentro de cada instalación derivan de:

- Aguas negras:
 - Uso del inodoro.

- Aguas grises:
 - En mayor cantidad de preparación de alimentos, lavado de platos y utensilios de cocina. También del lavado de ropa, trapos, batas, sábanas, limpieza de locales, pisos, baños, servicios sanitarios, vehículos, entre otros.

Por el contenido de estas aguas se recomienda la instalación de un pretratamiento según el comercio, como por ejemplo trampas de grasas, aceites y sólidos, según indica Cortes, Betancourt, Medrano (2010). En la tabla I se presentan caudales residuales típicos de distintos comercios.

Tabla I. **Caudales residuales de establecimientos comerciales**

Fuente	Unidad	Caudal (litros/unidad-día)	
		Rango	Típico
Aeropuerto	pasajero	8 - 15	11
Bar	cliente	5 - 20	10
	empleado	40 - 60	50
Hotel	cliente	150 - 210	180
	empleado	25 - 50	40
Lavandería	maquina	1700 - 2500	2100
	lavada	170 - 210	190
Cafetería	cliente	4 - 10	8
	empleado	30 - 45	40
Comedor	plato	15 - 40	26
Motel	persona	90 - 150	120
Oficina	empleado	25 - 60	50
Restaurante	plato	8 - 15	10
Centro comercial	parqueo	4 - 8	8
	empleado	25 - 50	40

Fuente: Metcalf y Eddy (1979).

1.1.3. Aguas residuales industriales

Son las aguas producidas por actividades industriales, conteniendo una gran variedad de sustancias, algunas químicas y peligrosas. Para determinar su cantidad y composición se debe realizar un análisis local. Ya que difiere una industria de otra por las siguientes causas, según Cepis (2003):

- Diferencia en el tipo de industria
- Distintos materiales básicos
- Procesos de fabricación
- Tamaños de las plantas
- Modos de operación y mantenimiento
- Diferencia en el suministro de energía
- Condiciones locales
- Sistemas de recirculación

Existe literatura que especifica las cantidades y tipos de aguas residuales para muchas industrias. Esta información solo debe servir de base para los cálculos de los efluentes, GTZ, OMS, CEPOS, OPS, (1991). Dependiendo del tipo de industria se puede encontrar en las aguas residuales, sustancias tóxicas, con efectos cancerígenos o mutagénicos, compuestos órgano-halogenados, hidrocarburos, biocidas, productos fitosanitarios y metales pesados, entre otros.

1.2. Composición de las aguas residuales domésticas y comerciales

Las aguas residuales se componen de aguas negras y aguas grises y su composición se logra ver en la tabla II. Donde, en uso doméstico, estas normalmente se mezclan en registros ubicados dentro o fuera de la casa y

finalmente dirigidas a un tanque séptico o a un alcantarillado sanitario, en caso que se disponga del mismo. Para las aguas residuales comerciales, lo ideal es que las aguas grises y las negras se conduzcan por diferentes tuberías para lograr dar el pretratamiento adecuado a las aguas grises antes de ser mezcladas y colectadas con las aguas negras hacia un drenaje sanitario o una planta de tratamiento.

Tabla II. **Composición típica del agua residual doméstica bruta**

Parámetros (mg/l)	Unidades	Concentración		
		Alta	Media	Baja
Sólidos totales (ST)	mg/l	1 200	720	350
Sólidos suspendidos (SS)	mg/l	350	220	100
Sólidos Sedimentables	ml/l	20	10	5
DBO ₅	mg/l	400	220	110
DQO	mg/l	1 000	500	250
Nitrógeno total	mg/l	85	40	20
Fósforo total	mg/l	15	8	4
Cloruros	mg/l	100	50	30
Sulfato	mg/l	50	30	20
Alcalinidad (CaCO ₃)	mg/l	200	100	50
Grasas y aceites	mg/l	150	100	50
Coliformes totales	NMP/100ml	10 ⁷ -10 ⁹	10 ⁷ -10 ⁸	10 ⁶ -10 ⁷

Fuente: Metcalf & Eddy (1979).

1.2.1. Aguas negras

Estas aguas también reciben el nombre de aguas servidas, aguas cloacales o fecales. Son las provenientes de los inodoros, mingitorios y bidé, por lo que es una mezcla de agua con orina y heces. Su nombre se debe a que el agua alcanza ese color cuando sea descompuesto, ya que cuando recién

sale de los primeros registros sanitarios, su color es café claro, según Romero (1999).

Estas aguas no contienen tantos productos químicos como las aguas grises. Se caracterizan por su peligrosidad por tener altas poblaciones de microorganismos patógenos. Entre las bacterias más comunes son la *Escherichia coli*, indicadora de contaminación fecal. También se puede encontrar algún virus o parásito como huevos de helmintos, en caso de que los usuarios sean personas enfermas e infectadas.

Aparte se presentan bacterias no patógenas que descomponen la materia orgánica mediante procesos de hidrólisis, reducción y oxidación. Participando también fermentadores y enzimas. Las excretas de las personas contienen hormonas, estimulantes y vitaminas utilizados por las bacterias para la descomposición. Cepis, (1991).

La composición de las aguas negras domésticas y comerciales tiende a ser muy similar. Lo único que cambia es la cantidad del agua si se compara una casa con un comercial, donde en la primera solo los miembros de la familia disponen sus excretas en comparación del comercio; probablemente empleados y clientes serán los que dispondrán sus desechos corporales.

Cerca del 90 % de las aguas negras en los países en vías de desarrollo son descargadas en ríos, lagunas y mares sin tratamiento algunos. En América Latina el porcentaje se acrecienta al 95 %, siendo el mayor causante de la contaminación del agua. Reynolds, (2002).

Pero según el Banco Mundial, para el 2013 se ha reducido el porcentaje alcanzando el 70 %, de las aguas residuales no tratadas y devueltas a los ríos, completamente contaminadas. Yee- Batista (2013).

1.2.2. Aguas grises

Como su nombre lo indica son de color gris, por la mezcla de las sustancias que la componen. Entre ellas están las grasas, aceites, jabones y materia orgánica provenientes de cocinas, los detergentes, blanqueadores y suavizantes de las lavanderías, champú, acondicionador, jabón de las duchas y lavamanos, desengrasantes, ceras, cloro, abrillantadores, limpia pisos, productos multiusos para limpiar el piso y todas las áreas en general.

Las aguas grises se caracterizan por altos contenidos de productos químicos difíciles de degradar como los fosfatos y clorados. Por su aporte de fósforo, nitrógeno y en ocasiones de potasio, las convierte en una fuente de contaminación para lagos y ríos, promoviendo el crecimiento de algas, acelerando su eutrofización.

Pero estas propiedades también las convierte en una fuente reutilizables y beneficiosa como nutrientes en terrenos para el riego de plantas de jardinería y con su debido control hasta en la horticultura. Logrando ahorros entre un 30 y 45 % de agua potable. Jiménez, (2013).

1.2.2.1. Producción de aguas grises

Jamrah (2004) observa que la generación de aguas grises producidas en los hogares es independiente del área por nivel, más depende del tamaño de la familia. La producción de aguasgrises aumenta con forme el tamaño de la

familia, pero entre más grande la familia, la producción per cápita disminuye. En el mismo estudio concluye que el mayor porcentaje de agua consumida termina como aguas grises.

Tabla III. **Resumen de uso del agua que se convierte en aguas grises**

Cantidad de agua según dispositivo (l/persona/día)					
	Lavandería	Ducha	Lavamanos	Cocina	Jardines
Promedio	13	83	9	73	10
Desviación estandar	13	51	8	67	5
Coeficiente de variación	0,96	0,61	0,86	0,87	0,53

Fuente: JAMRAH, A.; PRATHAPAR, A. Universidad de Sultan Qaboos, Omán. (2004)

Por otro lado según Pöel (1928), la cantidad de agua demandada para las actividades domésticas en un hogar de al menos 6 personas, presente en la tabla III, tiene cierto rango de variabilidad. Y también asegura que al mejorar las condiciones de vida, se incrementan los consumos de agua y por consiguiente la cantidad de agua desechada.

Especialmente para el caso de las tinas o duchas, limpieza de apartamentos grandes, funcionamiento de nuevos artefactos domésticos, riego del césped y jardín, lavado de más cantidad de automóviles y ambientes exteriores. Pero así mismo como aumenta el consumo del agua, desciende la concentración de contaminantes en las aguas de vertido.

Tabla IV. **Demanda de agua para diferentes actividades domésticas**

Actividad	Litros por actividad y por vez
Lavado de platos	
manual	10 - 25
lavaplatos Automático	20 - 45
Lavado de ropa (4kg)	
manual	250 - 300
con lavadora	100 - 180
Limpieza de la casa	
con cubetas de agua	8 - 10
Higiene personal	
lavado de manos	2 - 5
ducha rápida	40 - 80
baño en ducha	80 - 140
baño en tina pequeña	200 - 250
baño en tina grande	30 - 50
baño de niños	30 - 40
Inodoro	
con tanque alto	8 - 12
con tanque integrado	12 - 15
con conexión directa al sistema de abastecimiento de agua	6 - 14
Lavado de automóviles	
con cubo	20 - 40
con manguera	100 - 200
Riego de césped (l/m ² /a)	5 - 10

Fuente: GTZ. *Manual de disposición de aguas residuales*. (1991).

1.2.2.2. Caracterización de aguas grises

La variabilidad del efluente de las aguas grises no restringe su tratamiento o reúso, más sí, los niveles de producción. Para una familia de 6 habitantes se produce alrededor de 1 200 litros por día, el cual es considerado un caudal muy escaso para desarrollar un sistema de tratamiento, según la industria comerciante, Jamrah (2004).

Como las aguas grises dependen de la fuente, el sistema de plomería, los hábitos y la higiene del usuario, del uso comercial o doméstico, la calidad puede ser muy variable. Las características de las aguas grises dependen de otros factores como los productos de limpieza, prácticas de lavado y el uso de químicos con diferentes marcas y concentraciones.

Prathapar (2004) presenta una caracterización de las aguas grises en la tabla V de las casas en estudio de la comunidad Omani, en relación a los parámetros regulados por el Ministerio de Ambiente y Recursos Hídricos de la Municipalidad Regional.

1.2.2.3. Consideraciones de las aguas grises

Las aguas grises puede afectar y causar graves problemas, debido a su composición. Las grasas, aceites y espumas que contiene las aguas grises podrían generar:

- Taponamiento de tuberías: reduciendo el paso del agua vertida, provocando mayor presión en los conductos y produciendo rebalses en el punto de origen de las aguas grises.
- Las natas y espumas afectan los procesos de las plantas de tratamiento de aguas residuales, evitando la adecuada transferencia de oxígeno, que las bacterias aeróbicas ocupan para sobrevivir y degradar la materia orgánica.

- Los nutrientes de las aguas grises: el fósforo, presente en los detergentes, nitrógeno y potasio. Estos están presentes en ciertos alimentos desechados, son factores que incrementan del crecimiento de algas en las aguas, afectando los ríos y eutrofizando lagos.

Tabla V. **Características de las aguas grises en casas de Omani, Omán**

Parámetro	Unidad	Duchas	Lavamanos	Lavandería	Estandar A ¹	Estandar B ²
Sólidos Totales	mg/l	683	817	2 700		
Sólidos Suspendidos	mg/l	353	505	315	15	30
Turbiedad	NTU	375	133	444		
pH		7,4	7,1	8,3	6.0-9.0	6.0-9.0
Oxígeno Disuelto	mg/l	2,6	3,0	2,9		
Conductividad	mS/m	1,4	1,5	2,9	2,0	2,7
Alcalinidad	mg/l	15	13,3	28,3		
Nitrato	mg/l	28,7	10,2	25,8		
DQO	mg/l	294,3	58	231,3	150,0	200,0
DBO ₅	mg/l	130	42,1	179,7	15,0	20,0
Ca	mg/l	15,7835	19,6953	18,7334		
Mg	mg/l	56,0771	20,9806	60,839	150,0	150,0
Na	mg/l	184,4993	148,9361	667,1468	200,0	300,0
K	mg/l	43,1312	5,5405	23,4326		
Zn	mg/l	2,4256	0,0392	0,1373	5,0	5,0
Fe	mg/l	ND	ND	ND	1,0	5,0
Alcalinidad	mg/l	0,0135	0,0108	0,081	5,0	5,0
Ba	mg/l	0,00	ND	ND	1,0	2,0
As	mg/l	0,03	0,015	0,00	0,1	0,1
Cd	mg/l	ND	ND	ND	0,01	0,01
Pb	mg/l	0,1036	0,0622	0,0829	0,1	0,2
Cu	mg/l	0,0127	0,00	0,0064	0,5	1,0
Nitrato	mg/l	0,0352	0,0352	0,0352	0,1	0,1
Coliformes Totales	NMP	> 200.5	> 200.5	> 200.5		
E Coli	NMP	> 200.5	> 200.5	> 200.5		
ND. Dato no disponible.						
¹ A. Frutas y hortalizas susceptibles de ser consumidos crudos. Áreas de acceso público.						
² B. Las frutas y verduras que podrían cocinarse y para poder comerlas. Zonas que no tienen acceso al público.						

Fuente: JAMRAH, A.; PRATHAPAR, A. Universidad de Sultan Qaboos, Omán. (2004).

- La materia orgánica produce el deterioro de la calidad del agua, por lo que al ser vertido sin un adecuado tratamiento, afecta la fauna acuática y la flora subacuática. Hidalgo y Mejía (2010).

- El olor de las aguas grises frescas es a jabón, pero con la materia orgánica que esta contiene (desechos de verduras, frutas, harinas, granos, carnes). Al estancarse, inicia un proceso de descomposición que sí produce olores que causan trastornos de apetito, náuseas y otros malestares de rechazo. Hidalgo y Mejía (2010).

1.2.2.4. Comparación de las aguas grises y negras

Algunos investigadores han identificado y mostrado, como en las tablas VI y VII, la diferencia en cantidad y calidad de las aguas grises y las aguas negras en domicilios habitacionales.

Tabla VI. **Cantidad y composición de las aguas residuales y demanda de agua en viviendas particulares, según Pöpel**

Tipo	Cantidad en l/p/d		Contaminación en g/p/d						
	Demanda de agua	Descarga de agua	Total sólidos	Sólidos inorgánicos	Sólidos orgánicos	DBO ₅	Co	N	P
Aguas Grises	60	56					15	0,2	
Comida y bebida	3	-					8	0,2	
Lavado de platos	4	4							
Lavado de ropa	20	19							
Higiene personal	10	10					7		
Ducha/Tina	20	20							
Limpieza de Casa	3	3							
Aguas Negras	20	22	82	19	63		22	14	1,4
Heces			27	4	23		17	1,5	0,6
Orina			55	15	40		5	12	0,8
Contribución total	80	78	190*	80*	110*	54*	37	14	2,3*

* Para aguas domésticas, según Imhoff.

Fuente: GTZ. *Manual de disposición de aguas residuales*. (1991).

Tabla VII. **Aportes per cápita de los diferentes componentes del agua residual doméstica**

Componente	DBO g/hab-d	%	DQO g/hab-d	%	NH ₃ -N g/hab-d	%
Aguas grises	25,15	52	51,63	43	0,442	14
Lavadero de cocina	9,2	19	18,8	16	0,074	2
Baño	6,18	13	9,08	8	0,043	1
Lavabo de baño	1,86	4	3,25	3	0,009	0
Lavado de ropa	7,9	16	20,3	17	0,316	10
Excretas	23,54	48	67,78	57	2,78	86
Contribución total	48,69	100	119,41	100	3,222	100

Fuente: YÁNEZ, F. OPS. *Normas de diseño de PTAR*. (1993).

Se infiere de las tablas anteriores que las aguas grises generan más demanda que las aguas negras. Los sólidos totales en las aguas grises alcanzan los 108 gramos por persona por día y el fósforo alcanza 0,9 gramos por persona por día. Y tanto la demanda bioquímica de oxígeno como la demanda química de oxígeno de ambas son porcentualmente similares, en cuanto a cantidad de gramos por habitante por día.

2. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

“Una consideración de primer orden debe ser que las limitadas reservas de agua de muchos países permanezcan libres de contaminación. Debido a que con frecuencia no se dispone de suficientes plantas de tratamiento para el abastecimiento de agua potable, la contaminación de las aguas superficiales o subterráneas podría tener un efecto desastroso en la salud pública. Los costos que, de un lado, ahorran la comunidad y la industria al no purificar el agua, se gastan, por otro lado, y en mucha mayor medida, en la atención a la salud”, Czysz, W.; Schneider, W.; Denne, A.; Staudte, E.; Rump, H.; Supperl, W. (1991).

El tratamiento del agua consiste en la remoción de las características indeseables de las aguas residuales a un nivel igual o menor que el determinado en el grado de tratamiento, para cumplir con los requisitos de calidad del cuerpo receptor, Yáñez (1993).

De acuerdo a la Cepis (1991), se ha podido observar que la literatura técnica, de los países en vías de desarrollo, con respecto a la protección y purificación del agua, proviene tanto de países industrializados como de instituciones que desarrollan actividades en los mismos países.

Los requerimientos de tratamiento, para un agua residual específica, pueden determinarse mediante la diferencia entre la carga de residuos permitida y la contaminación de las aguas residuales vertida. Y la calidad del agua requerida determina, a su vez, la selección del método de tratamiento de las aguas residuales. Esta debe adecuarse a la estructura comunal, comercial e industrial, así como a las condiciones particulares del país, según el manual de la disposición de aguas residuales de la Cepis, OPS y OMS (1991).

El tratamiento óptimo de las aguas residuales será seleccionado dependiendo de la calidad del efluente y de la calidad de vertido al cuerpo receptor. Puede iniciar con un pretratamiento para homogenizar la calidad o llevarla a un nivel de calidad tratable con el método más eficaz, o sea un tratamiento eficiente con el menor costo posible. Posterior al pretratamiento se puede implementar desde un tratamiento primario, hasta un tratamiento terciario o cuaternario, dependiendo si se requiere eliminar patógenos y nutrientes.

La tabla VIII muestra como Guatemala, con el Acuerdo Gubernativo del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) 236-2006, en el artículo 21, establece en el Reglamento de las Descargas y Reúso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos, los límites máximos permisibles de la calidad y características fisicoquímicas y microbiológicas del vertido a cuerpos receptores para los entes generadores nuevos.

El reglamento establece dos límites permisibles para la demanda bioquímica de oxígeno y así define la cantidad de kilogramos que se podrán verter por día. Los límites de la demanda química de oxígeno (DQO) están ausentes para las aguas residuales domésticas, pero incluyéndola en el artículo 29, como una relación de la DBO_5 .

Como el alcance de la investigación se limita al pretratamiento, con énfasis en la experimentación de una trampa de grasas y aceites, no se abundará en el tema de los procesos de tratamiento del agua residual post pretratamiento.

Tabla VIII. **Límites máximos permisibles para entes generadores nuevos**

Parámetros	Dimensionales	Límites máximos permisibles
Temperatura	Grados celsius	TCR +/- 7
Grasas y aceites	Miligramos por litro	10
Materia flotante	Ausencia/presencia	Ausente
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	100
Nitrógeno total	Miligramos por litro	20
Fósforo total	Miligramos por litro	10
Potencial de hidrógeno	Unidades de pH	6 a 9
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	< 1x10 ⁴
Arsénico	Miligramos por litro	0,1
Cadmio	Miligramos por litro	0,1
Cianuro total	Miligramos por litro	1
Cobre	Miligramos por litro	3
Cromo hexavalente	Miligramos por litro	0,1
Mercurio	Miligramos por litro	0,01
Niquel	Miligramos por litro	2
Plomo	Miligramos por litro	0,4
Zinc	Miligramos por litro	10
Color	Unidades de platino cobalto	500

TCR: temperatura del cuerpo receptor, en grados Celsius.

DBO: - Si el efluente es $\geq 200\text{mg/l}$, puede vertir 3 000Kg/día o menos.

- Si el efluente es $\leq 100\text{mg/l}$ o menos, puede vertir más de 3 000 Kg/día.

Fuente: MARN. *Acuerdo gubernativo 236-2006*. Guatemala.

2.1. Pretratamiento

Después de haber analizado o caracterizado el afluente a tratar, ya sean aguas residuales domésticas, comerciales o industriales por su procedencia, o aguas negras, grises o industriales por su composición, se determina si se requiere un pretratamiento.

Las aguas residuales que requieren pretratamiento son las que debido a su composición podría afectar el tratamiento completo, generando un efluente con sustancias indeseables y con calidades deficientes de lo requerido por las normas, reglamentos o cuerpos receptores.

Entre algunos tratamientos preliminares se pueden citar, las cribas o rejillas, tamizado, desarenadores, trampas de grasa y aceite o desengrasadores, medidores y repartidores de caudal, reguladores de pH y tanque de compensación, entre otros.

2.1.1. Cribas

Las rejillas previenen el paso de los sólidos gruesos y el material fibroso. Se coloca transversalmente al flujo, Cepis (2003). Es indispensable como pretratamiento e inclusive en los tratamientos más simples como las lagunas. La instalación protege las bombas, impide la obstrucción de vertederos, la división de flujo, restar volumen de sedimentación y facilidad de formación de natas. Dentro del área operativa, los sólidos retenidos deben retirarse continuamente, dejarlos escurrir y secar al sol, estabilizarlos con cal, para finalmente disponerlos en un relleno sanitario o enterrarlos.

Figura 2. **Rejilla con lámina de escurrimiento**



Fuente: *Planta de tratamiento de aguas residuales*. USAC. (2014).

Algunas de las recomendaciones para su instalación:

- Se recomienda en la colocación de la criba con un ángulo de inclinación de 45 a 60° con respecto a la horizontal.
- El canal donde se ubique debe dimensionarse para que la velocidad del flujo sea entre 0,3 y 0,6 m/s.
- Se deberán colocar guías para manipular la rejilla y darle mantenimiento, con una parrilla colocada en la parte superior para el secado de los residuos sólidos que se generen.
- En la tabla IX se muestra la cantidad de material retenido, dependiendo de las aberturas de la rejilla.

Tabla IX. **Material retenido en las cribas según abertura**

Abertura (mm)	Cantidad (l/m ³)
20	0,038
25	0,023
35	0,012
40	0,009

Fuente: YÁNEZ, F. OPS. (1993).

2.1.2. **Desarenadores**

Remueven partículas de arena y similares, con un peso específico cercano a 2,65 g/cm³ y tamaños superiores a 0,15 mm. de diámetro. Normalmente se encuentran en aguas residuales domésticas, comerciales y municipales, rara vez en las industriales.

Estas partículas causan abrasión y daños en las tuberías y equipos (ejemplo: bombas) del sistema de tratamiento, por acumulación de arena, detritos y otros materiales inertes. Es obligatorio el pretratamiento en la inclusión de sedimentadores y digestores, pero es opcional para las lagunas de estabilización, dejando el espacio adicional para la acumulación de arena en el fondo, según Lozano, W. (2012).

Figura 3. **Canal desarenador**



Fuente: Planta de tratamiento de aguas residuales. USAC. (2014).

Algunas recomendaciones para su diseño e instalación:

- Preferiblemente de limpieza manual, los mecánicos únicamente para instalaciones grandes.
- Velocidad hidráulica recomendada de 0,3 m/s, con una tolerancias del (+/-) 20 %, basado en caudal máximo horario húmedo. Existe una relación de distintas velocidades mostradas en la tabla X.

- Para el control de la velocidad en distintos tirantes se instala un vertedero de salida, ya sea sutro, trapezoidal o una canaleta medidora de caudal, *parshall* o *palmer bowlus*.

Tabla X. **Velocidades de sedimentación para diferentes tamaños de arenas a una temperatura de 16 °C y una eliminación al 90 %**

Diámetro de partícula (mm)	Velocidad de sedimentación (m/h)
0,15	40 a 50
0,2	65 a 75
0,25	85 a 95
0,3	105 a 120

Fuente: MORENO LÓPEZ, M. Universidad de Huelva, España. 2010.

2.1.3. Trampas de grasa y aceite

Separadores de grasa o desengrasadores son otros nombres que recibe este pretratamiento, por distintos autores, organizaciones, instituciones. El más común en Centroamérica y Latinoamérica es el término trampas de grasas y aceites, y por esta razón se le da más uso en este documento.

Los desengrasadores son tanques en los que el agua residual gris tiene una permanencia corta, y permite el flote de partículas menos densas que el agua, llevándolas a la superficie. Según Yanez, F. (1993), estos tanques se deben usar en los casos de presencia de desechos industriales con grandes cantidades de aceites y grasas.

Como parte del *Manual de Disposición de Aguas Residuales de la GTZ*, traducido para la Cepis, OPS y OMS (1991), indica que, “para volúmenes pequeños de aguas residuales, esto puede llevarse a cabo en el estanque de

sedimentación; en el caso de volúmenes grandes, es necesario contar con equipos especiales”. La norma del Instituto Alemán de Normalización, DIN 4041, exige el uso de separadores de grasa en las siguientes actividades:

- Restaurantes y hoteles que sirven más de 200 comidas calientes diarias.
- Mataderos e instalaciones afines.
- Plantas de procesamiento de pescado.
- Fábricas de margarina, fábricas de aceites, refinerías de aceite comestible.

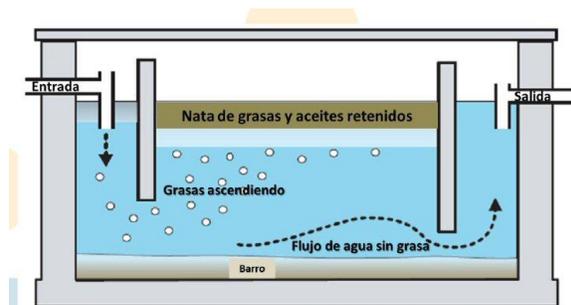
Normalmente las aguas residuales contienen pequeñas cantidades de aceite, grasa y sólidos poco densos que ingresan a los tanques sépticos y a plantas de tratamiento, formando una capa flotante. Estas representan al menos un 50% de la demanda química de oxígeno (DQO), sumándose detergentes, aceites de baño y polvos de limpieza, OMS (2006).

Las grasas de alta viscosidad y las grasas para cocinas, como la manteca de cerdo, se solidifica al enfriarse y produciendo una capa de distintos compuestos más rígida. Los microorganismos digieren muy lentamente esta materia, por lo que no se logra degradar adecuadamente. Esto causa un ambiente anaerobio en los diferentes procesos, generando efluentes de pobre tratamiento para el medio ambiente. Por ello la gran importancia de la instalación de las trampas de grasa.

En Estados Unidos tienen bien identificado, cuales instalaciones no residenciales podrían descargar grasas y aceites en el sistema de alcantarillado sanitario. Por lo general, restaurantes, instalaciones que preparen/sirvan comidas y bebidas, hoteles, hogares para ancianos, lavaderos de autos, tiendas de reparación de autos, propietarios de estaciones de bombeo privadas, entre

otras. Los hará participar en el Programa de prevención contra el aceite y la grasa e instalar un interceptor de grasas y aceite. Condado de Orange, Florida, EE.UU. (2015).

Figura 4. **Trampa de grasas y aceites**



Fuente: Lozano, Rivas W.A. (2012).

La separación por gravedad de material contaminante en las aguas residuales es necesaria para evitar perturbaciones en los procesos posteriores de tratamiento. También para impedir que estas sustancias se depositen en las paredes y en fondo de las instalaciones de tratamiento. Se recomienda en las empresas comerciales e industriales, separar inicialmente, incluso antes de la descarga de efluente en el sistema de alcantarillado público, las sustancias flotantes.

2.1.3.1. Tipos de separación

Las medidas de separación local no ejercen generalmente un efecto significativo sobre la capacidad de sedimentación de los residuos que se van a separar, por lo que debe proyectarse las etapas de tratamiento correspondiente. El *Manual de Disposición de Tratamiento de Aguas Residuales de la GTZ* (1991), indica que la separación por gravedad sirve además para recuperar

valiosas materias primas de algunas industrias. Tal es el caso de la industria siderúrgica y del carbón o para separar sustancias inservibles de los productos terminados.

Para la separación por gravedad, y según sea la densidad de los residuos, se utiliza el siguiente equipo:

- Sistemas de flotación para separar sustancias flotantes
- Separadores de aceites y grasas

Los fundamentos teóricos para la separación de sólidos por gravedad están dados por la Ley de Stokes (válido con $10^{-4} < Re < 1$);

$$v_s = \frac{d^2 \cdot g}{0,18} \cdot \frac{Q_F - Q_K}{\eta_F}$$

Donde:

v_s : velocidad de ascenso o descenso del cuerpo extraño, en cm/s

d : diámetro del cuerpo extraño en el agua, en cm

g : constante gravitacional, en m/s²

Q_F : densidad del líquido base, en g/cm³

Q_K : densidad del cuerpo extraño, en g/cm³

η_F : viscosidad dinámica del líquido base, en g/cm

La ley expresa que la velocidad de ascenso o descenso es mayor cuanto mayor sea la particular a separar (también podría tratarse de un volumen específico del líquido en el agua), cuanto mayor sea la aceleración gravitacional efectiva, cuanto mayor sea la diferencia entre las densidades y cuanto menor sea la viscosidad del líquido base.

2.1.3.1.1. Sistema mecánico de flotación

Se utiliza cuando los sólidos en las aguas residuales sedimentan deficientemente o no llegan a hacerlo debido a su bajo peso específico. La flotación es el impulso ascendente de sustancias no disueltas, provocado por burbujas de aire que se adhieren a la superficie de una suspensión. Alguna materia llega a flotar en forma natural (por ejemplo, reduciendo la velocidad de flujo), a manera de una capa espumosa que luego es eliminada. Por el contrario, otras sustancias sólo flotan cuando se les deposita diminutas burbujas de aire.

La flotación solo puede asegurarse cuando, además de contarse con una aeración adecuada, las burbujas se adhieren a las partículas suspendidas. Y esto se logra reduciendo la tensión superficial del agua mediante la adición de aglomerantes (conocidos como recogedores o generadores de espuma), consiguiendo una formación de espuma más nítida.

La eficiencia del pretratamiento puede alcanzarse en diferentes tipos de descargas comerciales e industriales, como lo indica la tabla XI. Aquí la remoción de sustancias no disueltas y aquellas extraíbles con éter de petróleo podrían alcanzar el 80 y 100 %. En el caso de la demanda bioquímica de oxígeno, es posible lograr reducciones entre 50 y 90 %, obteniendo el mayor porcentaje de reducción en aguas con contenido predominante de aceites y grasas, pero equivalente a la DBO₅ producida por las sustancias suspendidas, GTZ (1991).

Tabla XI. **Resultados de la flotación en aguas residuales industriales**

Tipo de aguas residuales	Aguas residuales crudas			Agua clarificada		
	Sustancias no disueltas	Eter Grasas sól.	DBO ₅	Sustancias no disueltas	Eter Grasas sól.	DBO ₅
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Producción de aceite comestible	230	460	2900	20	25	94
Producción de margarina	5000	3900	-	200	40	-
Molino de aceite	416	503	-	32	8	-
Producción de cosméticos	15000	5405	24500	1800	485	5880
Lavandería	30	138	300	0	30	84
Lavado de lana	4000	2100	970	60	30	90
Matadero	7428	3110	-	712	97	-
Procesamiento de carne	970	1706	1540	97	513	277
Procesamiento de pollo	1690	331	1075	275	74	86
Utiliz. desechos animales	5353	4614	-	780	775	-
Curtiembre	7792	20590	-	1310	1275	-
Producción de gelatina	2580	2825	-	458	315	-
Procesamiento de soya	1656	-	3000	42	-	800
Procesamiento de papa	2600	-	2760	60	-	260
Procesamiento de tomate	172	-	276	59	-	168
Fábrica de conservas	1350	-	790	270	-	315

Fuente: GTZ. *Manual de disposición de aguas residuales*. (1991).

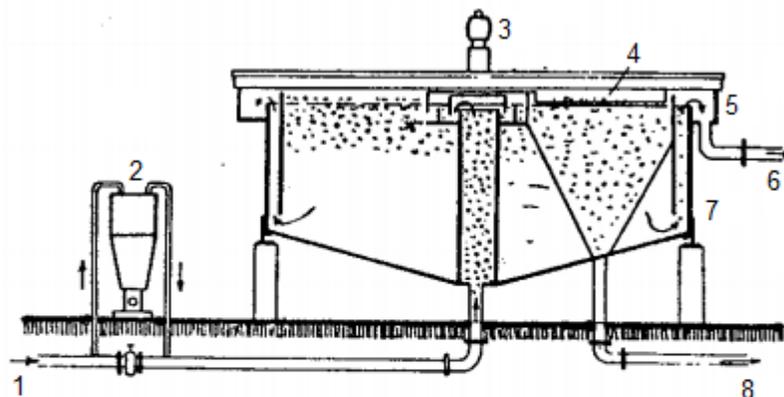
La flotación se basa en siete principios, según OPS-OMS (2003):

- Flotación natural de las partículas: por ejemplo en los separadores de aceites y grasas.
- Desvío parcial de aguas residuales a la entrada del generador de espumas y de regreso a la corriente principal, como en la trampa de espumas de Wolf.
- Aeración a baja presión ($(0,5 \text{ a } 0,7) \times 10^5$ pascales) introducido por el fondo del separador.

- Adición de agentes precipitantes: como ácido sulfúrico, potasio, sulfato de aluminio o generadores de espuma.
- Cloración del agua hasta una dosis de 1,5 mg/l.
- Las propiedades físicas y químicas de la superficie de las partículas suspendidas son repelentes al agua.
- Los sólidos suspendidos pueden hacerse flotar usando burbujas de aire adheridas, siempre que la fuerza ascensional total de las burbujas de aire, A_L , sea mayor que la diferencia entre el peso de la partícula a elevar, D_T y su fuerza ascensional, A_T :

$$A_L > (D_T - A_T)$$

Figura 5. Trampa de espuma de Wolf



- | | |
|------------------------|-------------------------------|
| 1. Entrada | 5. Canal de recolección |
| 2. Generador de espuma | 6. Salida de aguas residuales |
| 3. Flotación | 7. Área de material fibroso |
| 4. Desnatador | 8. Salida de agua espesada |

Fuente: GTZ. *Manual de disposición de aguas residuales*. (1991).

En plantas grandes puede llegar a incrementarse la eficiencia de la separación de aceites y grasas al doble o más, si se sopla aire profusamente distribuido dentro del agua. Las burbujas se adhieren a las partículas de grasa por tensión superficial, arrastrándolas a la superficie en forma de espuma.

El diseño puede hacerse considerando el tiempo que tomará al flujo atravesar el separador (10 minutos si es por gravedad o 5 a 10 minutos para aeración a una presión de $(1,5 \text{ a } 1,7) \times 10^5$ pascales, es decir, 0,3 a 0,6 metros cúbicos de aire por cada metro cúbico de agua), o según la velocidad de ascenso, utilizando la siguiente fórmula:

$$F_a = \frac{Q}{v}$$

Donde:

F_a : área de la superficie del separador de aceites y grasas, m^2 .

Q : caudal, en m^3/s . (El separador se diseña para condiciones secas, pero debe ser lo bastante grande como para que no se produzcan reboses en caso de lluvias).

v : velocidad de ascenso, en m/s .

Según las regulaciones suizas para el diseño de separadores de aceites y grasas con partículas de diámetro menor o igual a 0,25 mm. Se pueden tomar los valores de la tabla XII, como base para el dimensionamiento.

La cantidad de sustancias flotantes en las aguas residuales domésticas es entre 1 a 5 litros por persona por día. (GTZ, 1991).

Tabla XII. **Dimensionamiento de separadores de aceites y grasas, según normas suizas**

Densidad de los aceites y grasas (kg/dm ³)	Velocidad de ascenso V_a (m/h)	Área superficial de separador para Q = 1 (m ²)
0,75	22,50	0,16
0,80	18,00	0,20
0,85	13,50	0,27
0,90	9,00	0,40

Fuente: GTZ. *Manual de disposición de aguas residuales*. (1991).

2.1.3.1.2. Separación natural

Según la Norma 4040, del Instituto Alemán de Normalización, en estos casos, el sistema consiste en tanques cuya construcción debe tener la capacidad de retener al menos 40 litros de material liviano (grasas y aceites) por cada litro por segundo de agua que ingrese, manteniendo al mismo tiempo una eficiencia del 92 % de su valor nominal, determinado con aceite de linaza mezclado y sin mezclar.

Respecto a las dimensiones del separador, la DIN 4040 señala que cuando el separador se construya *in situ* o cuando no se pueda determinar su eficiencia nominal en el laboratorio, se observen los siguientes requisitos respecto a las dimensiones:

- Si el material separado tiene una densidad de 0,937 kg/m³, el tiempo de retención en el recipiente de recolección debe ser:

Tabla XIII. **Tiempo de retención hidráulico mínimo según caudal**

Caudal Q (l/s)	Tiempo de retención hidráulica TRH (min)
2 a 9	3,00
10 a 19	4,00
> 20	5,00

Fuente: GTZ. *Manual de disposición de aguas residuales*. (1991).

- En caso de que el material tenga densidades mayores se requerirán períodos de retención más prolongados.
- Por cada l/s que ingrese al recipiente de recolección, debe existir un área de 0,25 m². La relación del ancho – largo del tanque debe ser de 1 a 1,8.
- La salida del separador de grasa debe tener una cubierta contra los malos olores de 60 milímetros de espesor, pero debe haber ninguna en la parte lateral de la entrada de agua.

3. METODOLOGÍA

3.1. Investigación de información

Para llevar a cabo este estudio se debe identificar qué parámetros o variables influyen sobre eficiencia de las trampas de grasa. Además se debe investigar temas de relacionados al comportamiento de las grasas y su determinación. Entre estos,

- Diseño de trampas de grasa. Y variables que influyen en este.
- Grasas y aceites, composición, comportamiento, características físicas.
- Sistemas de tratamiento de flotación y separación.
- Métodos para determinar la concentración de grasa. Identificar el equipo y reactivos necesarios y el costo de cada uno. Cotización de pruebas de laboratorio para determinar la concentración de aceites y grasas.

También se realizaron consultas sobre las diferentes opciones para la construcción de la trampa de grasa. Entre las más recomendadas estaban por: orden de duración y práctica de uso, la de concreto, de acero inoxidable, acrílico y por último de vidrio, según Cepis, (2003). Por explicaciones experimentales se seleccionó la trampa de grasas de vidrio, dado que brindará más posibilidades de análisis, al medir a través del vidrio claro los niveles de grasa, aceite y residuos acumulados a lo largo del tiempo de uso.

3.2. Punto de muestreo

La recolección de muestras para el análisis de la eficiencia de la trampa de grasas se realiza en la cafetería y comedor cafetería Nissi. Está ubicado en el primer nivel del edificio de la Facultad de Arquitectura T2 de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Las coordenadas del punto de muestreo son latitud 14°35'17,34" N y longitud 90°33'10,98" O.

Figura 6. Ubicación del muestreo



Fuente: Google Maps. Consulta: 10 de marzo del 2014.

3.2.1. Información general de la cafetería

El horario de servicio es de 7:00 a 19:00 hrs. Y las horas de trabajo se extienden a 30 minutos antes y después del horario de servicio. Cuenta con 27 mesas y 4 asientos por mesa, con una capacidad total de 108 personas a la vez sentadas. Trabajan un total de 6 empleados, entre el gerente, cocineros, saloneos y misceláneos.

Se preparan tres alimentos básicos diarios, desayuno, almuerzo y café. Adicionalmente cocinan otros productos como postres, panes (emparedados con algún embutido y ensalada), hamburguesas, tacos, poporopos, y otros. Sirven un promedio total de 200 platos calientes al día.

La cafetería cuenta con un fregadero con dos grifos y una pila con otros dos grifos. Además tiene una línea de abastecimiento adicional con un filtro para la preparación de bebidas y lavado de verduras. No se cuenta con inodoro privado para los comensales ni para los trabajadores del mismo, por lo que no se producen aguas grises de lavamanos.

Como referencia, el gerente Amílcar Figueroa estima un gasto promedio de 2,00 m³/día, “Tenemos un tonel que se llena hasta 20 veces por día para almacenar agua¹. Y este caudal será verificado por medio de cálculo.

Para determinar el caudal efluente de la cafetería se utiliza el método volumétrico. Por lo general se realiza en caudales pequeños y se requiere de un recipiente con un volumen conocido para coleccionar el agua y se mide el tiempo, con un cronómetro, que dura en llenarse el recipiente. El caudal resulta de dividir el volumen del agua que se recoge en el envase entre el tiempo que transcurre en coleccionar dicho volumen.

$$Q = \frac{V}{t}$$

Donde:

Q : caudal, en litros por segundo

V : volumen, en litros

t : tiempo, en segundos

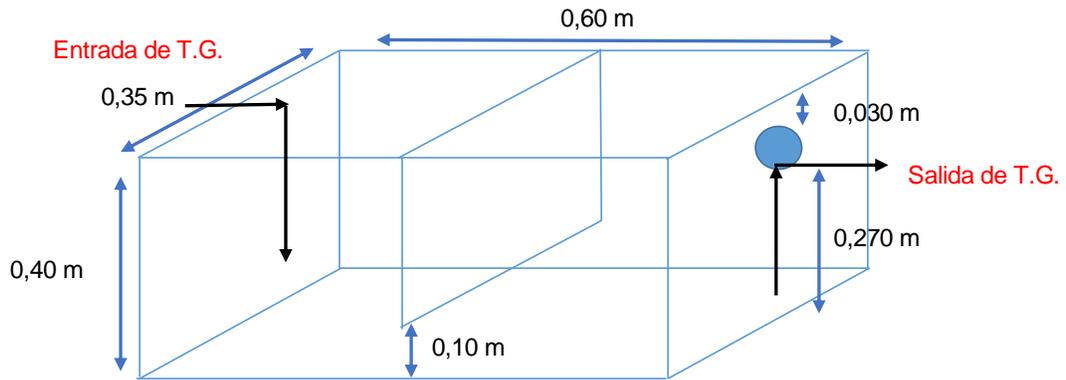
Para contar con datos del caudal más preciso, se decide medir la totalidad del efluente del restaurante por un día y así obtener una curva de caudal. Esto para comprender el comportamiento del consumo y vertido del agua residual comercial, una cafetería que puede semejarse al de un restaurante.

3.3. Procedimiento de diseño experimental

El experimento pretende identificar cuál de las variables o grupo de variables de diseño de las trampas de grasas influye más sobre la eficiencia. Por ello, aunque lo correcto sería diseñar una trampa de grasas específica para el caso de la cafetería, se incluyen los factores como el caudal y el tiempo de retención hidráulico y se instala un separador de grasas con dimensiones similares a la de alguna trampa de grasas comercial, para evidenciar si estas son eficientes.

Se tienen los detalles constructivos de una trampa de grasas comercial (ver anexo I). El bosquejo de la figura 7 muestra cómo se inicia con el ensamblaje de la trampa en una vidriera, contemplando la pared en medio con fondo falso para el paso de los líquidos y el choque hidráulico que esta provoca. Se regula para regular la energía con la que fluye el agua y promueve la separación de la grasa.

Figura 7. **Dimensionamiento de trampa de grasas experimental**



Volumen total: 0,084 m³

Opción para igualar volumen = 0,054 m³

Nivel de salida de T.G. = 0,259 m

Nivel total más diametro = 0,359 m

Opción segura de volumen = **0,0567 m³**

Nivel de salida de T.G. = 0,270 m

Nivel total más diametro = 0,370 m

Bordillo de salida = 0,030 m

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

3.3.1. **Construcción del modelo experimental**

Con los detalles constructivos y los materiales necesarios para iniciar la obra, se contrata mano de obra para la construcción del módulo experimental. Las principales actividades del proceso constructivo fueron:

- Coordinación con el Arq. Amilcar Figueroa (dueño del local) y el maestro de obras, para definir la mejor ubicación de la trampa de grasas.
- Trazado de la caja de registro (1 m de ancho por 1,60 m de largo por 80 cm de profundidad) donde se instalará la trampa de grasas. Esto para contar con espacio suficiente para toma de muestras, operación y mantenimiento.

- Excavación justa para inicio de construcción del registro.
- Colado de concreto reforzado para el cimiento (base) del registro.
- Corte de concreto del registro anterior, para hacer la conexión de la tubería de 7,50 cm de diámetro (salida de aguas grises) que viene del restaurante.
- Levantado de paredes de registro en *block* de 10 cm de espesor.
- Colocación de trampa de grasas dentro del registro, ubicándola de forma que haya espacio para manipulación de la misma.
- Instalación mecánica de la salida de aguas grises del restaurante con la entrada de la trampa de grasas y de la salida de la trampa de grasas con el desagüe sanitario existente.
- Armado, colado e instalación de tapas de concreto del registro.

La trampa cuenta con las válvulas necesarias para medición de caudal y toma de muestras tanto en la entrada como en la salida del modelo. Como se muestra en la imagen ocho, el afluente de la trampa viene del lado izquierdo, ingresa a la trampa con un niple de PVC que se introduce 30 cm de profundidad y sale el afluente en el otro extremo con un niple a 27 cm del fondo de la trampa de grasas y aceites.

Figura 8. **Instalación de trampa de grasas experimental**



Fuente: Facultad de Arquitectura, Usac.

Con un nivel de salida de 0,27 m desde el fondo de la trampa, se alcanza un volumen de almacenamiento de 56,70 l, alcanzando casi los 15 galones. Superando casi por 1 gal. la trampa de grasas comercial que se tomó de modelo. En apéndice II se muestra el proceso constructivo del modelo experimental.

3.3.2. Parámetros experimentales

De acuerdo a la investigación realizada las variables que influyen sobre la eficiencia de la trampa de grasas son:

- Caudal del efluente del local comercial, en litros por segundo
- Tiempo de retención hidráulico, en minutos (min) y segundos (s)
- Cantidad de grasa acumulada, en centímetros de espesor (cm)
- Densidad de la grasa, en kilogramos por metro cúbico (kg/m^3)

Como observación durante la elaboración de muestreos, se visualizó otro parámetro que podría influir es la cantidad de sedimento que se acumula en la trampa de grasa.

Existen otros parámetros que se miden aprovechando el recurso del laboratorio. Estos forman parte de la caracterización de las aguas residuales comerciales (sin aguas negras) y determinación de remoción o variación con el uso de la trampa de grasas. Los cuales son:

- Grasas y aceites, en miligramos por litro (mg/l), ver metodología de laboratorio para su determinación en apéndice III.
- Demanda bioquímica de oxígeno, DBO_5 , en miligramos por litro.
- Demanda química de oxígeno, DQO, en miligramos por litro.
- Sólidos sedimentables en el tiempo de retención según cada caudal, centímetros cúbicos por litro.
- Sólidos sedimentables en 1 hora, en centímetros cúbicos por litro.
- Sólidos suspendidos, en miligramos por litro.
- Temperatura, en grados centígrados.

Los parámetros indicados anteriormente son determinados según el *Manual de química y microbiología sanitaria*, del curso de Química y Microbiología Sanitaria de la ERIS.

3.3.3. Inversión económica de la investigación

En el apéndice IV se detalla el costo de inversión que el proyecto de investigación ha tenido, un poco superior a los 8 000 quetzales. Desde el inicio de construcción hasta el actual funcionamiento, operación, mantenimiento y análisis de muestras para su desarrollo experimental.

3.4. Método estadístico

En estadística para determinar el efecto de ciertas variables sobre otras, de manera independiente e integral, se puede utilizar un modelo de análisis multivariado o un modelo de regresión múltiple.

Esta parte de la estadística y análisis de datos que estudia, analiza representa e interpreta los datos como resultado al observar más de una variable estadística sobre una muestra de individuos. Las variables son homogéneas y correlacionadas, sin que alguna predomine sobre las demás. Es de carácter multidimensional, por lo que la geometría, el cálculo matricial y las distribuciones multivariantes juegan un papel fundamental, Cuadras, (2014).

Según Abaira, (1996), la estadística multivariante se ocupa de los vectores aleatorios (vector formado por una o más variables) que tienen aplicaciones en muchas ciencias y técnicas. Es un modelo explicativo, ya que esclarece el comportamiento de una variable que recurre a otras y estudian el comportamiento de tres o más variables al mismo tiempo.

El análisis multivariante sirve para identificar las variables menos representativas para eliminarlas, simplificando los modelos estadísticos en los

que el número de variables sea un problema y así comprender la relación entre varios grupos de variables.

Objetivos principales de este tipo de estadística son:

- Proporcionar métodos cuya finalidad es el estudio conjunto de datos multivariantes que el análisis estadístico uni y bidimensional es incapaz de conseguir.
- Ayudar al analista o investigador a tomar decisiones óptimas en el contexto en el que se encuentre, teniendo en cuenta la información disponible por el conjunto de datos analizado.

3.4.1. Regresión múltiple

Es utilizada cuando se estudia la posible relación entre varias variables independientes (predictoras o explicativas) y otra variables dependiente (criterio, explicada, respuesta).

Barón (2004) indica que la técnica de regresión múltiple se usa frecuentemente en investigación, aplicado a variables respuesta de tipo numérico. Esto es cuando existen respuestas de tipo dicotómico (por ejemplo: masculino/femenino, muere/vive), se usa otra técnica denominada regresión logística.

3.4.1.1. Aplicaciones de la regresión múltiple

- Identificación de variables explicativas, para crear un modelo donde se seleccionen las variables que puedan influir en la respuesta, descartando aquellas que no aporten información.

- Detección de interacciones entre variables independientes que afectan a las variables respuesta.
- Identificación de variables confusoras: es difícil su detección, pero de interés en investigación no experimental, ya que el investigador frecuentemente no tiene control sobre las variables independientes.

3.4.1.2. Requisitos y limitaciones

Dentro de los requerimientos necesarios para utilizar la regresión múltiple, se citan entre los más importantes (Téllez, 2004):

- Linealidad: suponiendo que la variable respuesta depende linealmente de las variables explicativas. En caso contrario se deben introducir componentes no lineales, para su transformación o términos de interacción.
- Normalidad y equidistribución de los residuos: siendo los residuos las diferencias entre los valores calculados por el modelo y los observados en la variable dependiente. Además de cumplir con residuos pequeños, se debe distribuir normalmente y con la misma dispersión para cada combinación de valores de las variables independientes.
- Número de variables independientes: es recomendable tener una cantidad de variables media, ya que muchas llevan a cometer errores y pocas observaciones con muchas variables, generará una aproximación muy artificial y sensible a los valores observados. La inclusión de una observación adicional puede cambiar completamente el valor de los coeficientes del modelo. Una regla que recomiendan es la de incluir al

menos 20 observaciones por cada variable independiente que se estimen *a priori* interesantes en el modelo.

- Colinealidad, cuando dos variables independientes están estrechamente relacionadas y ambas son incluidas en un modelo, muy posiblemente ninguna de las dos sea considerada significativa, aunque si solo hubiera sido incluida una de ellas, sí.
- Observaciones anómalas, muy relacionada con los residuos. Se debe poner especial cuidado en identificarlas y descartarlas, dado que influyen en el resultado incidiendo en el análisis.

3.4.1.3. Variables numéricas e indicadoras

El modelo de regresión múltiple tiene el aspecto:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + \dots + b_nX_n$$

Donde,

Y : variable dependiente.

X_i : variables independientes o explicativas.

b_i : coeficiente del modelo, calculados por el programa estadístico, de modo que se minimicen los residuos.

3.4.2. Número de muestras

“Por medio de un modelo de regresión múltiple, no se tiene una justificación en cuanto al cálculo para la determinación de muestras. Se define una cantidad de muestra por conveniencia, siempre y cuando cumpla con una cantidad de grados de libertad suficiente (con la tabla de distribución F, ver

anexo II) para que el análisis de varianza sea justificable”, citando al Lic. Oscar Federico Nave Herrera, coordinador del Programa de Asesoría Estadística para Investigación, de la Dirección General de Investigación DIGI, de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

La eficiencia de la trampa de grasas (variable dependiente) varía con el caudal que ingresa (variable independiente). Si este genera un tiempo de retención hidráulica (dependiente del volumen que es constante y del caudal) igual o superior al recomendado, la misma es eficiente, caso contrario la eficiencia decae.

También se documenta que la cantidad de grasa que va almacenando (variable independiente) en la superficie de la trampa influye sobre la eficiencia. En el momento en que la trampa se satura de grasas y aceites, la eficiencia es nula.

Durante los primeros muestreos se evidenció que la cantidad de sólidos sedimentables (variable independiente) se va incrementado en mayor porcentaje con respecto a las grasas y aceites, pudiendo ser un factor más que influye en la eficiencia de la trampa de grasas.

Como la cantidad de grasas, aceites y sólidos sedimentables son variables incrementales con respecto al tiempo, se deben muestrear al menos 3 caudales diarios representativos (el caudal mínimo, medio y máximo), ya que el volumen de grasas, aceites y sólidos serán muy similares en 1 día. Logrando esto, sí se puede analizar la variabilidad de la eficiencia con respecto al caudal y su relación con el tiempo de retención hidráulico.

Los primeros muestreos se realizaron cada 2 días en la tabla XIII, porque los documentos recomiendan la remoción de grasas acumuladas cada semana, con la excepción de otros que lo encomiendan cada 15 días e inclusive unos cada mes. En estos muestreos se evidenció en la cuarta muestra (séptimo día de operación) que la eficiencia era nula y se confirmó en la quinta muestra (noveno día de la operación).

Tabla XIV. **Muestreos según día de operación (una repetición)**

Muestreos	1°		2°		3°		4°		5°
Días de operación	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Días de semana	L	M	M	J	V	S	L	M	M

Fuente: elaboración propia.

Por lo tanto con 5 días de muestreos, muestreando 3 veces por día (3 caudales diferentes), se logran 15 lecturas que representan solo 1 repetición experimental.

“Con dos repeticiones como mínimo del proceso, se puede evaluar el efecto de las variables independientes (incluyendo covariables) sobre cada una de las variables dependientes por medio de un modelo de regresión múltiple”, comentó el Lic. Nave Herrera.

Con dos repeticiones experimentales y 15 lecturas cada una se completan 30 muestras en total. Si se muestrea la entrada y salida de la trampa de grasas, para medir las remociones, se suma un total de 60 pruebas de laboratorio para cada parámetro. Entre ellas grasas y aceites, DBO₅, DQO, temperatura, sólidos sedimentables y sólidos suspendidos.

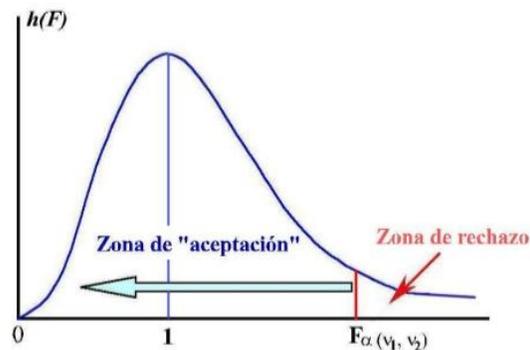
3.4.3. Determinación de probabilidad del número de muestras

Revisando en la tabla de distribución F, donde el análisis estadístico de la varianza para contrarrestar la igualdad de las muestras tiene la forma:

$$F = \frac{\text{variación entre medias muestrales}}{\text{variación entre individuos de la misma muestra}}$$

Según Moore, D. (662:2005), el estadístico F solo puede tomar valores positivos o cero, siendo cero solo cuando todas las medias muestrales son idénticas, se hace mayor a medida que las medias muestrales están más separadas entre sí. Los valores F grandes constituyen una buena evidencia en contra de la hipótesis nula H_0 de que todas las medias poblacionales son iguales. A pesar de que la hipótesis alternativa H_1 es de muchas colas, la prueba F del Anova es de una cola, ya que cualquier violación de H_0 tiende a producir valores de F mayores. Una distribución F concreta se especifica mediante dos parámetros: los grados de libertad del numerador y los grados de libertad del denominador.

Figura 9. Gráfica para tabla distribución F de Fisher



Fuente: BAUTISTA, R. *Técnicas bivariadas de análisis*. p. 5.

Para determinar la probabilidad en la tabla de distribución F, se determina:

$$F = \frac{\textit{grados de libertad con tratamiento}}{\textit{grados de libertad de error}}$$

- Número de muestra total: $N = 30$.
- Variable independiente (v_1): caudal, con $n = 3$ variables
 - Caudal mínimo
 - Caudal medio
 - Caudal máximo
- Variables independiente (v_2): días de operación, con $n = 5$ variables.
 - Día 01, primer día de operación.
 - Día 03 de operación
 - Día 05 de operación
 - Día 07 de operación
 - Día 09 de operación

Los grados de libertad con tratamiento se determinan de la siguiente manera:

$$gl(ct) = n - 1$$

Donde,

$gl(ct)$ = grados de libertad con tratamiento, nominador en tabla de distribución F.

n = número de variables dentro de la muestra.

Para v_1 , el caudal:

$$v_1 = 3 - 1 = 2$$

Para v_2 , los días de operación

$$v_2 = 5 - 1 = 4$$

Los grados de libertad del error, denominador en la tabla de distribución F, se determinan:

$$gl(error) = gl(totales) - \sum gl(ct)$$

Donde,

$gl(error)$ = grados de libertad del error

$gl(totales)$ = grados de libertad totales

$$gl(totales) = N - 1$$

Donde,

N = número de muestra de la total

$$gl(totales) = 30 - 1 = 29$$

$$\sum gl(ct) = 2 + 4 = 6$$

$$gl(error) = 29 - 6 = 23$$

$$F_{1(0.95)} = \frac{gl v_1}{gl(error)} = \frac{2}{23} = 3,422$$

$$F_{2(0.95)} = \frac{gl v_2}{gl(error)} = \frac{4}{23} = 2,796$$

Donde en la tabla de distribución F, con “ $1-\alpha = 0,95$ ”, en el nominador de 2 y 4 y un denominador de 23, resulta una probabilidad de 3,422 y 2,796 respectivamente. Esto significa que a la izquierda de este valor se encuentra el 0,95 de probabilidad y a la derecha el 0,05 probable crítico.

3.4.4. Modelación estadística

El modelo de regresión múltiple en este caso evaluará el rendimiento o eficiencia de remoción de grasas (variable dependiente), porcentaje de la diferencia entre la grasa que ingresa y la grasa que sale de la trampa. En función de las variables predictoras, caudal y días de operación, altura de grasas acumuladas y altura de sólidos sedimentados.

Se medirán como covariables del sistema, el volumen de las grasas acumuladas, el volumen los sólidos sedimentados, el volumen neto (diferencia entre el volumen constante y los volúmenes anteriores), temperatura del agua, tiempo de retención hidráulico y se agregarán al modelo de regresión múltiple para determinar su influencia sobre el rendimiento de la trampa de grasas.

Se introducirán las variables en el programa estadístico informático SPSS, versión 22.0.0.0. A cada variable se le debe indicar el nombre (resumido), tipo de variables, cantidad de dígitos y decimales aceptables, se debe etiquetar (descripción), la medida (puede ser escala, nominal u ordinal). En la figura 10 se introducen las variables y en la figura 11 se visualizan los dato de cada una.

Los datos de las variables que se anotarán como los resultados obtenidos de los muestreos son:

- Caudal en litros por segundo
- Días de operación (1, 3, 5, 7 y 9)
- Tiempo de retención en segundo, misma dimensional que el caudal
- Altura de grasas promedio en centímetros
- Altura de sólidos sedimentados promedio en centímetros
- Volumen de grasas promedio en litros, misma dimensional de caudal

- Volumen de sólidos sedimentables en litros
- Temperatura en °C

Otros valores se introducirán en el programa como eficiencias, tales como:

- Remoción de grasas y aceites, en miligramos por litro
- Remoción de DBO5, en miligramos por litro
- Remoción de DQO, en miligramos por litro
- Eficiencia de remoción de sólidos sedimentados en miligramos por litro
- Eficiencia de remoción de sólidos suspendidos, en miligramos por litro

Una variable será calculada en el programa de SPSS,

- Volumen de la trampa, como:

$$Vol_{Trampa} = 56,7 - (VolG - VolSS)$$

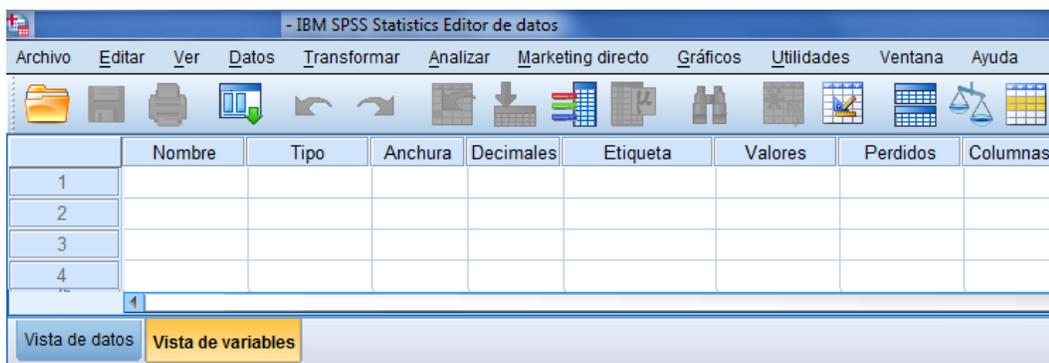
Donde,

Vol_{Trampa} = volumen que varía conforme el tiempo, en litros

$VolG$ = volumen de grasas acumuladas, en l

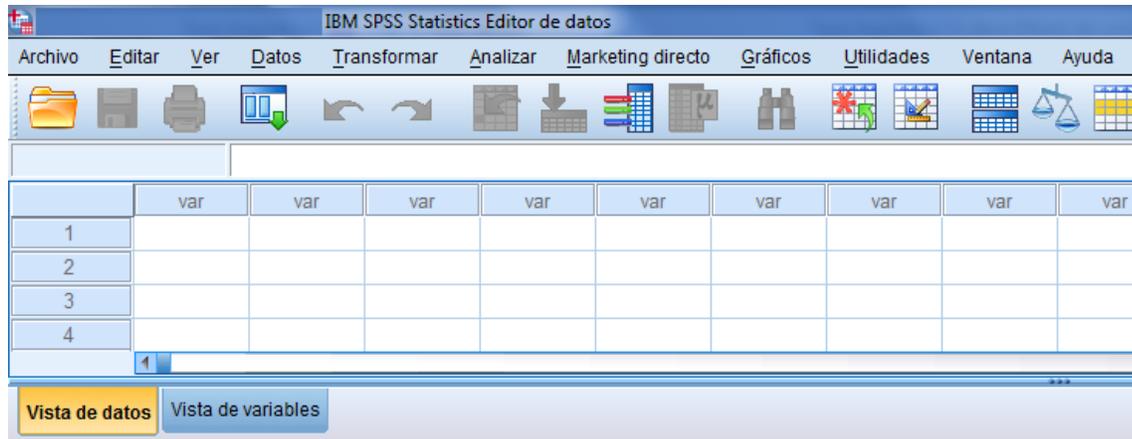
$VolSS$ = volumen de sólidos sedimentados, en l

Figura 10. **Vista de introducción de variables del SPSS**



Fuente: SPSS, versión 22.0.0.0.

Figura 11. Vista de introducción de datos de variables del SPSS



Fuente: SPSS, versión 22.0.0.0.

Para analizar la influencia que tiene las diferentes variables de diseño de la trampa sobre la eficiencia de remoción de grasas y aceites se realizarán tres modelaciones de regresión múltiple:

- Modelo con variables independientes solamente
- Modelo con covariables únicamente
- Modelo con variables independientes y covariables

Se determinará cual modelo tiene mejor predicción de comportamiento futuro, R cuadrado (R^2), el cuadro de la relación de Pearson. Además se identificará si el p -valor ($\alpha - 0,95$), es menor que el nivel de significancia, para así rechazar la hipótesis nula (H_0) y concluir que la hipótesis alternativa es verdadera (H_1).

H_0 : los sólidos sedimentados acumulados no afectan la eficiencia de la trampa de grasas, por ello, no es tomada en cuenta en la teoría del diseño.

H₁: los sólidos sedimentados acumulados afectan la eficiencia de la trampa de grasas, por ello, debe ser tomada en cuenta en la teoría del diseño.

“Es importante tomar en cuenta que los días de operación presentan situaciones distintas, ya que el día 3 de operación puede que no haya tanta carga como en el día 1 ó 2 de operación, por lo que también es recomendable modelar la regresión múltiple, segmentando los datos por día de operación”, citando al Dr. Víctor Ernesto Villagrán Colón, del área básica, de la Facultad de Odontología de la Usac.

Como otro proceso de modelación de regresión múltiple, se segmentarán los datos por día de operación y con ello identificar cuáles variables influyen sobre la eficiencia de trampa de grasas. De igual forma revisando el que predice mejor comportamiento con el R² y significancia estadística.

“Se debe tomar en cuenta que datos extremos modifican sustancialmente las correlaciones entre las variables, por ello es prudente identificarlos y bloquearlos para evitar su interferencia dentro de los modelos estadísticos.”, resumiendo lo comentado por el MSc. Bioestadística, Jorge Matute.

Según Matute J. (1992), se considera un dato o caso extremo (*outlier*), aquel que es superior o inferior a los límites que se obtienen a través de:

$$\text{Datos extremos} = \text{mediana} \pm 2 \cdot (\text{Percentil 75} - \text{Percentil 25})$$

Si existiesen datos extremos, estos serán anulados de la modelación de regresión múltiple, por lo que será la primera revisión que se debe analizar.

Se buscarán además relaciones estadísticas por medio de la regresión múltiple entre las remociones de grasas y aceites con las remociones de DBO_5 y la DQO, la relación entre los sólidos sedimentados y suspendidos con la DBO_5 y DQO.

4. RESULTADOS

4.1. Curva de caudal

De acuerdo a lo señalado en el punto 3.2.1 de la metodología, el resumen de la medición de caudal total cada 15 minutos en la tabla XIV, se representa gráficamente, también cada 30 minutos y cada hora.

Se contabilizaron un total 2 277,50 litros aproximadamente, lo que estimó el dueño de la cafetería. Este caudal es suministrado por la Universidad de San Carlos de Guatemala, el cual es abastecido por un pozo subterráneo. Por lo que la cafetería únicamente paga un rubro mensual, sin contabilizar su consumo.

Figura 12. Proceso de medición de caudal



Fuente: Facultad de Arquitectura, Usac.

Tabla XV. Caudal total cada 15 minutos de un día

Medición	Hora	Volumen (l)	Caudal (l/s)	Medición	Hora	Volumen (l)	Caudal (l/s)
1	06:30	0	0	29	13:30	3	0,0033
2	06:45	17	0,0189	30	13:45	82	0,0911
3	07:00	14	0,0156	31	14:00	32	0,0356
4	07:15	11	0,0122	32	14:15	25	0,0278
5	07:30	41	0,0456	33	14:30	54	0,0600
6	07:45	17	0,0189	34	14:45	134	0,1489
7	08:00	12	0,0133	35	15:00	78	0,0867
8	08:15	11	0,0122	36	15:15	16	0,0178
9	08:30	12	0,0133	37	15:30	24	0,0267
10	08:45	20	0,0222	38	15:45	65	0,0722
11	09:00	13	0,0144	39	16:00	29	0,0322
12	09:15	39	0,0433	40	16:15	29	0,0322
13	09:30	41	0,0456	41	16:30	51	0,0567
14	09:45	72	0,0800	42	16:45	112	0,1244
15	10:00	34	0,0378	43	17:00	104	0,1156
16	10:15	13	0,0144	44	17:15	88	0,0978
17	10:30	45	0,0500	45	17:30	59	0,0656
18	10:45	20	0,0222	46	17:45	15	0,0167
19	11:00	52	0,0578	47	18:00	60	0,0667
20	11:15	45	0,0500	48	18:15	39	0,0433
21	11:30	112	0,1244	49	18:30	34	0,0378
22	11:45	65	0,0722	50	18:45	60	0,0667
23	12:00	33	0,0367	51	19:00	42	0,0467
24	12:15	67	0,0744	52	19:15	28	0,0311
25	12:30	19	0,0211	53	19:30	52	0,0578
26	12:45	52	0,0578	54	19:45	0,5	0,0006
27	13:00	39	0,0433	55	20:00	0	0
28	13:15	46	0,0511	55	20:15	0	0

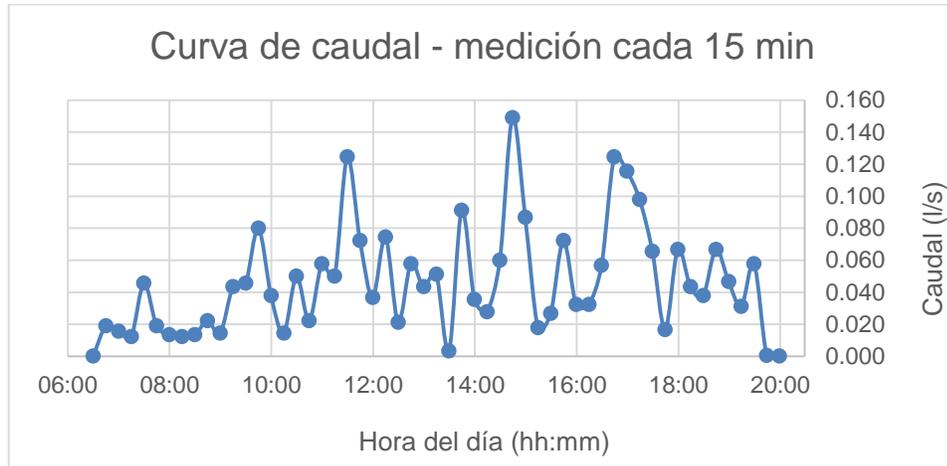
Fuente: elaboración propia.

De la acumulación de volúmenes cada 15 min, se obtienen los caudales durante ese tiempo por un día completo de servicio. De estos datos se tienen el caudal medio, máximo y mínimo:

- Caudal medio: 0,046 l/s
- Caudal máximo: 0,149 l/s

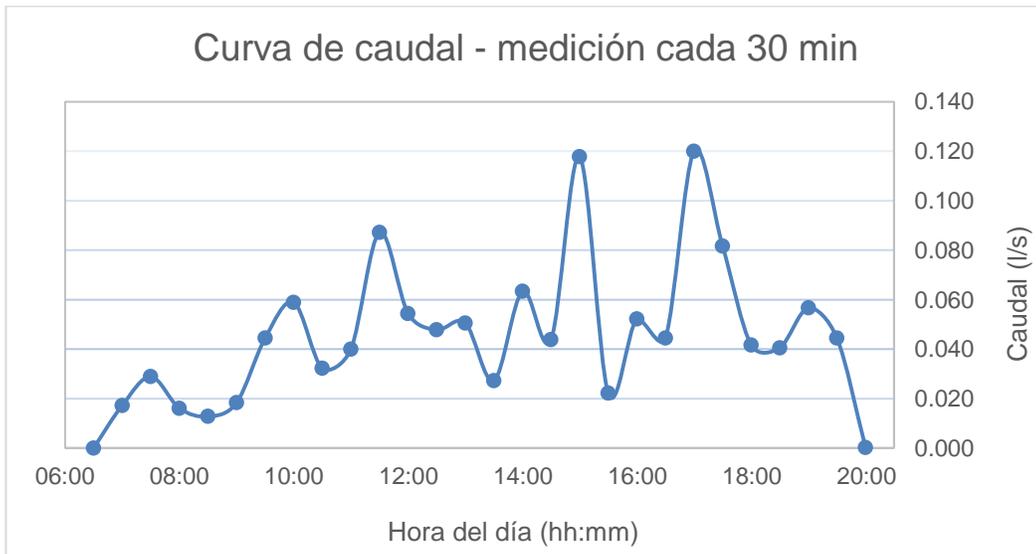
- Caudal mínimo: 0,000 l/s.

Figura 13. **Gráfica de curva de caudal durante cada 15 minutos**



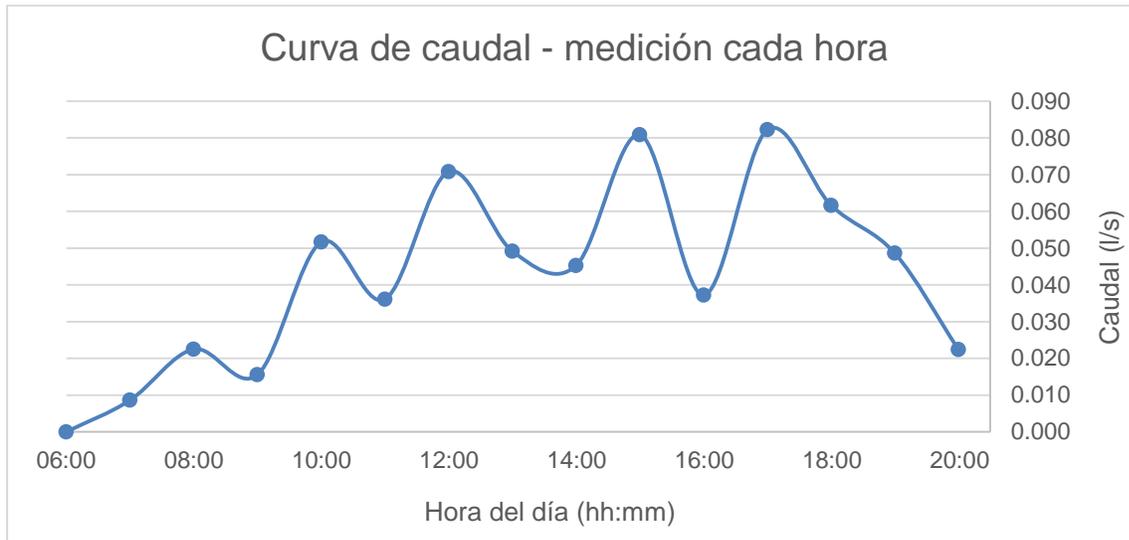
Fuente: elaboración propia.

Figura 14. **Gráfica de curva de caudal durante cada 30 minutos**



Fuente: elaboración propia.

Figura 15. **Gráfica de curva de caudal durante cada hora**



Fuente: elaboración propia.

4.2. Toma de muestras

Se iniciaron los muestreos con la trampa de grasas recién puesta en operación, luego de realizar la primera limpieza.

El proceso inicia con la toma del caudal en la entrada de la trampa, para calcular el tiempo de retención hidráulica, con el volumen fijo. Inclusive se verifica con tinte vegetal, midiendo el tiempo que tarda cruzando la trampa. Y se logra determinar el tiempo para recolectar la muestra de la salida de la trampa de grasas. Luego de medir el caudal se procede así:

- Toma de muestras para grasas y aceites en los frascos requeridos según el estándar método.

- Muestras para los demás parámetros (sólidos sedimentables y suspendidos, DQO, DBO₅) en frascos de 1 galón.
- Control de temperatura en sitio.
- Todo lo anterior se realiza tanto en la entrada de la trampa como en la salida.
- Medición de la altura de las grasas y aceites.
- Medición de altura de sólidos sedimentados.

Figura 16. **Primer muestreo de modelo experimental**



Fuente: Facultad de Arquitectura, Usac.

4.2.1. **Análisis fisicoquímico del agua comercial**

Los resultados de los muestreos se presentan en forma resumida en las siguientes tablas con el número de muestreo, el número de repetición y el día de operación de la trampa desde el arranque. Además se presenta con cada

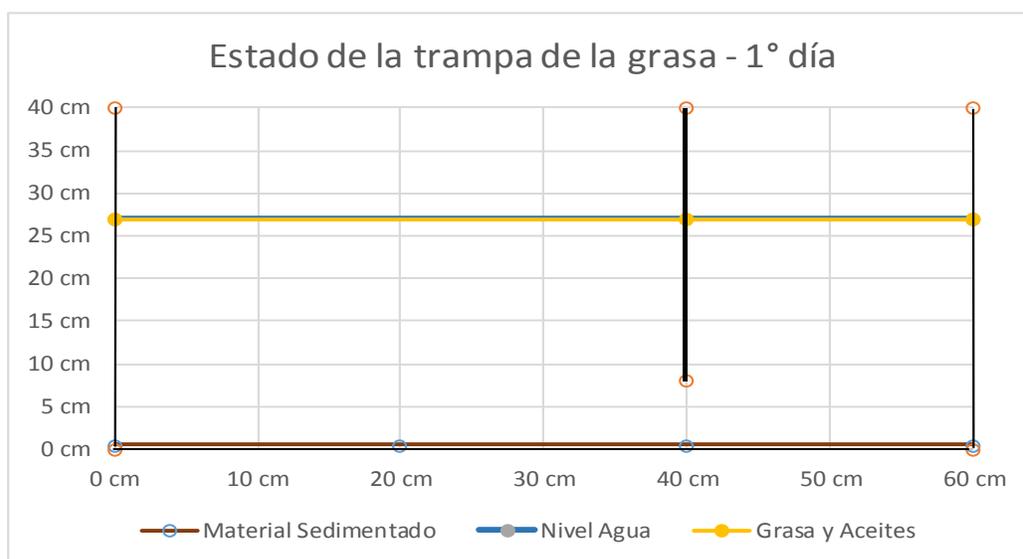
uno, la representación gráfica de los volúmenes de las grasas y aceites y los sólidos suspendidos dentro de la trampa. En el apéndice V se observa imágenes del laboratorio para la determinación de los parámetros del agua.

Tabla XVI. **Muestra 1, 2 y 3 – Repetición 1 – Día 1 de operación**

Fecha : 23/03/2015	Muestra 01		Muestra 02		Muestra 03	
Parámetros	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida
Caudal	0,069 l/s		0,041 l/s		0,510 l/s	
Tiempo de retención (mm:ss)	13: 42		23: 18		1: 51	
Hora	6:47 a. m.	7:32 a. m.	10:14 a. m.	10:37 a. m.	4:00 p. m.	4:01 p. m.
Temperatura (°C)	22,20 °C	21,40 °C	21,90 °C	21,20 °C	23,00 °C	23,40 °C
Grasas y aceites (mg/l)	127,00	73,20	408,78	71,89	69,80	83,00
DBOs (mg/l)	4 100	1 153	3 760	1 220	975	5 250
DQO (mg/l)	5 250	1 660	7 260	3 010	1 580	6 700
Sólidos Sedimentables (ml/l)*	0,00	0,20	0,20	0,10	0,00	0,05
Sólidos Sedimentables (ml/l)**	0,10	0,80	1,00	0,70	3,00	13,00
Sólidos Suspendidos (mg/l)	1 198	203	1 212	304	278	1 592
Altura promedio grasa	0,01 cm		Volumen de grasa		0,021 l	
Altura promedio sedimento	0,02 cm		Volumen sedimentado		0,042 l	

Fuente: elaboración propia.

Figura 17. **Altura de grasas, aceites y sólidos sedimentados en día 1**



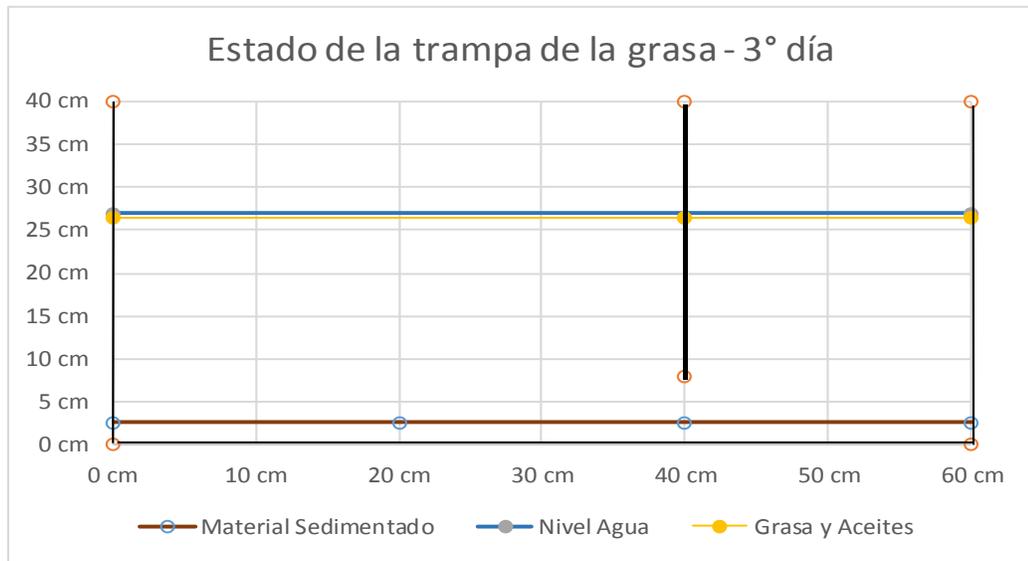
Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Muestra 4, 5 y 6 – Repetición 1 – Día 3 de operación**

Fecha : 25/03/2015	Muestra 04		Muestra 05		Muestra 06	
Parámetros	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida
Caudal	0,273 l/s		0,427 l/s		0,076 l/s	
Tiempo de retención (mm:ss)	3: 27		2: 12		12: 26	
Hora	7:30 a. m.	7:33	11:48 a. m.	11:50 a. m.	3:12 p. m.	3:24 p. m.
Temperatura (°C)	20,50 °C	21,60 °C	23,10 °C	23,00 °C	22,30 °C	22,20 °C
Grasas y aceites (mg/l)	73,00	54,56	15,80	49,60	80,60	9,20
DBO ₅ (mg/l)	1 460	1 320	2 510	3 040	216	35
DQO (mg/l)	2 234	2 193	8 667	10 150	640	130
Sólidos Sedimentables (ml/l) *	0,00	0,10	0,10	0,10	0,00	0,20
Sólidos Sedimentables (ml/l)**	0,00	0,70	0,30	0,70	0,01	1,00
Sólidos Suspendidos (mg/l)	263	217	129	170	148	15
Altura promedio grasa	0,20 cm		Volumen de grasa		0,420 l	
Altura promedio sedimento	2,50 cm		Volumen sedimentado		5,250 l	

Fuente: elaboración propia.

Figura 18. **Altura de grasas, aceites y sólidos sedimentados en día 3**



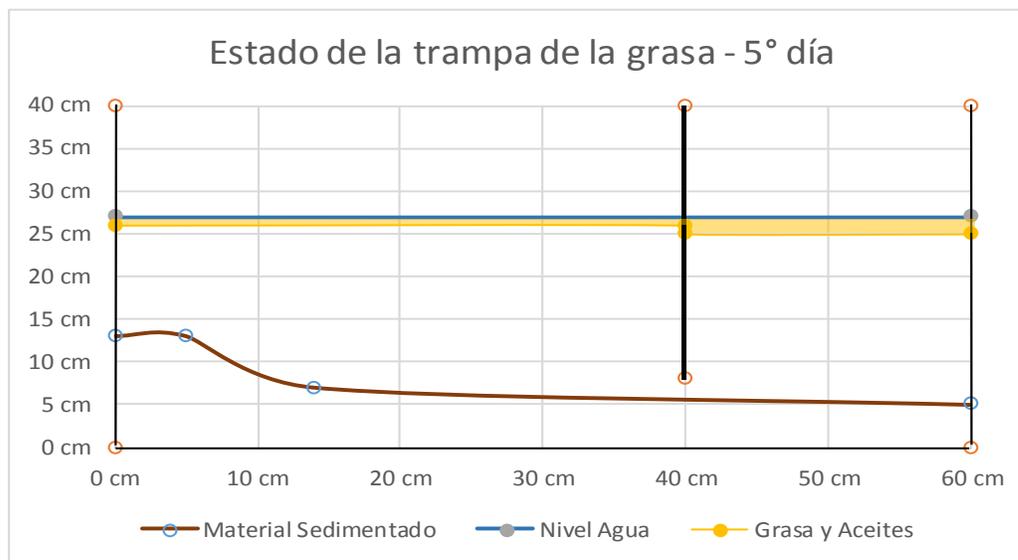
Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. Muestra 7, 8 y 9 – Repetición 1 – Día 5 de operación

Fecha : 07/04/2015	Muestra 07		Muestra 08		Muestra 09	
Parámetros	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida
Caudal	0,062 l/s		0,035 l/s		0,339 l/s	
Tiempo de retención (mm:ss)	15: 13		27: 3		2: 47	
Hora	8:34 a. m.	8:49 a. m.	12:00 m.d.	12:27 m.d.	2:02 p. m.	2:04 p. m.
Temperatura (°C)	21,70 °C	21,30 °C	22,70 °C	22,30 °C	22,90 °C	22,00 °C
Grasas y aceites (mg/l)	30,22	22,22	339,80	70,00	8,60	37,20
DBO ₅ (mg/l)	1 007	503	780	570	506	1 400
DQO (mg/l)	1 590	1 050	4 360	1 710	710	1 780
Sólidos Sedimentables (ml/l)*	0,00	0,15	0,00	0,00	0,00	0,20
Sólidos Sedimentables (ml/l)**	0,00	0,70	0,00	0,00	0,04	2,50
Sólidos Suspendedos (mg/l)	164	166	253	109	69	664
Altura promedio grasa	1,33 cm		Volumen de grasa		2,80 l	
Altura promedio sedimento	7,00 cm		Volumen sedimentado		14,70 l	

Fuente: elaboración propia.

Figura 19. Altura de grasas, aceites y sólidos sedimentados en día 5



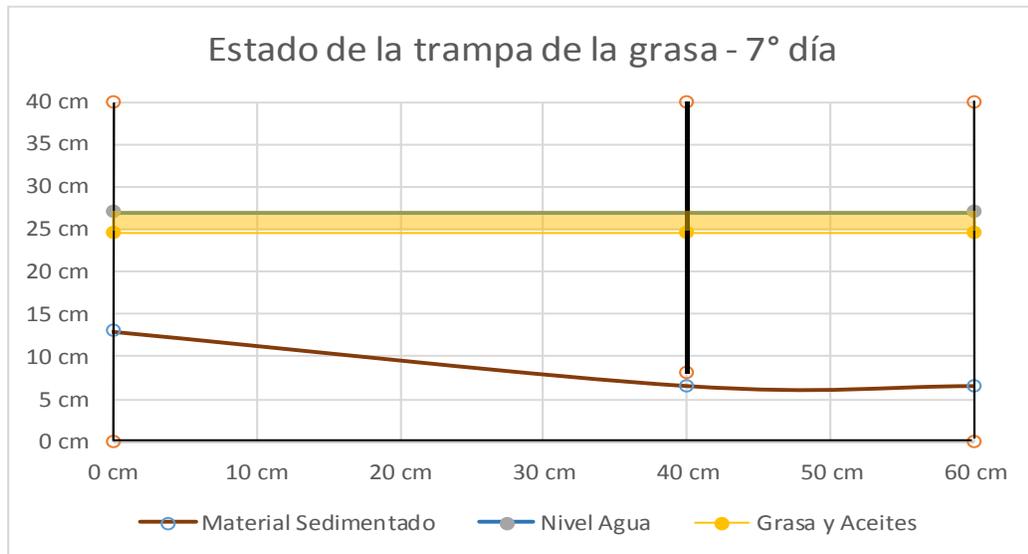
Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. Muestra 10, 11 y 12 – Repetición 1 – Día 7 de operación

Fecha : 09/04/2015	Muestra 10		Muestra 11		Muestra 12	
Parámetros	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida
Caudal	0,043 l/s		0,086 l/s		0,311 l/s	
Tiempo de retención (mm:ss)	21: 58		10: 56		3: 2	
Hora	10:50 m.d.	11:11 p. m.	12:00 m.d.	12:11 m.d.	2:02 p. m.	2:05 p. m.
Temperatura (°C)	22,60 °C	22,80 °C	22,60 °C	22,60 °C	21,80 °C	22,80 °C
Grasas y aceites (mg/l)	51,10	115,00	54,22	123,20	150,40	178,40
DBO ₅ (mg/l)	1 040	1 167	887	853	533	1 207
DQO (mg/l)	1 360	1 370	1 250	1 540	1 540	1 560
Sólidos Sedimentables (ml/l)*	0,02	0,09	0,10	0,05	0,00	0,20
Sólidos Sedimentables (ml/l)**	0,20	1,80	0,20	1,00	0,04	2,50
Sólidos Suspendidos (mg/l)	226	400	133	300	300	664
Altura promedio grasa	2,50 cm		Volumen de grasa		5,25 l	
Altura promedio sedimento	8,67 cm		Volumen sedimentado		18,20 l	

Fuente: elaboración propia.

Figura 20. Altura de grasas, aceites y sólidos sedimentados en día 7



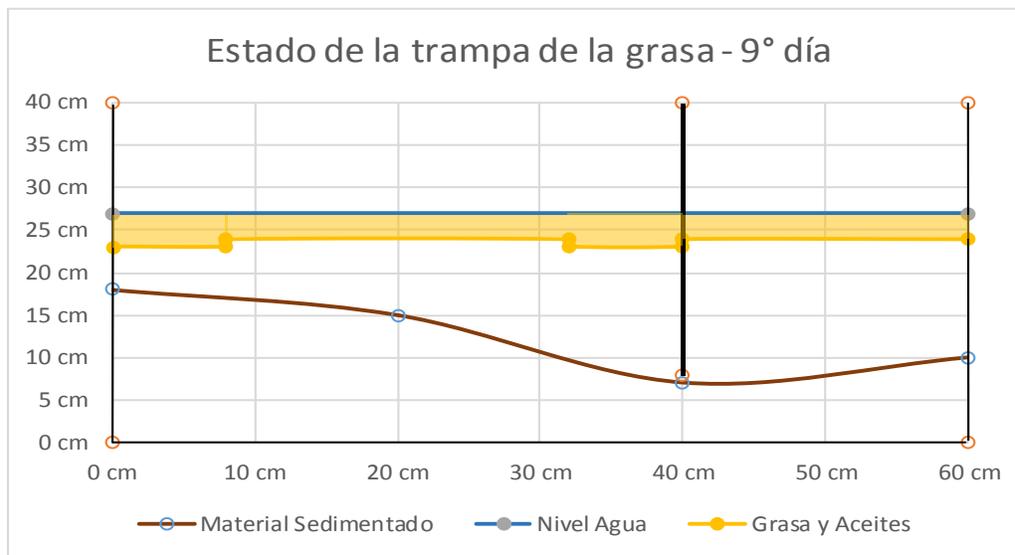
Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. Muestra 13, 14 y 15 – Repetición 1 – Día 9 de operación

Fecha : 15/04/2015	Muestra 13		Muestra 14		Muestra 15	
Parámetros	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida
Caudal	0,380 l/s		0,151 l/s		0,047 l/s	
Tiempo de retención (mm:ss)	2: 29		6: 16		20: 12	
Hora	8:50 a. m.	8:52 a. m.	11:06 a. m.	11:12 a. m.	3:16 p. m.	3:36 p. m.
Temperatura (°C)	23,40 °C	24,00 °C	23,50 °C	23,60 °C	21,80 °C	22,80 °C
Grasas y aceites (mg/l)	126,50	1315,90	81,25	148,40	51,40	98,40
DBO ₅ (mg/l)	2 510	10 150	647	1 820	460	790
DQO (mg/l)	3 040	13 500	1 140	2 800	1 030	2 260
Sólidos Sedimentables (ml/l)	0,00	0,20	0,20	0,60	0,00	0,00
Sólidos Sedimentables (ml/l)	0,20	5,00	0,00	0,30	0,80	1,80
Sólidos Suspendidos (mg/l)	182	1296	185	293	132	180
Altura promedio grasa	3,27 cm		Volumen de grasa		6,86 l	
Altura promedio sedimento	11,17 cm		Volumen sedimentado		23,45 l	

Fuente: elaboración propia.

Figura 21. Altura de grasas, aceites y sólidos sedimentados en día 9



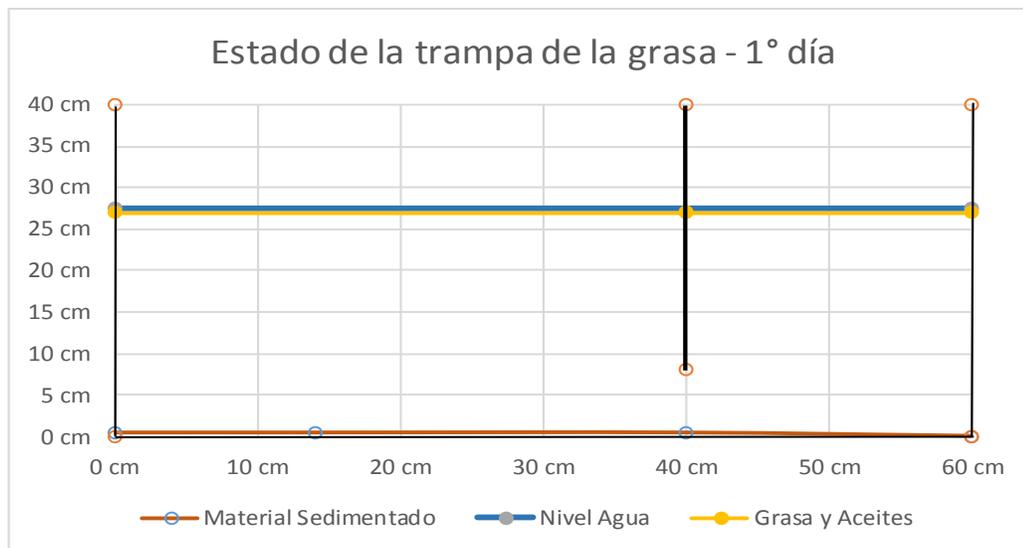
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Muestra 16, 17 y 18 – Repetición 2 – Día 1 de operación**

Fecha : 25/05/2015	Muestra 16		Muestra 17		Muestra 18	
Parámetros	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida
Caudal	0,056 l/s		0,158 l/s		0,069 l/s	
Tiempo de retención (mm:ss)	17: 50		5: 54		13: 46	
Hora	7:05 a. m.	7:22 a. m.	10:14 a. m.	10:20 a. m.	4:00 p. m.	4:14 p. m.
Temperatura (°C)	22,00	21,60	22,20	21,90	22,20	22,00
Grasas y aceites (mg/l)	53,80	29,80	68,40	37,60	33,80	25,80
DBOs (mg/l)	657	395	607	590	533	307
DQO (mg/l)	1 070	810	980	790	1 160	640
Sólidos Sedimentables (ml/l)*	0,10	0,30	0,10	0,20	0,10	0,60
Sólidos Sedimentables (ml/l)**	0,30	0,50	0,70	0,90	0,20	1,00
Sólidos Suspendidos (mg/l)	225	217	272	189	226	134
Altura promedio grasa	0,07 cm		Volumen de grasa		0,140 l	
Altura promedio sedimento	0,33 cm		Volumen sedimentado		0,700 l	

Fuente: elaboración propia.

Figura 22. **Altura de grasas, aceites y sólidos sedimentados en día 1, repetición 2**



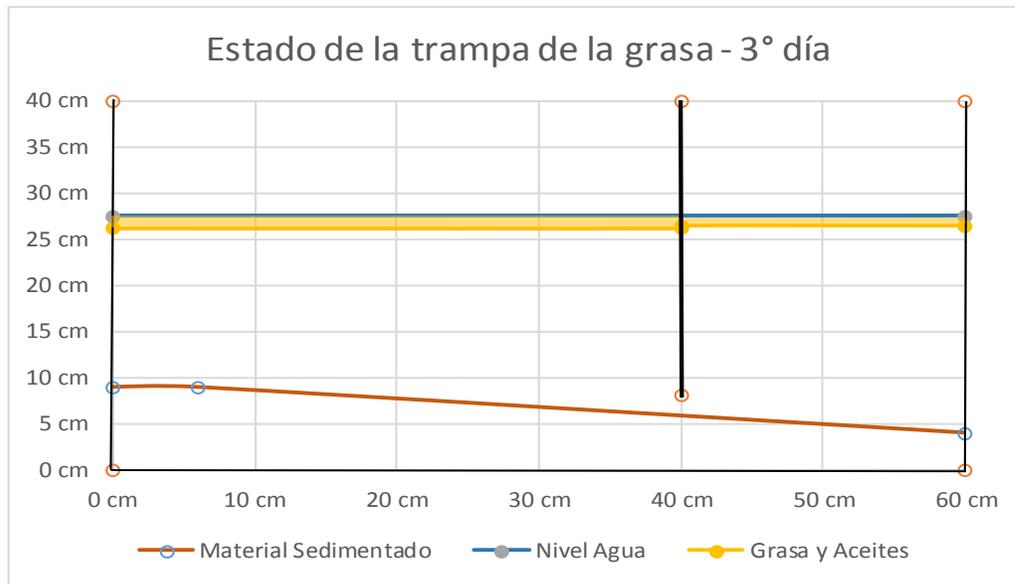
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. Muestra 19, 20 y 21 – Repetición 2 – Día 3 de operación

Fecha : 27/05/2015	Muestra 19		Muestra 20		Muestra 21	
Parámetros	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida
Caudal	0,075 l/s		0,153 l/s		0,272 l/s	
Tiempo de retención (mm:ss)	12: 36		6: 10		3: 53	
Hora	7:11 a. m.	7:23	11:48 a. m.	11:54 a. m.	2:02 p. m.	2:05 p. m.
Temperatura (°C)	22,60 °C	22,50 °C	22,40 °C	22,40 °C	22,60 °C	22,60 °C
Grasas y aceites (mg/l)	96,40	76,60	93,80	110,20	97,20	83,60
DBO ₅ (mg/l)	1 207	1 250	507	1 300	1 057	1 030
DQO (mg/l)	2 670	1 930	1 260	3 470	2 340	1 580
Sólidos Sedimentables (ml/l)*	0,00	0,00	0,00	0,80	0,10	0,10
Sólidos Sedimentables (ml/l)**	0,20	0,00	0,00	1,80	0,40	0,30
Sólidos Suspensidos (mg/l)	236	165	155	553	429	296
Altura promedio grasa	0,70 cm		Volumen de grasa		1,470 l	
Altura promedio sedimento	6,75 cm		Volumen sedimentado		14,175 l	

Fuente: elaboración propia.

Figura 23. Altura de grasas, aceites y sólidos sedimentados en día 3, repetición 2



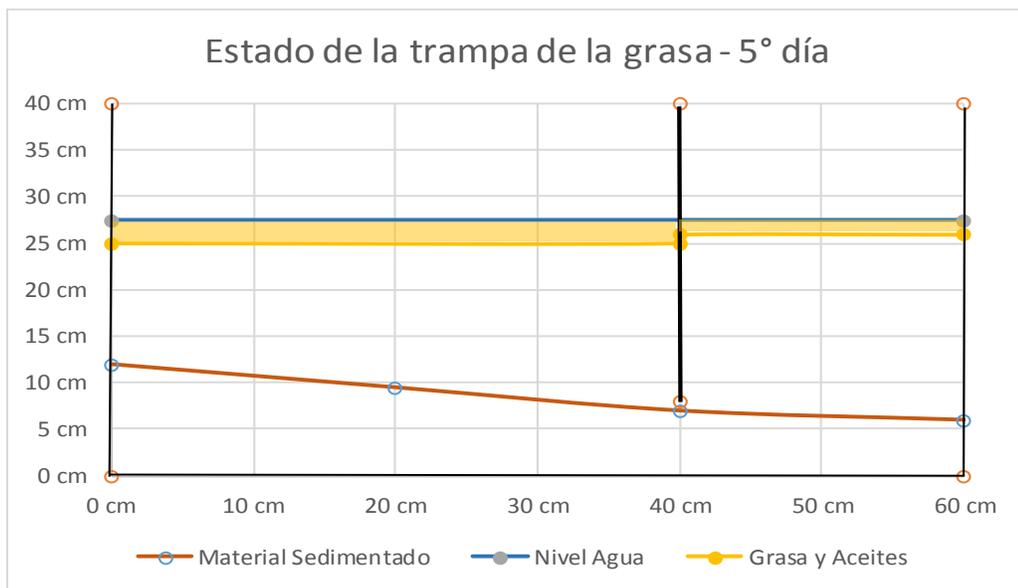
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. **Muestra 22, 23 y 24 – Repetición 2 – Día 5 de operación**

Fecha : 29/05/2015	Muestra 22		Muestra 23		Muestra 24	
Parámetros	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida
Caudal	0,011 l/s		0,248 l/s		0,057 l/s	
Tiempo de retención (mm:ss)	89: 57		3: 49		16: 30	
Hora	9:22 a. m.	8:49 a. m.	12:00 a. m.	12:27 a. m.	2:06 p. m.	2:22 p. m.
Temperatura (°C)	22,00 °C	21,70 °C	22,10 °C	21,90 °C	22,30 °C	22,10 °C
Grasas y aceites (mg/l)	130,80	112,40	68,20	122,60	86,20	35,40
DBO ₅ (mg/l)	1 300	1 030	584	993	1 073	456
DQO (mg/l)	1 810	1 790	880	1 360	1 300	610
Sólidos Sedimentables (ml/l)*	0,50	4,00	0,20	0,80	0,00	0,00
Sólidos Sedimentables (ml/l)**	2,1	4	0,50	0,70	0,50	0,70
Sólidos Suspendidos (mg/l)	258	806	252	348	203	71
Altura promedio grasa	1,65 cm		Volumen de grasa		3,500 l	
Altura promedio sedimento	8,50 cm		Volumen sedimentado		17,850 l	

Fuente: elaboración propia.

Figura 24. **Altura de grasas, aceites y sólidos sedimentados en día 5, repetición 2**



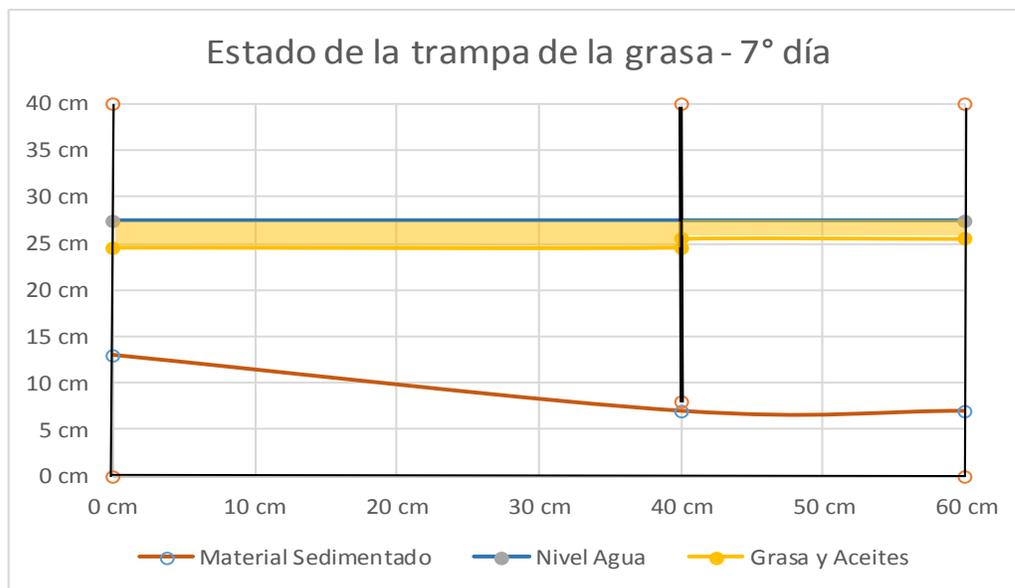
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. Muestra 25, 26 y 27 – Repetición 2 – Día 7 de operación

Fecha : 01/06/2015	Muestra 25		Muestra 26		Muestra 27	
Parámetros	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida
Caudal	0,072 l/s		0,143 l/s		0,637 l/s	
Tiempo de retención (mm:ss)	13: 5		6: 36		1: 29	
Hora	12:50 m.d.	1:11 p. m.	12:00 a. m.	12:11 a. m.	2:02 p. m.	2:05 p. m.
Temperatura (°C)	21,50 °C	21,30 °C	21,60 °C	21,50 °C	21,50 °C	21,60 °C
Grasas y aceites (mg/l)	60,40	38,20	44,20	47,78	57,00	131,40
DBO ₅ (mg/l)	405	675	370	387	446	923
DQO (mg/l)	1 200	840	800	890	760	1 020
Sólidos Sedimentables (ml/l)*	0,00	0,30	0,30	0,90	0,00	0,00
Sólidos Sedimentables (ml/l)**	0,20	2,00	0,40	1,00	1,50	0,50
Sólidos Suspendidos (mg/l)	130	266	128	198	216	463
Altura promedio grasa	2,17 cm		Volumen de grasa		4,550 l	
Altura promedio sedimento	9,00 cm		Volumen sedimentado		18,900 l	

Fuente: elaboración propia.

Figura 25. Altura de grasas, aceites y sólidos sedimentados en día 7, repetición 2



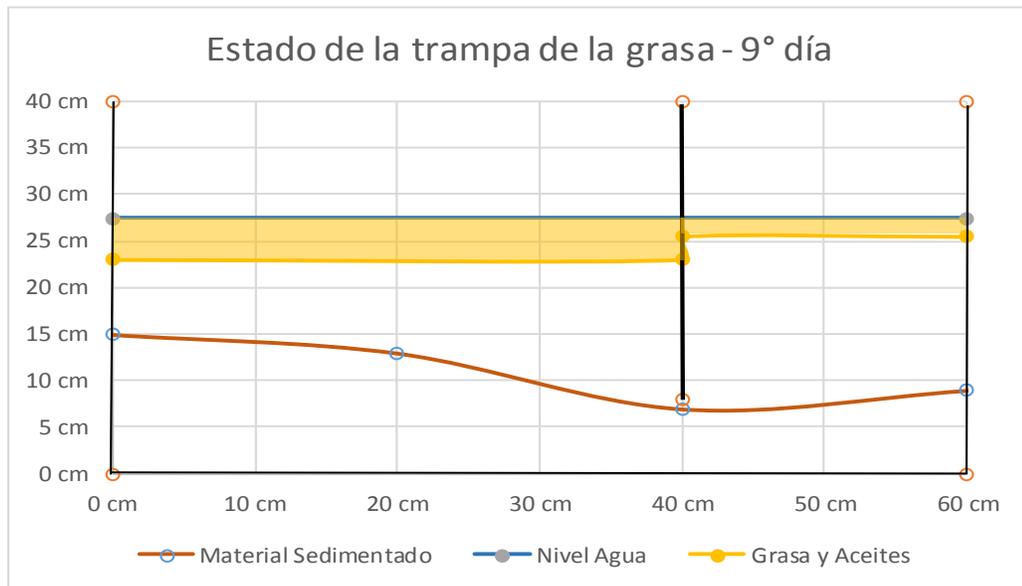
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. **Muestra 28, 29 y 30 – Repetición 2 – Día 9 de operación**

Fecha : 03/06/2015	Muestra 28		Muestra 29		Muestra 30	
Parámetros	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida
Caudal	Caudal: 0.087 l/s		Caudal: 0.122 l/s		Caudal: 0.307 l/s	
Tiempo de retención (mm:ss)	10: 54		7: 44		3: 5	
Hora	02:38 p.m.	02:40 p.m.	10:59 a.m.	11:05 a.m.	04:10 p.m.	04:30 p.m.
Temperatura (°C)	23.40 °C	24.50 °C	23.20 °C	24.20 °C	23.60 °C	24.20 °C
Grasas y aceites (mg/l)	88.20	166.40	74.80	85.20	94.00	178.20
DBO ₅ (mg/l)	423	510	1,440	1,780	1,060	1,620
DQO (mg/l)	730	810	2,560	2,980	3,800	5,000
Sólidos Sedimentables (ml/l)*	0.00	0.00	0.00	0.30	0.00	0.50
Sólidos Sedimentables (ml/l)**	0.00	0.20	0.10	0.30	0.80	2.20
Sólidos Suspendidos (mg/l)	236	282	162	166	474	2968
Altura promedio grasa	3.17 cm		Volumen de grasa		6.650 l	
Altura promedio sedimento	10.20 cm		Volumen sedimentado		21.420 l	

Fuente: elaboración propia.

Figura 26. **Altura de grasas, aceites y sólidos sedimentados en día 9, repetición 2**



Fuente: elaboración propia.

4.3. Biodegradabilidad del agua

Al determinar la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y demanda química de oxígeno (DQO), se obtiene la relación DBO₅/DQO, para identificar cuan biodegradable es el agua analizada. En la siguiente tabla se observa si existe remoción de DBO₅ y DQO al utilizar una trampa de grasa como pretratamiento de aguas comerciales.

Tabla XXVI. Relación de biodegradabilidad de las aguas grises
DBO₅/DQO

Muestra	Ubicación de extracción	DBO ₅ (mg/l)	DQO (mg/l)	Relación DBO ₅ /DQO	Muestra	Ubicación de extracción	DBO ₅ (mg/l)	DQO (mg/l)	Relación DBO ₅ /DQO
1	Entrada Trampa	4 100	5250	0,78	16	Entrada Trampa	657	1 070	0,61
	Salida Trampa	1 153	1660	0,69		Salida Trampa	395	810	0,49
2	Entrada Trampa	3 760	7260	0,52	17	Entrada Trampa	607	980	0,75
	Salida Trampa	1 220	3010	0,41		Salida Trampa	590	790	0,62
3	Entrada Trampa	975	1580	0,62	18	Entrada Trampa	533	1 160	0,48
	Salida Trampa	5 250	6700	0,78		Salida Trampa	307	640	0,46
4	Entrada Trampa	1 460	2234	0,65	19	Entrada Trampa	1 207	2 670	0,45
	Salida Trampa	1 320	2193	0,60		Salida Trampa	1 250	1 930	0,65
5	Entrada Trampa	2 510	8 667	0,29	20	Entrada Trampa	507	1 260	0,40
	Salida Trampa	3 040	10 150	0,30		Salida Trampa	1 300	3 470	0,37
6	Entrada Trampa	216	640	0,34	21	Entrada Trampa	1 057	2 340	0,45
	Salida Trampa	35	130	0,27		Salida Trampa	1 030	1 580	0,65
7	Entrada Trampa	1 007	1 590	0,63	22	Entrada Trampa	1 300	1 810	0,72
	Salida Trampa	503	1 050	0,48		Salida Trampa	1 030	1 790	0,58
8	Entrada Trampa	780	4 360	0,18	23	Entrada Trampa	584	880	0,66
	Salida Trampa	570	1 710	0,33		Salida Trampa	993	1 360	0,73
9	Entrada Trampa	506	710	0,71	24	Entrada Trampa	1 073	1 300	1,76
	Salida Trampa	1 400	1 780	0,79		Salida Trampa	456	610	0,35
10	Entrada Trampa	1 040	1 360	0,76	25	Entrada Trampa	405	1 200	0,34
	Salida Trampa	1 167	1 370	0,85		Salida Trampa	675	840	0,80
11	Entrada Trampa	887	1 250	0,71	26	Entrada Trampa	370	800	0,46
	Salida Trampa	853	1 540	0,55		Salida Trampa	387	890	0,43
12	Entrada Trampa	533	1 540	0,35	27	Entrada Trampa	446	760	0,44
	Salida Trampa	1 207	1 560	0,77		Salida Trampa	923	1 020	1,21
13	Entrada Trampa	2 510	3 040	0,83	28	Entrada Trampa	423	730	0,58
	Salida Trampa	10 150	13 500	0,75		Salida Trampa	510	810	0,63
14	Entrada Trampa	647	1 140	0,57	29	Entrada Trampa	1440	2 560	0,56
	Salida Trampa	1 820	2 800	0,65		Salida Trampa	1 780	2 980	0,60
15	Entrada Trampa	460	1 030	0,45	30	Entrada Trampa	1060	3 800	0,28
	Salida Trampa	790	2 260	0,35		Salida Trampa	1 620	5 000	0,32

Fuente: elaboración propia.

4.4. Remoción de DBO₅ y DQO con el pretratamiento

En la siguiente tabla se presentan los porcentajes de remoción de DBO₅ y DQO del agua comercial en cada muestreo realizado durante el experimento, al darse el pretratamiento con una trampa de grasas.

Tabla XXVII. **Porcentaje de remoción de DBO₅ y DQO en trampa de grasas**

Muestra	% Remoción de DBO ₅	% Remoción de DQO	Muestra	% Remoción de DBO ₅	% Remoción de DQO
1	72	68	16	40	24
2	68	59	17	3	19
3	-438	-324	18	42	45
4	10	2	19	-4	28
5	-21	-17	20	-157	-175
6	84	80	21	3	32
7	50	34	22	21	1
8	27	61	23	-70	-55
9	-177	-151	24	58	53
10	-12	-1	25	-67	30
11	4	-23	26	-5	-11
12	-126	-1	27	-107	-34
13	-304	-344	28	-21	-11
14	-181	-146	29	-24	-16
15	-72	-119	30	-53	-32

Fuente: elaboración propia.

4.5. Resumen variables y datos en SPSS

Al introducir las variables y datos dentro del programa SPSS (ver apéndice VI y VII), se hace una búsqueda de los valores extremos. Con los valores descriptivos de una variable particular, en este caso porcentaje de remoción de grasas y aceites se calcula el rango para valores extremos.

Tabla XXVIII. **Estadísticos descriptivos de grasas y aceites**

N	Válido	30
	Perdidos	0
Media		-59.2660
Mediana		-10.9950
Percentiles	25	-90.0375
	50	-10.9950
	75	38.1525

Fuente: elaboración propia, empleando SPSS, versión 22.0.0.0.

Con la ecuación:

$$Datos\ extremos = -10,99 \pm 2 \cdot (38,1525 - (-90,0375))$$

Se obtiene que los valores del porcentaje de remoción sobre 245,08 y por debajo de -267,06 se anulan en los modelos estadísticos a aplicar. Y es aplicable a cada variable que contenga valores extremos.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

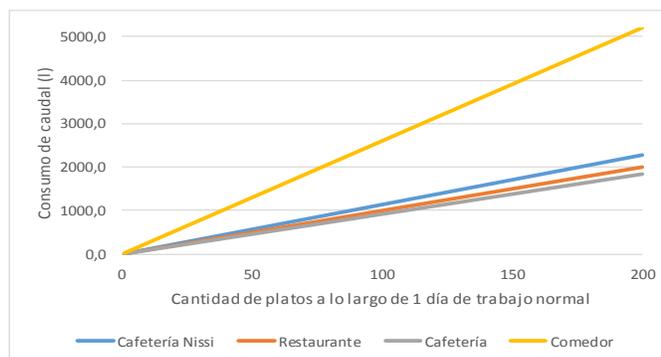
Al comparar los datos del caudal de la cafetería con los valores de los caudales residuales típicos de establecimientos comerciales de la tabla I, se determina que el consumo de agua está cerca del caudal residual promedio de un restaurante, observar en figura 27.

Tabla XXIX. **Comparación del caudal residual de la cafetería Nissi**

Fuentes	Caudal (litros/día)	Unidad	Cantidad	Caudal promedio
Cafetería Nissi	2 277,50	platos	200	11,4
Datos de comparación según tabla I.				
Restaurantes	2 000,00	platos	200	10
Cafeterías	1 600,00	clientes	200	8
	240,00	empleados	6	40
Comedores	5 200,00	platos	200	26

Fuente: elaboración propia.

Figura 27. **Caudal cafetería Nissi versus caudal residual comercial típico**



Fuente: elaboración propia.

5.1. Análisis de regresión múltiple

En SPSS se introducen los modelos de regresión múltiple, según las condiciones que se establecieron en el subcapítulo 3.4.4., de modelación estadística, con las variables independientes y las covariables, por aparte o todas en conjunto.

Primero se identifican las correlaciones entre las variables dependientes, independientes y covariables. En la tabla XXIX, sombreado con amarillo, se observan cuáles variables influyen más sobre otra.

Las variables con correlación alta

Las variable con la correlación más alta
--

Se interpreta que la altura en centímetros (cm) y el volumen en litros (l) de grasas y aceites acumulados es la variable que más correlaciona a la eficiencia de grasas y aceites (en porcentaje). Seguida por los días de operación (días), el volumen de trampa en litros (l), la altura en centímetros (cm) y el volumen en litros en litros (l) de sólidos suspendidos dentro de la trampa.

Como la altura de las grasas y aceites, la altura de los sedimentos sedimentados están directamente relacionados con su volumen respectivo (Correlación de Pearson: 1,000). Estos influyen directamente con el volumen efectivo de la trampa (Vol_Trampa), el cual se va reduciendo conforme los otros dos volúmenes crecen (por eso el signo negativo de la Correlación de Pearson, “-.953” y “-0.996” respectivamente). Esto afecta más el volumen de los sólidos suspendidos por su cercanía a 1 en su correlación.

Es importante anotar que conforme pasan los días de operación, los volúmenes crecen y la eficiencia de la trampa empieza a decaer.

Tabla XXX.

Correlaciones entre las variables que influyen en eficiencia de la trampa de grasas

Correlaciones	Grasas y aceites, %	Caudal, l/s	Día de operación	Altura grasas, cm	Altura solidos, cm	TRHseg	Volumen de grasas, l	Vol solidos sedimentados, l	Vol_Trampa
Grasas y aceites, %	1								
	Corr. Pearson	-0.380	-0.659**	-0.698**	-0.607**	.203	-0.698**	-0.607**	.637**
	Sig. (bilateral)	.051	.000	.000	.001	.309	.000	.001	.000
Caudal, l/s		1							
	Corr. Pearson		.039	.018	.009	-.485*	.018	.009	-.011
	Sig. (bilateral)		.848	.928	.963	.010	.931	.963	.955
Día de operación			1						
	Corr. Pearson	.039		.987**	.928**	-.034	.987**	.928**	-.955**
	Sig. (bilateral)	.000		.000	.000	.866	.000	.000	.000
Altura de grasas				1					
	Corr. Pearson	.018	.987**		.921**	-.009	1.000**	.920**	-.952**
	Sig. (bilateral)	.000	.000		.000	.964	.000	.000	.000
Altura solidos sedimentado					1				
	Corr. Pearson	.009	.928**	.921**		.054	.921**	1.000**	-.996**
	Sig. (bilateral)	.001	.000	.000		.789	.000	.000	.000
TRHseg						1			
	Corr. Pearson	.203	-.034	-.009	.054		-.006	.054	-.040
	Sig. (bilateral)	.309	.866	.964	.789		.975	.789	.841
Volumen de grasas, l							1		
	Corr. Pearson	.018	.987**	1.000**	.921**	-.006		.921**	-.953**
	Sig. (bilateral)	.000	.000	.000	.000	.975		.000	.000
Volumen de solidos sedim								1	
	Corr. Pearson	.009	.928**	.920**	1.000**	.054	.921**		-.996**
	Sig. (bilateral)	.001	.000	.000	.000	.789	.000		.000
Vol_Trampa									1
	Corr. Pearson	.637**	-.955**	-.952**	-.996**	-.040	-.953**	-.996**	
	Sig. (bilateral)	.000	.000	.000	.000	.841	.000	.000	

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas).

* . La correlación es significativa en el nivel 0,05 (2 colas).

Fuente: elaboración propia, empleando SPSS, versión 22.0.0.0

5.1.1. Modelo con variables independientes

Se modelan únicamente las variables independientes, el caudal, los días de operación, la altura de grasas y la altura de sólidos sedimentados. El SPSS, genera las siguientes tablas.

Tabla XXXI. **Variables entradas/introducidas^a del primer modelo**

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	Altura de sólidos sedimentados, cm, Caudal, l/s, Altura de grasas acumuladas, cm, Día de operación ^b		Intro

a. Variable dependiente: Grasas y aceites, %

b. Todas las variables solicitadas introducidas.

Fuente: elaboración propia, empleando SPSS, versión 22.0.0.0.

En la tabla XXX se muestran las variables independientes únicamente, introducidas en el modelo de regresión múltiple.

Tabla XXXII. **Resumen del primer modelo**

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.824 ^a	.680	.621	41.57349

a. Predictores: (Constante), Altura de sólidos sedimentados, cm, Caudal, l/s, Altura de grasas acumuladas, cm, Día de operación

Fuente: elaboración propia, empleando SPSS, versión 22.0.0.0.

Esta tabla indica que las variables independientes explican el modelo en un 68 %, a la vez indica cuanto podría predecir el modelo en futuras ocasiones

por medio del R cuadrado. El R ajustado ayuda en modelos de muestras pequeñas y brindan un valor más real, ya que el R^2 tiende a hacer muy optimista.

Tabla XXXIII. **Anova^a del primer modelo**

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	80626.689	4	20156.672	11.662	.000 ^b
1 Residuo	38023.805	22	1728.355		
Total	118650.494	26			

a. Variable dependiente: Grasas y aceites, %

b. Predictores: (Constante), Altura de sólidos sedimentados, Caudal, Altura de grasas acumuladas, Día de operación

Fuente: elaboración propia, empleando SPSS, versión 22.0.0.0.

La tabla de Anova demuestra que el modelo cumple con la probabilidad de la distribución F siendo esta mayor a 3.4, planteada según los grados de libertad. Además si el nivel de significancia ($\alpha < 0,05$) es menor a 0,05, el nivel de confianza del 95 % es válido. Esto indica que la hipótesis nula (H_0) se rechaza y la hipótesis alternativa (H_1) se acepta.

Tabla XXXIV. **Coefficientes del primer modelo**

Modelo	Coefficientes no estandarizados		Coefficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error estándar	Beta		
(Constante)	28.642	27.300		1.049	.305
1 Caudal, l/s	-178.411	54.804	-.397	-3.255	.004
Día de operación desde día 1	34.244	18.474	1.474	1.854	.077
Altura de grasas acumuladas, cm	-122.594	42.756	-2.171	-2.867	.009
Altura de sólidos sedimentados, cm	.461	5.588	.027	.082	.935

a. Variable dependiente: Grasas y aceites, %

Fuente: elaboración propia, empleando SPSS, versión 22.0.0.0.

Los coeficientes no estandarizados (B) de la tabla XXXIII indican cuál sería la ecuación que predice mejor el comportamiento experimental, en este modelo la presenta:

$$Ef_{GyA} = 28,64 - 178,41 \cdot Q + 34,24 \cdot D_{Op} - 122,59 \cdot A_{GyA} + 0,46 \cdot A_{SS}$$

Donde,

Ef_{GyA} , es la eficiencia de remoción de grasas y aceites, en porcentaje.

Q , es el caudal, en litros por segundo

D_{Op} , el día de operación, en días

A_{GyA} , es la altura de grasas y aceites acumuladas en centímetros

A_{SS} , es la altura de sólidos sedimentados acumulados en centímetros

Si se analizan los coeficientes, algunos no tienen lógica experimental, ya que la ecuación afirma que si aumentan los días de operación, la eficiencia aumenta, y es contradictorio con las correlaciones de la tabla XXIX y el mismo efecto lo presenta la altura de los sólidos sedimentados. Además estos coeficientes no presentan un nivel de significancia aceptable ($Sig > 0,05$, que es lo mismo que $\alpha > 0,05$).

5.1.2. Modelo con covariables

En este modelo de regresión múltiple se analizará como las covariables influyen sobre la eficiencia de remoción de la trampa de grasas. Se introducen al modelo, el volumen de grasas y aceites, el volumen de sólidos sedimentados y el tiempo de retención hidráulica. Los resultados del modelo se presente en las siguientes tablas.

Tabla XXXV. **Variables entradas/introducidas^a del segundo modelo**

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	Tiempo de retención, s, Volumen de grasas, l, Volumen de solidos sedimentados, l, ^b		Intro

a. Variable dependiente: Grasas y aceites, %

b. Tolerancia = se ha alcanzado el límite .000.

Fuente: elaboración propia, empleando SPSS, versión 22.0.0.0.

Tabla XXXVI. **Resumen del segundo modelo**

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.728 ^a	.531	.469	49.21245

a. Predictores: (Constante), Tiempo de retención, s, Volumen de grasas, l, Volumen de solidos sedimentados, l

Fuente: elaboración propia, empleando SPSS, versión 22.0.0.0.

Tabla XXXVII. **Anova^a del segundo modelo**

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1 Regresión	62947.600	3	20982.533	8.664	.000 ^b
Residuo	55702.894	23	2421.865		
Total	118650.494	26			

a. Variable dependiente: Grasas y aceites, %

b. Predictores: (Constante), Tiempo de retención, s, Volumen de grasas, l, Volumen de solidos sedimentados, l

Fuente: elaboración propia, empleando SPSS, versión 22.0.0.0.

Tabla XXXVIII. **Coefficientes del segundo modelo**

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error estándar	Beta		
(Constante)	32.584	20.213		1.612	.121
¹ Volumen de grasas, l	-22.762	9.996	-.846	-2.277	.032
Volumen de sólidos sedimentados,	1.326	3.045	0.162	.435	.667
Tiempo de retención, s	0.013	0.010	0.189	1.307	.204

a. Variable dependiente: Grasas y aceites, %

Fuente: elaboración propia, empleando SPSS, versión 22.0.0.0.

El modelo representa en un 53% (R^2) el comportamiento de las covariables sobre la eficiencia de la trampa de grasas, menor que el modelo de las variables independientes. La probabilidad F y el nivel de significancia aceptan la hipótesis alternativa (H_1).

En la tabla de los coeficientes se ve una tendencia directa con el volumen de grasas. También es dependiente del tiempo de retención hidráulica y del volumen de sólidos sedimentados.

$$Ef_{GyA} = 32,584 - 22,76 \cdot Vol_G + 1,33 \cdot V_{SS} + 0,013 \cdot TRH_s$$

Donde,

Ef_{GyA} , es la eficiencia de remoción de grasas y aceites, en porcentaje.

Vol_G , es el volumen de grasas, en litros.

V_{SS} , el volumen de sólidos sedimentados, en litros.

TRH_s , es tiempo de retención hidráulica, en segundos.

Es ilógico que a mayor volumen de sólidos sedimentados, mayor eficiencia, lo dicta la colinealidad de la tabla XXIX, donde la Correlación de

Pearson, tiene signo negativo, lo que indica que a mayor V_{SS} la EF_{GyA} tiende a decaer. Otro punto débil de los coeficientes de V_{SS} y TRH_s es su poca significancia, ($\alpha > 0,05$).

5.1.3. Modelo con variables independientes y covariables

Para el modelo del conjunto de variables se hace referencia a la correlación que existe entre las variables (Tabla XXIX). “Las variables independientes, altura de grasas y aceites y altura de sólidos sedimentados son directamente colineales con el volumen de grasas y aceites y el volumen de sólidos sedimentados respectivamente (Correlación de Pearson = 1,000), por la covariable a introducir en este modelo será el volumen de la trampa “ Vol_{Trampa} ” por relación directa con los volúmenes y a la vez con las alturas de grasas, aceites y sólidos sedimentados”, citando a MSc. Bioestadística, Jorge Matute.

Se modelará con base en la variable independiente y covariable más significativa de los modelos anteriores. Se toma en cuenta lo indicado anteriormente, como variable independiente, el caudal Q y como covariable el Vol_{Trampa} . En las siguientes tablas se mostrará el modelo de regresión múltiple.

Tabla XXXIX. **Variables entradas/introducidas^a del tercer modelo**

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	Caudal, l/s, Volumen trampa, l ^b		Intro

a. Variable dependiente: Grasas y aceites, %

b. Todas las variables solicitadas introducidas.

Fuente: elaboración propia, empleando SPSS, versión 22.0.0.0.

Tabla XL. **Resumen del tercer modelo**

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.738 ^a	.545	.507	47.42841

a. Predictores: (Constante), Caudal, l/s, Volumen trampa, l

Fuente: elaboración propia, empleando SPSS, versión 22.0.0.0.

Tabla XLI. **Anova^a del tercer modelo**

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	64663.597	2	32331.798	14.373	.000 ^b
1 Residuo	53986.897	24	2249.454		
Total	118650.494	26			

a. Variable dependiente: Grasas y aceites, %

b. Predictores: (Constante), Caudal, l/s, Volumen trampa, l

Fuente: elaboración propia, empleando SPSS, versión 22.0.0.0.

Tabla XLII. **Coefficientes del tercer modelo**

Modelo	Coefficients no estandarizados		Coefficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error estándar	Beta		
(Constante)	-146.962	37.733		-3.895	.001
1 Caudal, l/s	-167.330	61.887	-.372	-2.704	.012
Volumen trampa, l	4.031	.877	.633	4.599	.000

a. Variable dependiente: Grasas y aceites, %

Fuente: elaboración propia, empleando SPSS, versión 22.0.0.0.

El tercer modelo de regresión múltiple explica la relación de las variables caudal y volumen de trampa en casi 55 % (R cuadrado) sobre la eficiencia de la trampa de grasas y aceites. La probabilidad de Fisher y la significancia del modelo rechazan la hipótesis nula (H_0), por lo que la hipótesis alternativa (H_1) es aceptada.

La tabla XLI muestra que todos coeficientes son lógicos al tener el mismos signos (+/-) que las correlaciones de la tabla XXIX. Todos los coeficientes del modelo cumplen con la significancia ($\alpha < 0,05$), siendo el volumen la variable de más peso en la ecuación.

Analizando las tablas de los tres modelos de regresión múltiple, el primer modelo es el que predice mejor la relación de la variables sobre eficiencia de la trampa. Sin embargo, algunos coeficientes de la ecuación no cumple con la significancia de ($\alpha < 0,05$). Así el tercer modelo es el que mejor representa el experimento, como varía la eficiencia de trampa de grasas, en función del caudal (litros por segundo) y el volumen de la trampa (litros), que dependen directamente de la altura de grasas, aceites y sólidos sedimentados.

“Al graficar la variable dependiente (% eficiencia de grasas y aceite) con la variable independiente (caudal, l/s) se observa, conforme aumenta el volumen, disminuye la eficiencia. Se eliminan los datos extremos, $N = 28$, se observa una relación lineal (se dibujan la nube/línea para percibir la relación).”, reescribiendo a Matute J.

Figura 28. **Gráfica de eficiencia de grasas y aceites versus caudal**

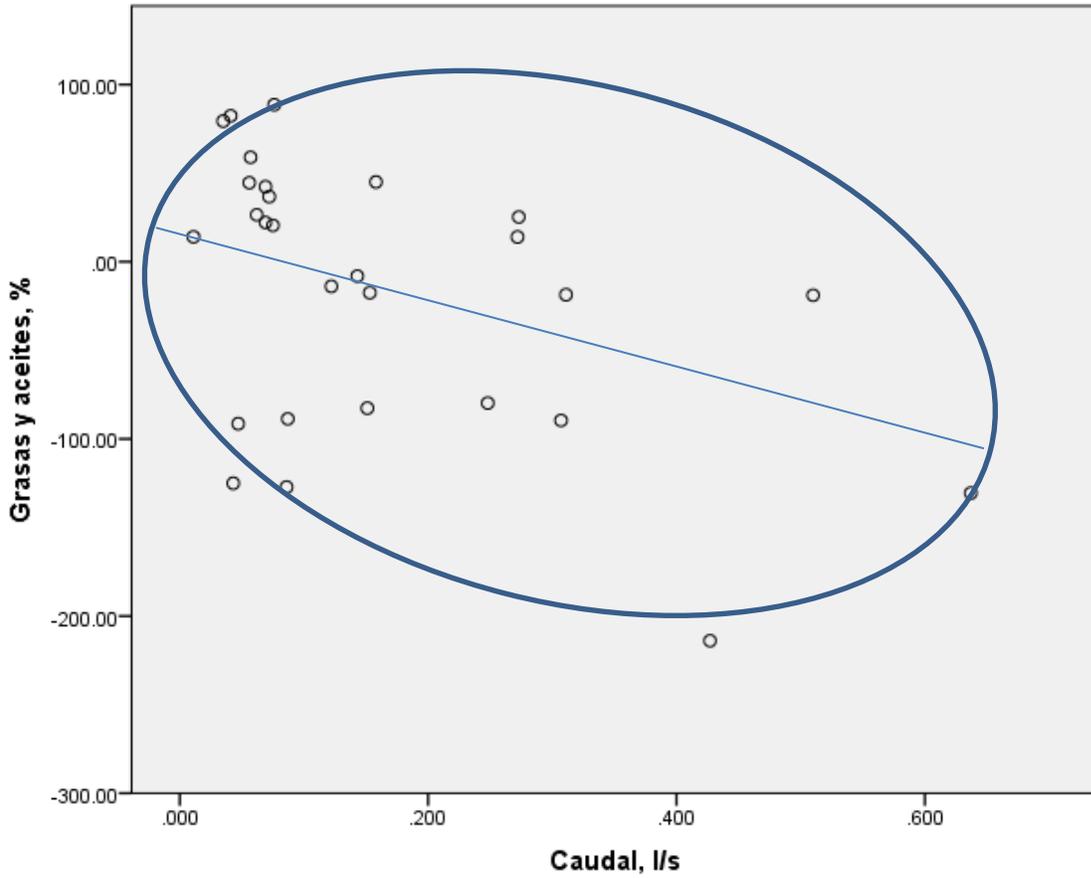


Figura 29. Gráfica de Ef_{GyA} versus Vol_{Trampa}

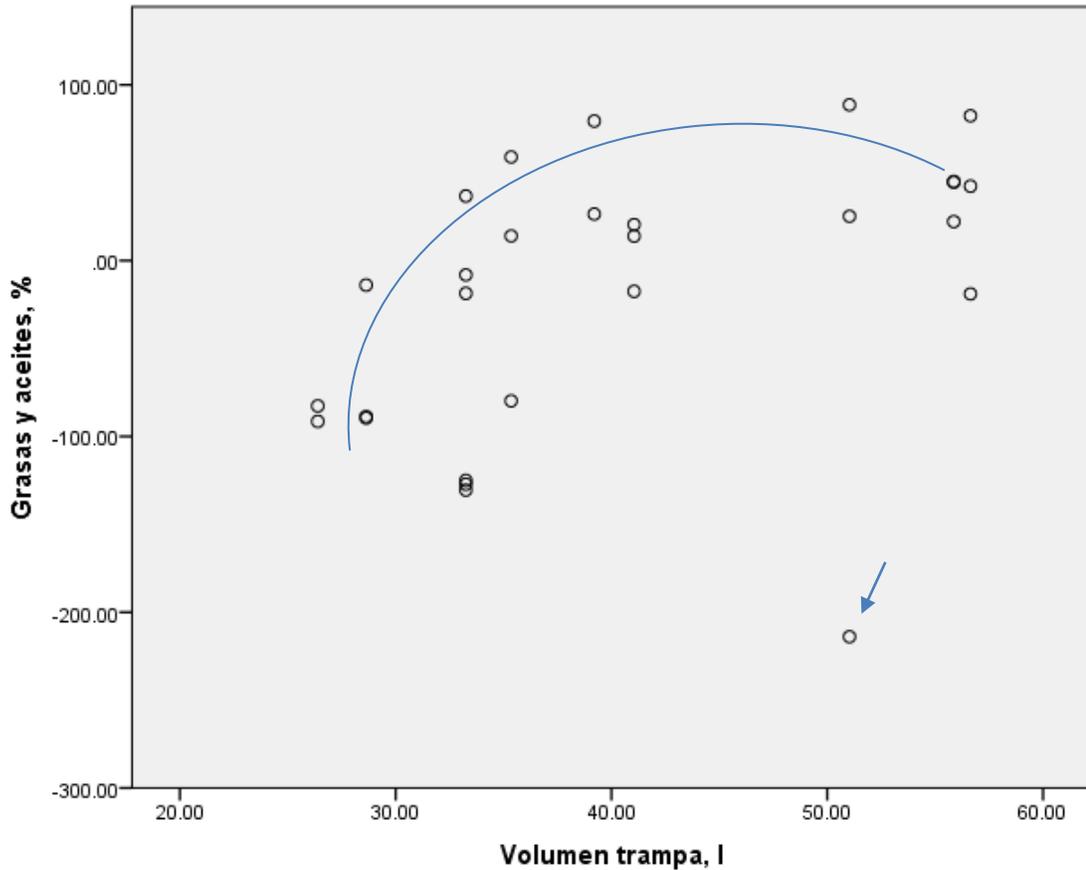
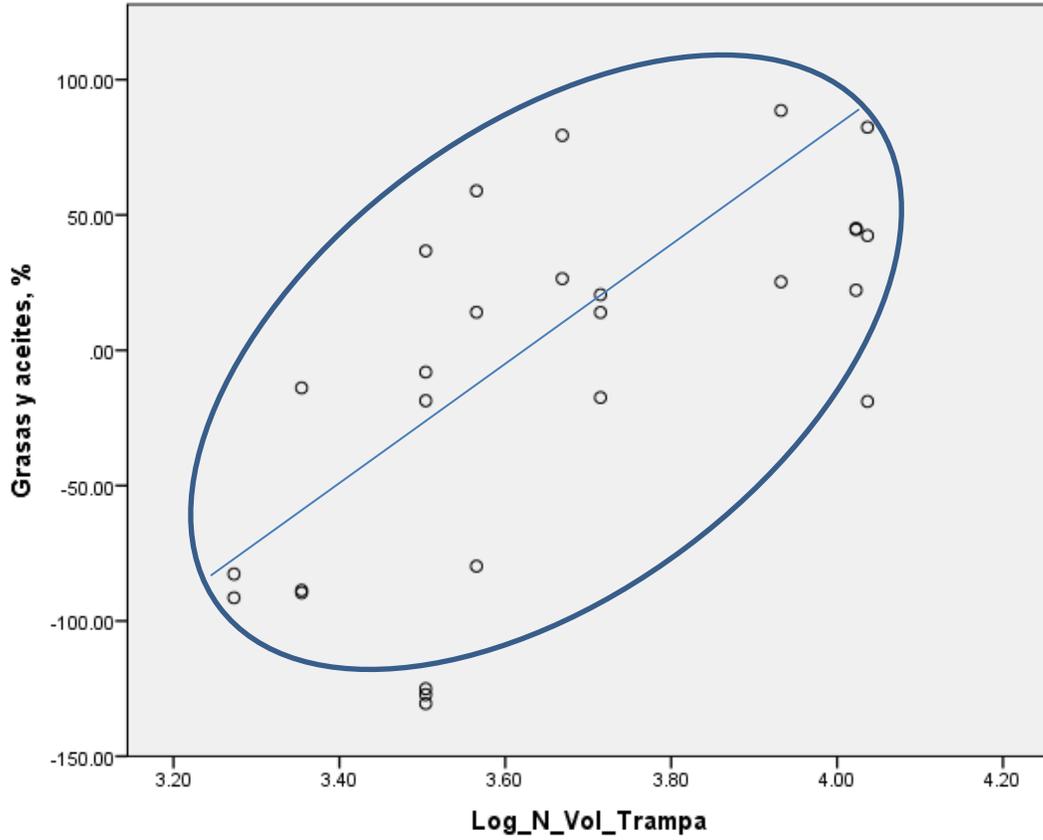


Figura 30. **Gráfica de Ef_{GyA} versus Vol_{Trampa}**



Fuente: elaboración propia, empleando SPSS, versión 22.0.0.0.

Se vuelve a analizar el tercer modelo de regresión múltiple, esta vez con la covariable del logaritmo natural del volumen de la trampa ($\text{Log}_N\text{Vol}_{Trampa}$), y el caudal en litros por segundo.

Tabla XLIII. **VARIABLES ENTRADAS/INTRODUCIDAS^a DEL 3º MODELO MODIFICADO**

Variables entradas/eliminadas ^a			
Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	Caudal, l/s, Log_N_Vol_Trampa ^b		Intro

a. Variable dependiente: Grasas y aceites, %

b. Todas las variables solicitadas introducidas.

Fuente: elaboración propia, empleando SPSS, versión 22.0.0.0.

Tabla XLIV. **RESUMEN DEL TERCER MODELO MODIFICADO**

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.757 ^a	.572	.537	45.97285

a. Predictores: (Constante), Caudal, l/s, Log_N_Vol_Trampa

b. Variable dependiente: Grasas y aceites, %

Fuente: elaboración propia, empleando SPSS, versión 22.0.0.0.

Tabla XLV. **ANOVA^a DEL TERCER MODELO MODIFICADO**

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	67926.417	2	33963.209	16.070	.000 ^b
1 Residuo	50724.077	24	2113.503		
Total	118650.494	26			

a. Variable dependiente: Grasas y aceites, %

b. Predictores: (Constante), Caudal, l/s, Log_N_Vol_Trampa

Fuente: elaboración propia, empleando SPSS, versión 22.0.0.0.

Tabla XLVI. **Coefficientes del tercer modelo modificado**

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error estándar	Beta		
(Constante)	-612.496	128.703		-4.759	.000
1 Log_N_Vol_Trampa	171.399	34.949	.655	4.904	.000
Caudal, l/s	-167.220	59.987	-.372	-2.788	.010

a. Variable dependiente: Grasas y aceites, %

Fuente: elaboración propia, empleando SPSS, versión 22.0.0.0.

El tercer modelo mejora el R^2 y explica el comportamiento de las variables en 57 %. La hipótesis alternativa es aceptada (probabilidad F y significancia dentro los rangos correctos). Y los coeficiente tiene sentido lógico (+/-) según las correlaciones de la tabla XXIX, y su significancia individual es más alta, siendo el $\text{Log_N_Vol}_{\text{Trampa}}$, la variable con más peso en la ecuación.

$$Ef_{GyA} = -612,5 - 167,22 \cdot Q + 171,4 \cdot \ln(Vol_{Trampa})$$

Donde,

Ef_{GyA} , es la eficiencia de remoción de grasas y aceites, en porcentaje

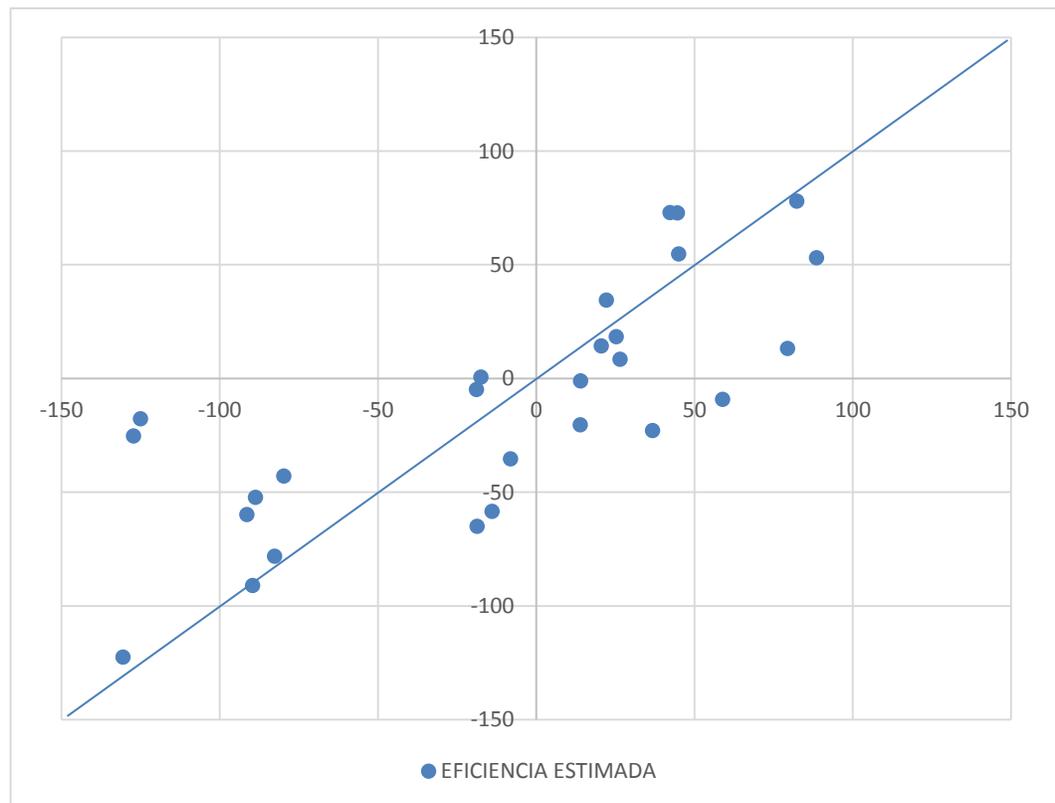
Q , es el caudal, en litros por segundo

\ln , logaritmo natural

Vol_{Trampa} , volumen hidráulico de la trampa en litros

Al evaluar esta ecuación se pueden graficar diferentes eficiencias de la trampa de grasas y aceites, para los distintos caudales y volúmenes de las muestras tomadas en el experimento. En la gráfica 31 es notable el comportamiento lineal de como la eficiencia de la trampa aumenta o disminuye en función de estas dos variables.

Figura 31. **Eficiencia de trampa de grasas y aceites para diferentes valores de caudal y volúmenes de trampas**



Fuente: elaboración propia, empleando SPSS, versión 22.0.0.0.

5.2. **Análisis de la eficiencia respecto a días de operación**

Aprovechando el SPSS se puede identificar para el caso de la cafetería Nissi, cuál es la relación entre los días de operación y la eficiencia de la trampa de grasas, debido a la carga residual que descargan. Ver representación en gráfica 32. Por medio de un modelo de regresión lineal se obtiene:

Un R cuadrado de 0,434, una probabilidad estadística F: 19,167, un nivel de significancia de 0,000. Y los coeficientes se presentan en la siguiente tabla.

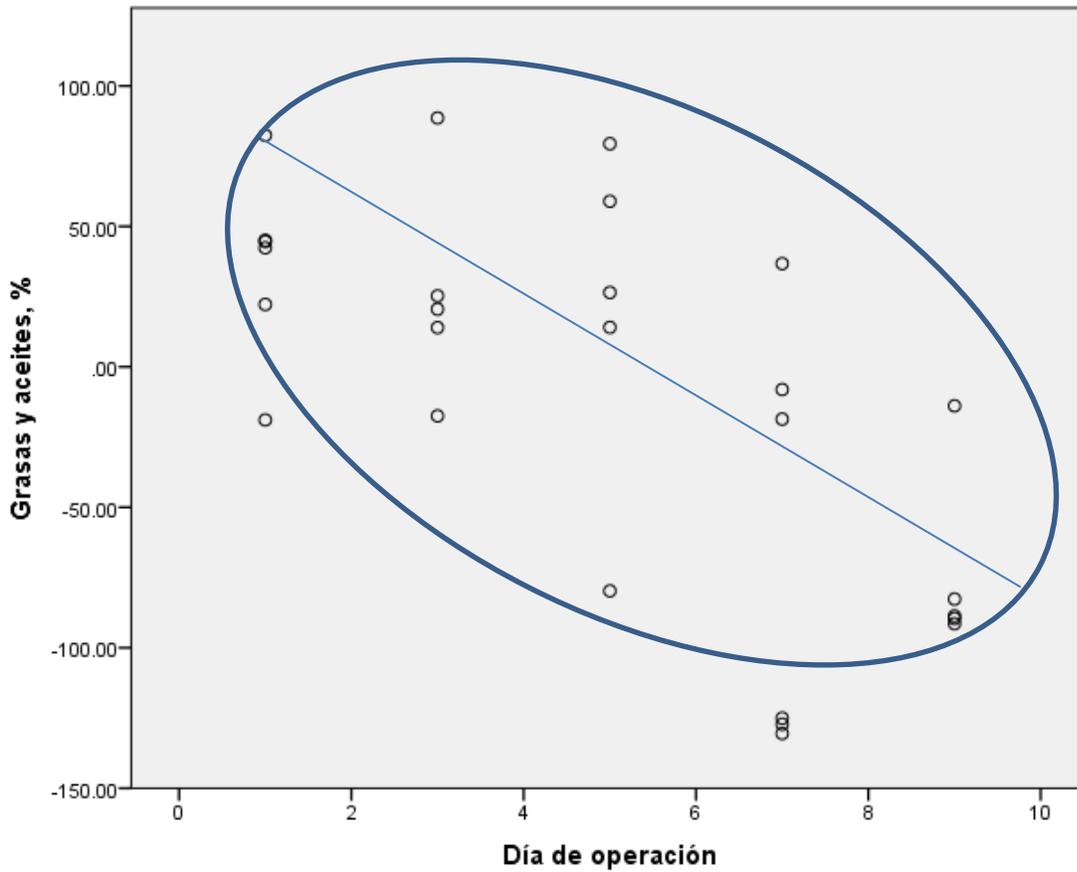
Tabla XLVII. **Coefficientes del modelo lineal de días de operación**

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error estándar	Beta		
1 (Constante)	64.598	19.899		3.246	.003
Día de operación	-15.304	3.496	-.659	-4.378	.000

a. Variable dependiente: Grasas y aceites, %

Fuente: elaboración propia, empleando SPSS, versión 22.0.0.0.

Figura 32. **Gráfico de remoción de grasas y aceites *versus* días de operación en cafetería Nissi**



Fuente: elaboración propia, empleando SPSS, versión 22.0.0.0.

En la gráfica donde se eliminan los valores extremos se da una relación lineal (se dibuja la nube/línea para percibir la relación), conforme pasan los días de operación, decae la eficiencia de remoción de grasas. Inclusive en el quinto de operación hay una muestra que remueve un 79 % de grasas y aceites, siendo un 80 % la remoción óptima. A partir del sexto o séptimo día la remoción decae por debajo del 50 % hasta volverse nula.

Durante el experimento se le da tres veces mantenimiento completo a la trampa de grasas. En el apéndice VIII se muestra la metodología de mantenimiento. Con la tabla XLVII se determina que en promedio se producen 0.49 kg de grasas y aceites por día y un promedio de 1,52 kg de sólidos sedimentados por día. Las grasas extraídas de las trampas de grasas y aceites se aprovechan en un 58 %, restando la humedad del agua y restos orgánicos, Pineda, C. (2011), 40 p. Por lo que se generan 0,28 kg/grasas/día. Lo cual es comparable con la media del muestreo de 149,5 mg/l, que si se multiplica por el caudal total diario de 2000 l/día, genera un total de 0,30 kg/grasas/día.

Tabla XLVIII. **Cantidad de residuos de grasas, aceites y sólidos**

Día	Grasa Mod 1	Grasa Mod 2	Desechos Solidos	Días desde ultimo mantenimiento	
22/03/2015	1,445 g	735 g	3,615 g	1 semana de operación	6 días
19/04/2015	5,080 g	2,155 g	26,035 g	2 semanas de operación	16 días
26/04/2015	3,428 g	875 g	15,155 g	1 semana de operación	6.5 días

Fuente: elaboración propia.

Si se desea calcular el volumen de la trampa de grasas de la cafetería manteniendo el 80 % de eficiencia de remoción durante los días de operación seleccionados y con un caudal determinado se podría dimensionar con la ecuación de la tabla XLVIII, donde se delimitan la cantidad de grasas y aceites acumulados y los sólidos sedimentados por litro vertido.

Tabla XLIX. **Volumen total de la trampa de grasas**

Q (l/s)	TRH (min)	Vol. D.TRH (l)	Horas trabajo (h)	Días de Operación (día)	Vol GyA/l (l) constante	Vol SSed/l (l) constante
Q	T	V _H	H	D	V _A	V _S
I.D.	I.D.	Q·T·60	I.D.	I.D.	2.45x10 ⁻⁴	7.6x10 ⁻⁴

Volumen Total Trampa (l)
VT
VH + H·3600·Q·D·VA + H·3600·Q·D·VS

I.D.: Ingreso de datos

Fuente: elaboración propia.

El dimensionamiento se puede establecer según la relación (largo: ancho) que desee el diseñador. En la tabla XLIX se calcula con el volumen total V_T , definiendo una profundidad a partir del nivel de altura de agua que se desea.

Tabla L. **Dimensionamiento de la trampa de grasas**

Relación Largo:Ancho - 3 : 2		
Profundidad (m)	Ancho (m)	Largo (m)
P	A	L
I.D.	$(V_T/(P \cdot 1.8 \cdot 1000))^{1/2}$	1.8·A

Relación Largo:Ancho - 2 : 1		
Profundidad (m)	Ancho (m)	Largo (m)
P	A	L
I.D.	$(V_T/(P \cdot 1000 \cdot 2))^{1/2}$	2·A

Relación Largo:Ancho - 3 : 1		
Profundidad (m)	Ancho (m)	Largo (m)
P	A	L
I.D.	$(V_T/(P \cdot 1000 \cdot 3))^{1/2}$	3·A

Fuente: elaboración propia.

5.3. Comparación del efluente de la trampa de grasas con el Reglamento de Vertido de Guatemala

Haciendo uso del SPSS se determina la estadística descriptiva de los parámetros del efluente de la trampa de grasas de la cafetería Nissi.

Tabla LI. **Estadística de parámetros del agua residual comercial**

Parámetros	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
Grasas y Aceites, mg/l	30	9.20	1315.90	149.45	263.90
DBO5, mg/l	30	35.00	10150.00	1457.47	1906.06
DQO, mg/l	30	130.00	13500.00	2531.10	2899.98
Sólidos sedimentados, ml/l	30	0.00	13.00	1.62	2.43
Sólidos suspendidos, mg/l	30	15.00	2968.00	456.50	587.20

Fuente: elaboración propia, empleando SPSS, versión 22.0.0.0.

En la siguiente tabla se resume la cantidad de muestras que cumplieron con los límites máximos permisibles del Acuerdo Gubernativo 236-2006, Guatemala, MARN. Solo una muestra de todo el experimento cumple con los parámetros permisibles del *Reglamento de Vertido de Aguas Residuales*.

Tabla LII. **Muestras que cumplen con límites permisibles de vertido**

Parámetros	Cantidad de Muestras	Porcentaje
Grasas y Aceites, mg/l	1	3,33 %
DBO5, mg/l	1	3,33 %
DQO, mg/l	1	3,33 %
Sólidos suspendidos, mg/l	2	6,67 %

Fuente: elaboración propia.

5.4. Comportamiento de la DBO₅ y DQO

Con el uso de trampa de grasas existe una reducción de DBO₅ y DQO en las aguas residuales comerciales de la cafetería Nissi. Esto en los primeros días de operación y conforme van pasando los días, la remoción se va anulando y luego el efluente tiene más carga contaminante que la que entra a la trampa. Se puede ver las gráficas 33 y 34 respectivamente.

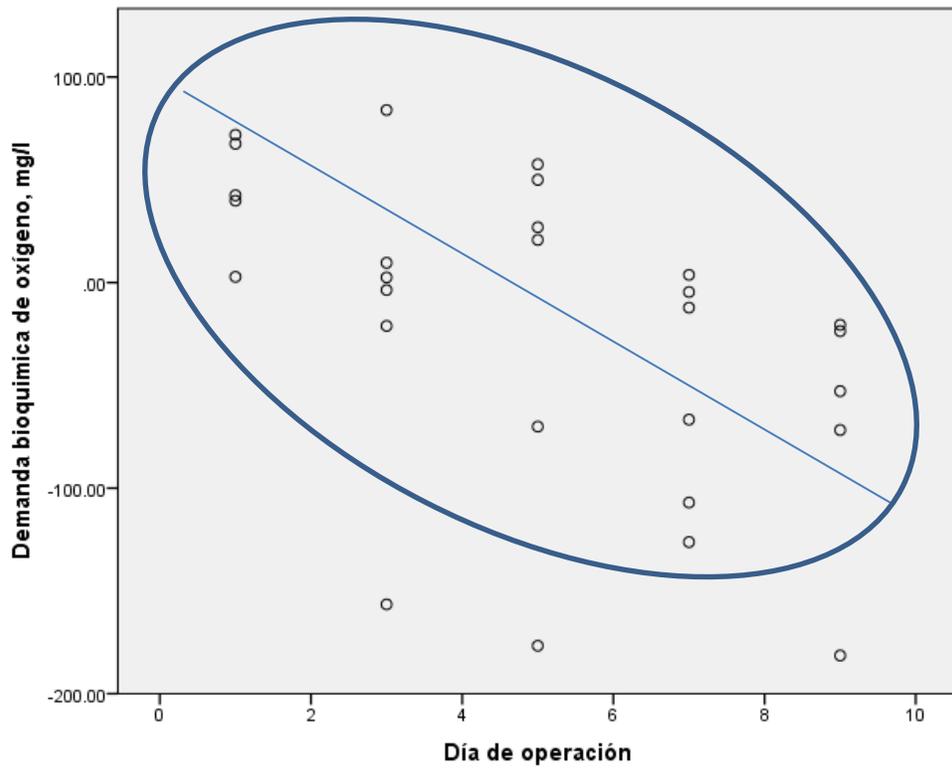
En las siguientes tablas se observa el porcentaje de muestras en las que hubo alguna remoción de DBO₅ y DQO.

Tabla LIII. **Eficiencias de remoción de DBO₅ en uso de trampa de grasas**

Parámetros	Eficiencia	Cantidad de Muestras	Porcentaje
DQO, mg/l	> 50 %	5	16,67 %
	> 25 %	10	33,33 %
	> 1 %	14	46,67 %

Fuente: elaboración propia.

Figura 33. Relación de DBO₅ y días de operación



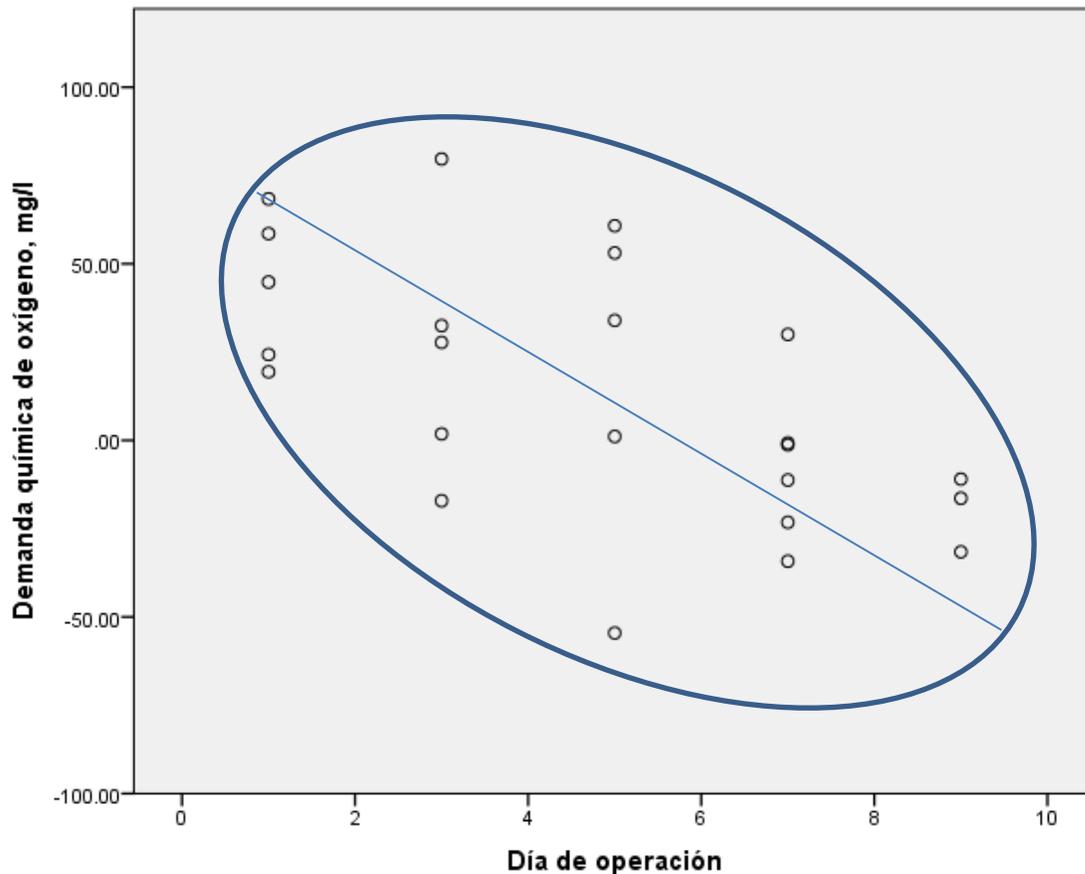
Fuente: elaboración propia, empleando SPSS, versión 22.0.0.0

Tabla LIV. Eficiencias de remoción de DQO en uso de trampa de grasas

Parámetros	Eficiencia	Cantidad de Muestras	Porcentaje
DQO, mg/l	> 50 %	5	16,67 %
	> 25 %	10	33,33 %
	> 1 %	14	46,67 %

Fuente: elaboración propia.

Figura 34. Relación de DQO y días de operación



Fuente: elaboración propia, empleando SPSS, versión 22.0.0.0.

Estos resultados deben responder alguna relación con grasas, aceites, los sólidos suspendidos y sólidos sedimentables. La cual se verifica por medio de la tabla LIV, donde la Correlación de Pearson evalúa variable a variable. Nótese que la DBO_5 tiene la correlación más fuerte con las grasas y aceites. La DQO también tiene fuerte relación con las grasas y aceites y los sólidos suspendidos.

Tabla LV. **Correlaciones entre DBO₅, DQO y otras variables**

Parámetros		GyA	DBO ₅	DQO	Ssedtrh	Ssusp
GyA	Corr. Pearson	1	.876**	.757**	.018	.403**
	Sig. (bilateral)		.000	.000	.893	.001
DBO ₅	Corr. Pearson	.876**	1	.847**	-.014	.503**
	Sig. (bilateral)	.000		.000	.914	.000
DQO	Corr. Pearson	.757**	.847**	1	.006	.693**
	Sig. (bilateral)	.000	.000		.964	.000
Ssedtrh	Corr. Pearson	.018	-.014	.006	1	.186
	Sig. (bilateral)	.893	.914	.964		.155
Ssusp	Corr. Pearson	.403**	.503**	.693**	.186	1
	Sig. (bilateral)	.001	.000	.000	.155	

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas).

Fuente: elaboración propia, empleando SPSS, versión 22.0.0.0.

CONCLUSIONES

1. Se cumple la hipótesis que los sólidos sedimentados acumulados dentro de la trampa de grasas, no tomados en cuenta en la teoría de diseño, afectan la eficiencia del pretratamiento, ya que es una variable relacionada al volumen interno dentro de la trampa, la cual va reduciendo su capacidad, así como lo hacen las grasas y aceites acumulados, con el paso de los días de operación.
2. Se determina la siguiente ecuación para calcular el volumen total de la trampa de grasas y aceites, al menos el 80 % de eficiencia en los días de operación seleccionados por el diseñador, ver tabla XLVIII.

$$V_T = V_H + H \cdot 3600 \cdot Q \cdot D \cdot V_A + H \cdot 3600 \cdot Q \cdot D \cdot V_S$$

3. Únicamente en el 20 % del muestreo hubo una remoción de al menos 40 % de DBO₅ y DQO. La DBO₅ está relacionada con las grasas y aceites (Correlación de Pearson: 0.876), por lo que la DQO además de la relación con las grasas y aceites (C. Pearson: 0.757), también está asociada a los detergentes y sólidos suspendidos.
4. Solo un 3,33 % de los muestreos cumplió con los límites permisibles del acuerdo gubernativo N° 236-2006, por lo que la trampa de grasas como pretratamiento único, no cumple con los límites permisibles de los parámetros físicos exigidos por el *Reglamento de Descargas y Reúso de Aguas Residuales y la Disposición de Lodos*.

5. En este estudio se logra evidenciar las relaciones entre los parámetros de diseño de una trampa de grasas de separación natural, en la cafetería Nissi, por medio de la Correlación de Pearson. Siendo las grasas acumuladas, los días de operación y los sólidos sedimentados, en ese orden según su significancia, los de mayor correlación lineal.
6. El caudal (litros por segundo) y el volumen de la trampa (l), dependiente de las grasas, aceites y sólidos sedimentados acumulados son el modelo de regresión múltiple que mejor explican la relación con la eficiencia de remoción de grasas y aceites de la trampa de grasas.
7. En el caso de la cafetería Nissi, del T2 de la USAC, el mantenimiento de la trampa de grasas se debe dar por cada 6 días de operación. Este requiere la limpieza total, sacar todas las grasas y aceites y también todos los sólidos sedimentados.
8. El promedio de la relación DBO_5/DQO resulta en 0,60, indicando que el agua residual comercial de la cafetería Nissi es muy biodegradable.
9. La metodología para la determinación de grasas y aceites en el presente estudio, ver apéndice III, resultó adecuada para el desarrollo de este tipo de estudios.

RECOMENDACIONES

1. En el diseño de las trampas de grasas se deben tomar en cuenta la suma de tres volúmenes. El volumen mínimo para un tiempo de retención hidráulico según el caudal máximo a tratar. El volumen diario de las grasas y aceites acumulados y el volumen diario de los sólidos sedimentados acumulados. Estos dos últimos se deben multiplicar por la cantidad de días a los que se desea una operación con una eficiencia de al menos un 80 % de remoción de grasas y aceites.
2. Desarrollar un estudio para la caracterización fisicoquímica de las aguas residuales comerciales de diferentes entes generadores.
3. Elaborar un estudio donde se cuantifique la cantidad de grasas y sólidos sedimentados diarios generados en las trampas de grasas y aceites de distintos establecimientos comerciales.
4. Investigar cómo cambia la relación de las variables de diseño que afectan la eficiencia de una trampa de grasas, en la que utilice un mecanismo para retener los sólidos sedimentados antes de ingresar al pretratamiento.
5. Evaluar la relación del caudal del afluente y el volumen de la trampa, con la eficiencia de remoción de grasas y aceites, por medio de un modelo de regresión múltiple que contenga diferentes trampas de grasa con distintos volúmenes cada una y medir su relación con la determinada en este estudio.

6. Para facilitar la operación y mantenimiento de las trampas de grasas, considerar un desagüe de 50 mm de diámetro con su válvula en el fondo de la trampa. Esto para desfogar los sólidos sedimentados hacia un pequeño lecho de secado, en el caso que se pueda construir.
7. Realizar una investigación para identificar si existe un cambio en la eficiencia de las trampas de grasas, en caso que se remuevan las grasas y aceites acumulados, cada día o cada dos días, usando el diseño teórico actual.
8. Dar reuso a las grasas y aceites recolectados de la trampa, ya que es materia prima para hacer jabón de manos, biodiesel, betún (crema lustradora para zapatos) y cera para muebles.
9. Se debe evaluar el uso de los sólidos sedimentados, residuo de las limpiezas del mantenimiento de las trampas de grasas y aceites, como materia prima para producir abono orgánico.
10. Evaluar cómo cambia la relación de biodegradabilidad del agua residual comerciales, cuando se juntan las aguas grises, aguas negras y aguas de cocinas.
11. Aplicar la metodología desarrollada en el presente estudio para la determinación de grasas y aceites, en caso de no contar con el equipo que requiere los Métodos Estándar para el análisis de aguas. Ver apéndice III.

BIBLIOGRAFÍA

1. ABRAIRA SANTOS Víctor, PÉREZ de VARGAS Alberto. *Métodos multivariantes en bioestadística*. España: Centro de Estudios Ramón Areces, 1996. 470 p.
2. BARÓN LÓPEZ F.J., TÉLLEZ MONTIEL, F. *Apuntes de bioestadística: Tercer ciclo en ciencias de la salud y medicina*. España: Universidad de Málaga, 2004. 54 p.
3. BAUTISTA CABEZA, Rosa. *Técnicas bivariadas de análisis*. Perú: Universidad INCA Garcilaso de la Vega, 2012. 192 p.
4. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria. *Especificaciones técnicas para el diseño de trampas de grasas*. Perú: CPIS, 2003. 10 p.
5. CORTEZ MARTÍNEZ, Facundo; BETANCOURT SILVA, Fernando; MEDRANO CHÁVEZ, J. Flavio. *Control inicial en la descarga de aguas residuales industriales y comerciales*. México: Instituto Tecnológico de Aguascalientes, 2010. 8 p.
6. CUADRAS, Carles M. *Nuevos métodos de análisis multivariante*. España: CMC Editions, Barcelona, 2014. 304 p.

7. CZYSZ W., SCHNEIDER W., DENNE A., STAUDTE E. *Manual de disposición de aguas residuales*. Perú: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH. Cepis, OPS y OMS, 1991. 33 p.
8. Excreta and greywater use in agricultura. *WHO guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater*. Suiza: Organización Mundial de la Salud (OMS), 2006. 204 p. Vol. IV.
9. JAMRAH, A.; PRATHAPAR, S. *Overcoming constraints in treated gerywater reuse in Oman*. Omán: Departamento de Ingeniería Civil y Departamento de Ingeniería de Suelos, Agua y Agricultura. Universidad Sultan Qaboos, Al Khod, 2004. 18 p.
10. JIMÉNEZ, Samantha. *Contaminación de las aguas y el redescubrimiento del ciclo de nutrientes*. Ecología y Medio Ambiente. Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2013. 55 p.
11. HESS, M.L. *Tratamientos Preliminares. Manual del curso intensivo sobre diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales para países en desarrollo*. Lima, Perú: Cepis, OPS. 1976. 23 p.
12. HIDALGO, M.; MEJÍA, E. *Diagnóstico de la contaminación por aguas residuales domésticas, cuenca Baja de la Quebrada La Macana, San Antonio de Prado, Municipio de Medellín*. Colombia: Universidad de Antioquia, 2010. 68 p.

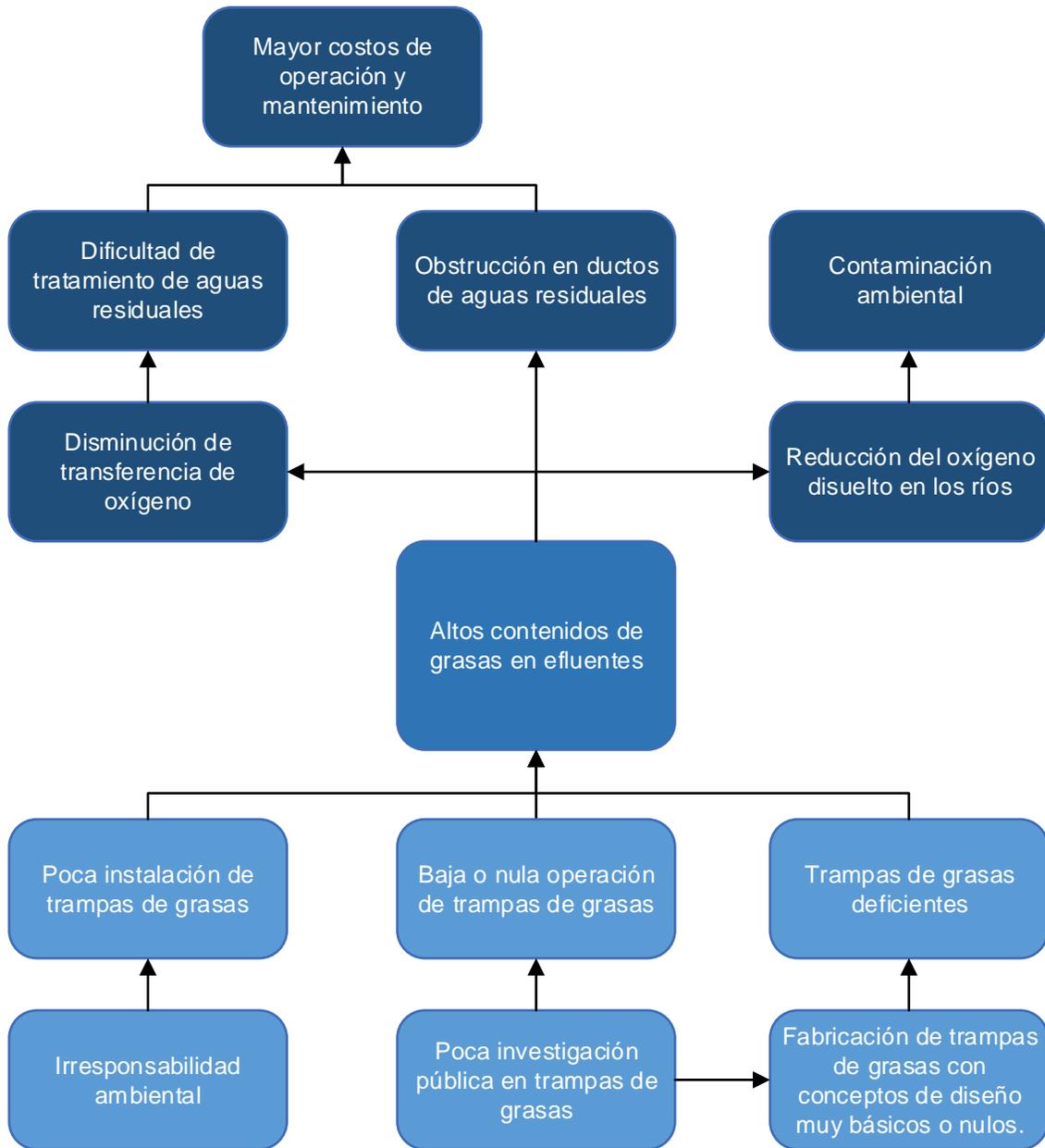
13. HOMSI AUCHEN, JACOBO. *Actualización para reutilización de aguas grises del “Reglamento general de alcantarillados particulares, fosas sépticas, cámaras filtrantes, cámaras de contacto, cámaras absorbentes y letrinas domiciliarias”*. Chile: Dirección General de Aguas (DGA), 2010. 242 p.
14. LOZANO RIVAS, W. A. *Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales*. Módulo didáctico. Colombia: Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Bogotá, 2012. 14 p.
15. MATA, A.; MORA, D.; PORTUGUEZ, C. *Agua para consumo y saneamiento, situación de Costa Rica, en el contexto de las Américas*. Costa Rica: Edición AyA, 2011. 27 p.
16. MATUTE, J. *¿Qué hago con mis datos? (Manual con artículos dirigidos al investigador)*. Guatemala: Ediciones Superación, 1992. 19 p.
17. METCALF AND EDDY, INC. *Wastewater engineering treatment, disposal and reuse*. EE.UU: McGraw-Hill Book, Co., 1979. 920 p.
18. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos*. Acuerdo Gubernativo 236-2006. Guatemala: MARN, 2006. 24 p.
19. MOORE, D. *Estadística aplicada básica*. España: Antoni Bosch, Barcelona, 2000. 874 p.

20. RENO LÓPEZ, M. *Contaminación y tratamiento de aguas, módulo I*. España: Universidad de Huelva, 2010.
21. Organización Panamericana de la Salud (OPS) y Organización Mundial de la Salud (OMS). *Conceptos generales de agua residual y su tratamiento*. Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental (BVSDE).
22. PINEDA RODRÍGUEZ, César Andrés. *Aprovechamiento de los residuos generados en las trampas de grasas provenientes de los establecimientos comerciales en el municipio de Pereira*. Tesis de maestría para Magister en Ecotecnología. Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira, 2011. 84 p.
23. PÖPEL, F. *Tecnología de aguas residuales y la conservación (complementado)*. Alemania: Alemán. Wiesbaden, 1928.
24. PRESLEIGH, John J. *Manual hechos de las aguas residuales del restaurante*. EE.UU: Departamento de Sanidad, Santa Cruz.
25. REYNOLDS KELLY, A. *Tratamiento de aguas residuales en Latinoamérica, identificación del problema*. Estados Unidos: Universidad de Arizona, 2002. 4 p.
26. ROMERO ROJAS, Jaime A. *Tratamiento de aguas residuales*. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería, 1999. 1 248 p.

27. RODRÍGUEZ, A.; LETÓN, P.; ROSAL, R.; DORADO, M.; VILLAR, S.; SANZ, J. *Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales*. España: Universidad de Alcalá del Círculo de Innovación en Tecnologías Medioambientales y Energía (CITME), 2006.
28. *Sección de cumplimiento ambiental, división de reciclaje de agua. Programa de aguas residuales comerciales*. Gobierno del Condado de Orange, Florida, Estado Unidos. [en línea] <http://espanol.orangecountyfl.net/Water,GarbageRecycling/CommercialWastewater.aspx> [Consulta: 26 de abril de 2015.]
29. TÉLLEZ MONTIEL, Francisco. *Apuntes de bioestadística*. España: Universidad de Málaga, 2004. 12 p.
30. YÁNEZ, Fabián. *Normas de diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales*. Organización Panamericana de la Salud - OPS. Guatemala, 1993. 28 p.
31. YEE-BATISTA, Carmen. *Aguas residuales de Latinoamérica vuelve a los ríos sin ser tratadas*. Banco Mundial, 2013. [en línea] <http://www.bancomundial.org/es/news/feature/2014/01/02/rios-de-latinoamerica-contaminados> [Consulta: 12 de marzo de 2015.]

APÉNDICES

Apéndice I. **Árbol de problemas**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice II. **Proceso constructivo del modelo experimental**



Ubicación de trampa de grasas.



Caja de registro deshabilitada.



Prueba de fugas en trampa.



Salida de cafetería.



Estructura de trampa de grasas.



Inicio de excavación para registro.



Colado de fundación del registro.



Unión salida de cafetería a trampa.



Levantado de bloques del registro.



Repellado para impermeabilización.



Ubicación de la trampa en registro.



Acoples mecánicos de entrada.



Acoples mecánicos de salida.



Armadura de tapas del registro.



Colado de tapas del registro.



Primer día de operación de trampa.

Fuente: Facultad de Arquitectura, Usac.

Apéndice III. **Metodología de laboratorio para determinación de grasas y aceites en aguas**

1. Objetivo.

Determinar la cantidad de grasas y aceites presentes en el agua, en mg/l.

2. Materiales y equipo para laboratorio necesarios

- Recipiente de un litro de vidrio color ámbar, para recolectar muestra.
- Muestra de un litro de agua con grasas y aceites.
- Campana extractora de gases
- Probeta de un litro.
- Probeta de decantación, 1000ml.
- Soporte para probeta de decantación.
- Solvente orgánico (puede ser cualquiera de los siguientes):
 - Éter puro. (Volatilización media)
 - Éter de petróleo. (Volatilización media)
 - Hexano puro. (Volatilización rápida)
 - Cloroformo (Volatilización lenta)
- Cápsula de porcelana, de preferencia profunda.
- Embudo de vidrio, de al menos 100ml.
- Papel filtro cualitativo estándar, en círculos de 15 a 20 cm de diámetro.
- Papel kraft.
- Pinzas para cápsula.
- Horno.
- Desecador.
- Balanza analítica de precisión 200g/0.0001 g.

3. Equipo de seguridad personal

- Lentes de seguridad.

- Guantes de neopreno.
- Máscara para gases orgánicos.
- Bata de laboratorio.

4. Procedimiento

- La muestra debe ser analizada 2 horas como máximo, después de ser recolectada. Caso contrario la muestra debe preservarse, agregando 2ml o más de ácido clorhídrico o ácido sulfúrico concentrado, hasta alcanzar un pH menor o igual a 2.
- Agitar fuertemente el frasco de vidrio ámbar, en el que se contiene la muestra y verter sobre la probeta de 1 litro.
- Encender la campana.
- Instalar la probeta con la muestra, el solvente orgánico y el soporte de la probeta de decantación dentro de la campana extractora de gases.
- Colocar la probeta de decantación en su debido soporte y cerrar su válvula de salida.
- Verter la muestra de la probeta en la probeta de decantación de un litro.
- Introducir 100 ml del solvente orgánico en la probeta de decantación.
- Procedimiento de mezcla de la muestra con el solvente orgánico.
 - Agitar 3 veces, volcar la probeta de decantación (con tapón bien presionado), abrir la válvula y dejar escapar el gas.
 - Agitar 5 veces.
 - Agitar 10 veces.
 - Agitar durante 20 segundos.
 - Agitar durante 40 segundos.
 - Agitar durante 60 segundos.
 - * Después de cada agitación, dejar escapar el aire por la válvula.
- Dejar reposar la probeta de decantación sobre su soporte durante 30min.

- Mientras reposa la muestra, sacar una cápsula de porcelana con una pinza del desecador y pesarla en la balanza analítica (peso inicial).
- Doblar el papel filtro en cuatro, abrir y colocar dentro del embudo.
- Después de los 30min de reposo, las grasas, aceites y materia orgánica sean separado del agua, dejando esta última en el fondo de la probeta de decantación, la cual puede ser vertida en el mismo frasco en que se recolectó la muestra.
- Se debe mojar el papel filtro con el solvente orgánico con el fin de evitar el paso del agua y la materia orgánica a través del mismo.
- Colocar el embudo debajo de la probeta de decantación.
- Instalar la cápsula de porcelana en la base de la campana y debajo del embudo con papel kraft para evitar que se ensucie. Ubicar cerca del fin del embudo para evitar que salpique la muestra.
- Abrir la válvula de la probeta de decantación para dejar caer las grasas, aceites y materia orgánica sobre el embudo.
- Mientras se filtran las grasas por el papel filtro, la campana se mantiene encendida para permitir la volatilización del solvente orgánico.
- Cuando el filtro esté seco, se colecta la cápsula con la pinza y se coloca en el horno a una temperatura de 103°C durante 10 minutos, para evaporar el agua que haya logrado pasar el filtro.
- Después de los 10 min, se toma la cápsula con la pinza y se instala en el desecador por 30min, para eliminar cualquier humedad presente en las grasas y aceites colectados.
- Posteriormente se pesa en la balanza analítica (peso final).
- Se resuelve la siguiente ecuación:

$$\text{Grasas y aceites } \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}} \right) = \frac{(\text{Peso final}(g) - \text{Peso inicial}(g)) \cdot 1000}{\text{Volumen de muestra } (l)}$$

Apéndice IV. Presupuesto detallado de modelo experimental

**MODELO EXPERIMENTAL PARA MEDIR LA EFICIENCIA DE UNA TRAMPA DE GRASAS PREFABRICADA
PRESUPUESTO DETALLADO**

N°	DESCRIPCION	UNID	CANT	PRECIO	RESUMEN DE COSTOS		
					UNIT Q	MATERIAL	CONTRATO
						Q	Q
Caja de registro - Cimiento, paredes y tapas (1.6x1.0m)							
1	Masking Tape 1/2" 3M	unidad	1,00	8,35	8,35	0,00	
2	Varilla 1/4" x 6m	unidad	10,00	6,40	64,00	0,00	
3	Alambre de amarre	lb	5,00	4,60	23,00	0,00	
4	Platina 3/4" x 3/16"	unidad	1,00	32,10	32,10	0,00	
5	Broca metal cobalto 3/8"x5"	unidad	1,00	38,90	38,90	0,00	
6	Block 10x20x40m	unidad	40,00	3,15	126,00	0,00	
7	Regla madera 2"x2"x10'	unidad	5,00	15,00	75,00	0,00	
8	Roldana plana 1/4"	unidad	24,00	0,20	4,80	0,00	
9	Tuerca hexagonal 1/4"	unidad	12,00	0,30	3,60	0,00	
10	Tornillo galvaniz 1/4x3 1/2"	unidad	12,00	3,40	40,80	0,00	
11	Clavos de 2"	lb	3,00	4,30	12,90	0,00	
12	Disco corte metal 4.5	unidad	1,00	11,00	11,00	0,00	
13	Nylon negro 72"	m	2,00	12,49	24,98	0,00	
14	Bolsa plástica para acarreo	unidad	10,00	2,70	27,00	0,00	
15	Cemento	sacos	4,00	76,00	304,00	0,00	
16	Piedrin 3/8"	m³	0,25	240,00	60,00	0,00	
17	Arena río rústica	m³	0,50	86,00	43,00	0,00	
SUMA DE MATERIALES					Q 899,43	Q 0,00	
1	Mano de Obra	global	1,00	1.000,00	0,00	1.000,00	
SUMA DE MANO DE OBRA					Q 0,00	Q 1.000,00	
TOTALES DIRECTOS					Q 1.899,43		
1	Transporte	global	1,00	150,00	0,00	150,00	
TOTALES INDIRECTOS					Q 150,00		
COSTO TOTAL					Q 2.049,43		

**MODELO EXPERIMENTAL PARA MEDIR LA EFICIENCIA DE UNA TRAMPA DE GRASAS PREFABRICADA
PRESUPUESTO DETALLADO**

N°	DESCRIPCION	UNID	CANT	PRECIO	RESUMEN DE COSTOS	
				UNIT Q	MATERIAL	CONTRATO
					Q	Q

Trampa de grasas - Módulo mecánico							
1	Tubo PVC drenaje - 4" Ø	unidad	1,00	89,75	89,75	0,00	0,00
2	Tubo PVC drenaje - 3" Ø	m	2,00	17,99	35,98	0,00	0,00
3	Tubo PVC drenaje - 2" Ø	unidad	1,00	33,00	33,00	0,00	0,00
4	Tee PVC drenaje - 4" Ø	unidad	4,00	17,45	69,80	0,00	0,00
5	Tee PVC drenaje - 3" Ø	unidad	1,00	17,99	17,99	0,00	0,00
6	Codo 90° PVC drenaje - 4" Ø	unidad	4,00	18,45	73,80	0,00	0,00
7	Codo 90° PVC drenaje - 2" Ø	unidad	2,00	4,20	8,40	0,00	0,00
8	Reductor PVC drenaje 4-2" Ø	unidad	2,00	8,95	17,90	0,00	0,00
9	Reductor PVC drenaje 4-3" Ø	unidad	2,00	17,99	35,98	0,00	0,00
10	Unión PVC drenaje - 4" Ø	unidad	1,00	24,75	24,75	0,00	0,00
11	Válvula bola PVC 4" Ø c/lisa	unidad	2,00	418,60	837,20	0,00	0,00
12	Válvula bola PVC 2" Ø c/lisa	unidad	2,00	61,15	122,30	0,00	0,00
13	Pegamento PVC 125ml	unidad	2,00	35,00	70,00	0,00	0,00
14	Lija de agua grano 220	unidad	1,00	4,99	4,99	0,00	0,00
SUMA DE MATERIALES					Q 1.442	Q 0,00	
1	Mano de Obra	global	1,00	400,00	0,00	400,00	
2	Modificación en T.G. de vidrio	global	1,00	240,00	0,00	240,00	
SUMA DE MANO DE OBRA					Q 0,00	Q 640,0	
TOTALES DIRECTOS					Q 2.081,84		
1	Transporte	global	1,00	200,00	0,00	200,00	
TOTALES INDIRECTOS					Q 200,00		
COSTO TOTAL					Q 2.281,84		

Operación, análisis y manipulación de trampa de grasas							
1	Jabón lavaplatos	unidad	1,00	13,50	13,50	0,00	0,00
2	Colorante (4 tintes vegetales)	unidad	3,00	20,75	62,25	0,00	0,00
3	Esponja para lavar	unidad	1,00	11,75	11,75	0,00	0,00
4	Colador para fregadero 2"	unidad	2,00	10,00	20,00	0,00	0,00
5	Colador para fregadero 4"	unidad	2,00	20,00	40,00	0,00	0,00
6	Bote para medir caudal	unidad	1,00	30,00	30,00	0,00	0,00
7	Guantes de latex	par	1,00	35,00	35,00	0,00	0,00
SUMA DE MATERIALES					Q 213	Q 0,00	
1	Mano de Obra	global	0,00	0,00	0,00	0,00	
SUMA DE MANO DE OBRA					Q 0,00	Q 0,00	
TOTALES DIRECTOS					Q 212,50		
TOTALES INDIRECTOS					Q 0,00		
COSTO TOTAL					Q 212,50		

**MODELO EXPERIMENTAL PARA MEDIR LA EFICIENCIA DE UNA TRAMPA DE GRASAS PREFABRICADA
PRESUPUESTO DETALLADO**

N°	DESCRIPCION	UNID	CANT	PRECIO	RESUMEN DE COSTOS		
				UNIT Q	MATERIAL	CONTRATO	
					Q	Q	
Mantenimiento de trampa de grasas							
1	Manguera 15m	unidad	1,00	67,60	67,60	0,00	
2	Pistola Manguera Metal	unidad	1,00	41,99	41,99	0,00	
3	Espanja para lavar	unidad	1,00	11,75	11,75	0,00	
4	Guantes de latex	par	1,00	35,00	35,00	0,00	
SUMA DE MATERIALES					Q 156	Q 0,00	
1	Mano de Obra	global	0,00	0,00	0,00	0,00	
SUMA DE MANO DE OBRA					Q 0,00	Q 0,00	
TOTALES DIRECTOS					Q 156,34		
TOTALES INDIRECTOS					Q 0,00		
COSTO TOTAL					Q 156,34		

Pruebas de laboratorio de aguas grises							
1	Mascarilla vapores inorgánico	unidad	2,00	115,15	230,30	0,00	
2	Filtro vapor inorgánicos	unidad	0,00	45,00	0,00	0,00	
3	Guantes de neopreno corrug	unidad	2,00	14,31	28,61	0,00	
4	Frasco ambar boca ancha	unidad	2,00	23,25	46,50	0,00	
5	Termómetro digital WEBER	unidad	1,00	207,94	207,94	0,00	
6	Capsula - Crisol	unidad	1,00	99,00	99,00	0,00	
7	Filtro 47mm	paq 100	1,00	565,00	565,00	0,00	
8	Báscula portátil electrónica	unidad	1,00	180,55	180,55	0,00	
9	Viales DQO superalto rango	paq 25	3,00	560,00	1.680,00	0,00	
10	Sobre buffer nutriente DBO	paq 50	2,00	136,74	273,48	0,00	
SUMA DE MATERIALES					Q 3.311	Q 0,00	
1	Mano de Obra	global	0,00	0,00	0,00	0,00	
SUMA DE MANO DE OBRA					Q 0,00	Q 0,00	
TOTALES DIRECTOS					Q 3.311,38		
TOTALES INDIRECTOS					Q 0,00		
COSTO TOTAL					Q 3.311,38		

Apéndice V. **Imágenes de los laboratorios para la determinación de los parámetros del agua**

Determinación de grasas y aceites.



Equipo general de laboratorio.



Cápsulas con grasas y aceites.



Filtro de grasas y aceites



Peso de cápsulas de porcelana

Determinación de sólidos sedimentados (1-3) y sólidos suspendidos (2-4).



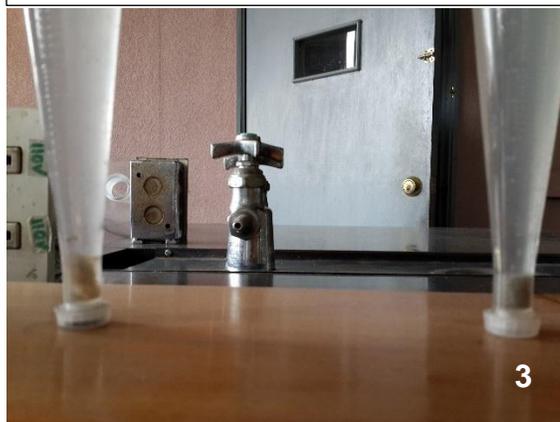
1

Conos Imhoff.



2

Filtrado de la muestra



3

Sólidos sedimentados en conos



4

Filtro con sólidos suspendidos

Demanda bioquímica de oxígeno (1-2) y demanda química de oxígeno (3-4).



Medidor de oxígeno disuelto.



Frasco para DBO₅.



Reactivo para DQO.



Viales para determinación DQO.

Apéndice VI. Variables experimentales en SPSS.

Nombre	Tipo	Anchura	Decimales	Etiqueta	Valores	Perdidos	Columnas	Alineación	Medida	Rol
1 Caudal	N Numérico	4	3	Caudal, l/s	Ninguna	Ninguna	4	Derecha	Escala	Entrada
2 DiaOp	N Numérico	2	0	Día de operació...	Ninguna	Ninguna	4	Derecha	Escala	Entrada
3 TRH	N Numérico	6	2	Tiempo de rete...	Ninguna	Ninguna	4	Derecha	Escala	Entrada
4 TRHseg	N Numérico	8	2		Ninguna	Ninguna	6	Derecha	Escala	Entrada
5 AltrG	N Numérico	4	3	Altura de grasa...	Ninguna	Ninguna	4	Derecha	Escala	Entrada
6 AltrSS	N Numérico	4	3	Altura de solido...	Ninguna	Ninguna	4	Derecha	Escala	Entrada
7 VoIG	N Numérico	6	3	Volumen de gra...	Ninguna	Ninguna	4	Derecha	Escala	Entrada
8 VoISS	N Numérico	6	3	Volumen de sol...	Ninguna	Ninguna	4	Derecha	Escala	Entrada
9 Temp	N Numérico	5	2	Temperatura, °C	Ninguna	Ninguna	4	Derecha	Escala	Entrada
10 EFGyA	N Numérico	6	2	Grasas y aceti...	Ninguna	Ninguna	5	Derecha	Escala	Entrada
11 EFDBo5	N Numérico	6	2	Demanda biogu...	Ninguna	Ninguna	6	Derecha	Escala	Entrada
12 EFDQO	N Numérico	6	2	Demanda quimi...	Ninguna	Ninguna	5	Derecha	Escala	Entrada
13 EFSsed	N Numérico	6	2	Solidos sedime...	Ninguna	Ninguna	5	Derecha	Escala	Entrada
14 EFSsus	N Numérico	6	2	Solidos suspen...	Ninguna	Ninguna	6	Derecha	Escala	Entrada
15 Vol_Trampa	N Numérico	8	2		Ninguna	Ninguna	8	Derecha	Escala	Entrada
16 Log_N_Vol_...	N Numérico	8	2		Ninguna	Ninguna	7	Derecha	Escala	Entrada

Apéndice VII. Datos de variables experimentales en SPSS

Variables Trampa de Grasas [Conjunto_de_datos1] - IBM SPSS Statistics Editor de datos

Archivo Editar Ver Datos Transformar Analizar Marketing directo Gráficos Utilidades Ventana Ayuda

Visible: 16 de 16 variables

30 : Caudal .307 Indicación totalidad de datos: 30.

	Caudal	DiaOp	TRH	TRHseg	AltrG	AltrSS	VolG	VolSS	Temp	Ef.GyA	Ef.DBO5	Ef.DQO	Ef.SSed	Ef.SSusp	Vol_Trampa	Log_N_Vol_Trampa
1	.069	1	13.70	822.15	.010	.020	.021	.042	22.20	42.36	71.87	68.38	-1900.00	83.06	56.64	4.04
2	.041	1	23.31	1398.60	.010	.020	.021	.042	21.90	82.41	67.55	58.54	50.00	74.88	56.64	4.04
3	.510	1	1.85	111.13	.010	.020	.021	.042	23.00	-18.91	-438.46	-324.05	-400.00	-472.01	56.64	4.04
4	.273	3	3.47	207.90	.200	2.500	.420	5.250	20.50	25.27	9.59	1.84	-900.00	17.42	51.03	3.93
5	.427	3	2.21	132.68	.200	2.500	.420	5.250	23.10	-213.92	-21.12	-17.11	.00	-31.36	51.03	3.93
6	.076	3	12.44	746.17	.200	2.500	.420	5.250	22.30	88.59	83.95	79.69	-1900.00	89.99	51.03	3.93
7	.062	5	15.23	913.72	1.330	7.000	2.800	14.700	21.70	26.47	50.00	33.96	-1400.00	-1.39	39.20	3.67
8	.035	5	27.05	1622.75	1.330	7.000	2.800	14.700	22.70	79.40	26.92	60.78	.00	56.93	39.20	3.67
9	.339	5	2.79	167.27	1.330	7.000	2.800	14.700	22.90	-332.56	-176.68	-150.70	-1900.00	-866.23	39.20	3.67
10	.043	7	21.97	1318.28	2.500	8.670	5.250	18.200	22.60	-125.05	-12.18	-.74	-800.00	-76.81	33.25	3.50
11	.086	7	10.93	656.02	2.500	8.670	5.250	18.200	22.60	-127.21	3.76	-23.20	50.00	-125.00	33.25	3.50
12	.311	7	3.04	182.57	2.500	8.670	5.250	18.200	21.80	-18.62	-126.25	-1.30	-1900.00	-121.43	33.25	3.50
13	.047	9	20.20	1212.25	3.270	11.170	6.860	23.450	21.80	-91.44	-71.74	-119.42	100.00	-36.36	26.39	3.27
14	.151	9	6.27	376.49	3.270	11.170	6.860	23.450	23.50	-82.65	-181.44	-145.61	-200.00	-58.56	26.39	3.27
15	.380	9	2.49	149.31	3.270	11.170	6.860	23.450	23.40	-940.24	-304.38	-344.08	-1900.00	-610.00	26.39	3.27
16	.056	1	17.01	1020.60	.070	.330	.140	.700	22.00	44.61	39.85	24.30	-200.00	3.43	55.86	4.02
17	.158	1	5.98	358.91	.070	.330	.140	.700	22.20	45.03	2.80	19.39	-100.00	30.53	55.86	4.02

Vista de datos Vista de variables

IBM SPSS Statistics Processor está listo Unicode:OFF

Apéndice VIII. **Imágenes del proceso de mantenimiento de la trampa de grasas y aceites de la cafetería Nissi**



Levantar tapas de caja de registro y prepararse con el equipo de limpieza



Colocar las grasas y aceites en bolsas gruesas y disponer para llevar a relleno sanitario



Retirar agua y disponerla en un registro sanitario.



Colocar sólidos sedimentados en bolsas gruesas, para disponer en relleno sanitario.



Lavar con esponja, jabón y agua. Sacar residuos y verter en registro sanitario. Secar.



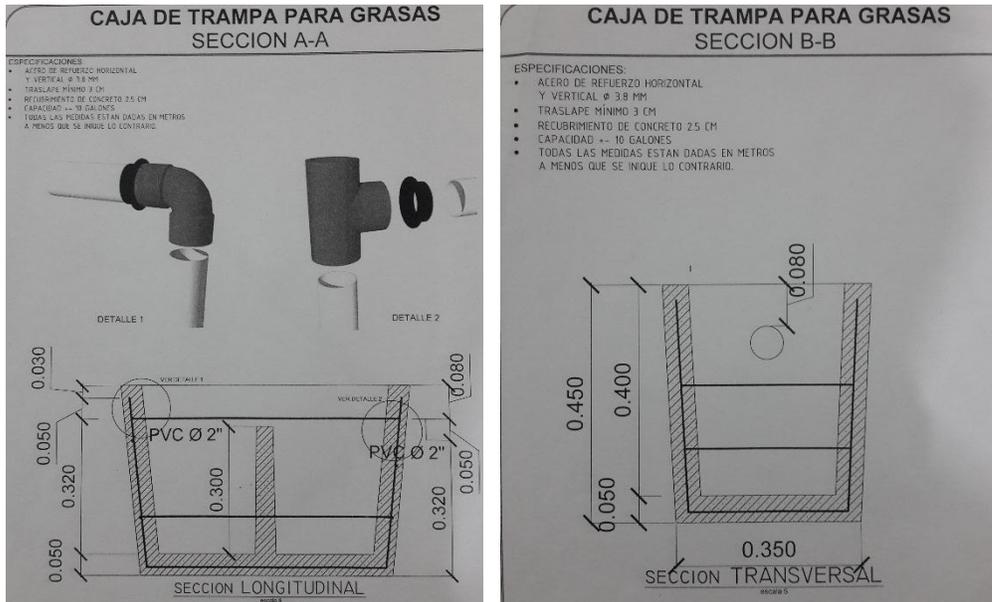
Llevar residuos (grasas y sólidos) a basureros, en bolsa grande. Limpiar tubería/registro.



Limpiar utensilios de limpieza y cerrar el registro de la trampa de grasas y aceites.

ANEXOS

Anexo I. Trampa de grasas comercial



Fuente: Empresa de productos de concreto.

Anexo II. **Tabla de distribución estadística F de Fisher**

$1 - \alpha = 0.95$ v_1 = grados de libertad del numerador

$1 - \alpha = P(F \leq f_{\alpha, v_1, v_2})$ v_2 = grados de libertad del denominador

$v_2 \backslash v_1$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	161.446	199.499	215.707	224.583	230.160	233.988	236.767	238.884	240.543	241.882	242.981	243.905	244.690	245.363	245.949	246.466	246.917	247.324	247.688	248.016
2	18.513	19.000	19.164	19.247	19.296	19.329	19.353	19.371	19.385	19.396	19.405	19.412	19.419	19.424	19.429	19.433	19.437	19.440	19.443	19.446
3	10.128	9.552	9.277	9.117	9.013	8.941	8.887	8.845	8.812	8.785	8.763	8.745	8.729	8.715	8.703	8.692	8.683	8.675	8.667	8.660
4	7.709	6.944	6.591	6.388	6.256	6.163	6.094	6.041	5.999	5.964	5.936	5.912	5.891	5.873	5.858	5.844	5.832	5.821	5.811	5.803
5	6.608	5.786	5.409	5.192	5.050	4.950	4.876	4.818	4.772	4.735	4.704	4.678	4.655	4.636	4.619	4.604	4.590	4.579	4.568	4.558
6	5.987	5.143	4.757	4.534	4.387	4.284	4.207	4.147	4.099	4.060	4.027	4.000	3.976	3.956	3.938	3.922	3.908	3.896	3.884	3.874
7	5.591	4.737	4.347	4.120	3.972	3.866	3.787	3.726	3.677	3.637	3.603	3.575	3.550	3.529	3.511	3.494	3.480	3.467	3.455	3.445
8	5.318	4.459	4.066	3.838	3.688	3.581	3.500	3.438	3.388	3.347	3.313	3.284	3.259	3.237	3.218	3.202	3.187	3.173	3.161	3.150
9	5.117	4.256	3.863	3.633	3.482	3.374	3.293	3.230	3.179	3.137	3.102	3.073	3.048	3.025	3.006	2.989	2.974	2.960	2.948	2.936
10	4.965	4.103	3.708	3.478	3.326	3.217	3.135	3.072	3.020	2.978	2.943	2.913	2.887	2.865	2.845	2.828	2.812	2.798	2.785	2.774
11	4.844	3.982	3.587	3.357	3.204	3.095	3.012	2.948	2.896	2.854	2.818	2.788	2.761	2.739	2.719	2.701	2.685	2.671	2.658	2.646
12	4.747	3.885	3.490	3.259	3.106	2.996	2.913	2.849	2.796	2.753	2.717	2.687	2.660	2.637	2.617	2.599	2.583	2.568	2.555	2.544
13	4.667	3.806	3.411	3.179	3.025	2.915	2.832	2.767	2.714	2.671	2.635	2.604	2.577	2.554	2.533	2.515	2.499	2.484	2.471	2.459
14	4.600	3.739	3.344	3.112	2.958	2.848	2.764	2.699	2.646	2.602	2.565	2.534	2.507	2.484	2.463	2.445	2.428	2.413	2.400	2.388
15	4.543	3.682	3.287	3.056	2.901	2.790	2.707	2.641	2.588	2.544	2.507	2.475	2.448	2.424	2.403	2.385	2.368	2.353	2.340	2.328
16	4.494	3.634	3.239	3.007	2.852	2.741	2.657	2.591	2.538	2.494	2.456	2.425	2.397	2.373	2.352	2.333	2.317	2.302	2.288	2.276
17	4.451	3.592	3.197	2.965	2.810	2.699	2.614	2.548	2.494	2.450	2.413	2.381	2.353	2.329	2.308	2.289	2.272	2.257	2.243	2.230
18	4.414	3.555	3.160	2.928	2.773	2.661	2.577	2.510	2.456	2.412	2.374	2.342	2.314	2.290	2.269	2.250	2.233	2.217	2.203	2.191
19	4.381	3.522	3.127	2.895	2.740	2.628	2.544	2.477	2.423	2.378	2.340	2.308	2.280	2.256	2.234	2.215	2.198	2.182	2.168	2.155
20	4.351	3.493	3.098	2.866	2.711	2.599	2.514	2.447	2.393	2.348	2.310	2.278	2.250	2.225	2.203	2.184	2.167	2.151	2.137	2.124
21	4.325	3.467	3.072	2.840	2.685	2.573	2.488	2.420	2.366	2.321	2.283	2.250	2.222	2.197	2.176	2.156	2.139	2.123	2.109	2.096
22	4.301	3.443	3.049	2.817	2.661	2.549	2.464	2.397	2.342	2.297	2.259	2.226	2.198	2.173	2.151	2.131	2.114	2.098	2.084	2.071
23	4.279	3.422	3.028	2.796	2.640	2.528	2.442	2.375	2.320	2.275	2.236	2.204	2.175	2.150	2.128	2.109	2.091	2.075	2.061	2.048
24	4.260	3.403	3.009	2.776	2.621	2.508	2.423	2.355	2.300	2.255	2.216	2.183	2.155	2.130	2.108	2.088	2.070	2.054	2.040	2.027
25	4.242	3.385	2.991	2.759	2.603	2.490	2.405	2.337	2.282	2.236	2.198	2.165	2.136	2.111	2.089	2.069	2.051	2.035	2.021	2.007
26	4.225	3.369	2.975	2.743	2.587	2.474	2.388	2.321	2.265	2.220	2.181	2.148	2.119	2.094	2.072	2.052	2.034	2.018	2.003	1.990
27	4.210	3.354	2.960	2.728	2.572	2.459	2.373	2.305	2.250	2.204	2.166	2.132	2.103	2.078	2.056	2.036	2.018	2.002	1.987	1.974
28	4.196	3.340	2.947	2.714	2.558	2.445	2.359	2.291	2.236	2.190	2.151	2.118	2.089	2.064	2.041	2.021	2.003	1.987	1.972	1.959
29	4.183	3.328	2.934	2.701	2.545	2.432	2.346	2.278	2.223	2.177	2.138	2.104	2.075	2.050	2.027	2.007	1.989	1.973	1.958	1.945
30	4.171	3.316	2.922	2.690	2.534	2.421	2.334	2.266	2.211	2.165	2.126	2.092	2.063	2.037	2.015	1.995	1.976	1.960	1.945	1.932
40	4.085	3.232	2.839	2.606	2.449	2.336	2.249	2.180	2.124	2.077	2.038	2.003	1.974	1.948	1.924	1.904	1.885	1.868	1.853	1.839
50	4.034	3.183	2.790	2.557	2.400	2.286	2.199	2.130	2.073	2.026	1.986	1.952	1.921	1.895	1.871	1.850	1.831	1.814	1.798	1.784
60	4.001	3.150	2.758	2.525	2.368	2.254	2.167	2.097	2.040	1.993	1.952	1.917	1.887	1.860	1.836	1.815	1.796	1.778	1.763	1.748
70	3.978	3.128	2.736	2.503	2.346	2.231	2.143	2.074	2.017	1.969	1.928	1.893	1.863	1.836	1.812	1.790	1.771	1.753	1.737	1.722
80	3.960	3.111	2.719	2.486	2.329	2.214	2.126	2.056	1.999	1.951	1.910	1.875	1.845	1.817	1.793	1.772	1.752	1.734	1.718	1.703
90	3.947	3.098	2.706	2.473	2.316	2.201	2.113	2.043	1.986	1.938	1.897	1.861	1.830	1.803	1.779	1.757	1.737	1.720	1.703	1.688
100	3.936	3.087	2.696	2.463	2.305	2.191	2.103	2.032	1.975	1.927	1.886	1.850	1.819	1.792	1.768	1.746	1.726	1.708	1.691	1.676
200	3.888	3.041	2.650	2.417	2.259	2.144	2.056	1.985	1.927	1.878	1.837	1.801	1.769	1.742	1.717	1.694	1.674	1.656	1.639	1.623
500	3.860	3.014	2.623	2.390	2.232	2.117	2.028	1.957	1.899	1.850	1.808	1.772	1.740	1.712	1.686	1.664	1.643	1.625	1.607	1.592
1000	3.851	3.005	2.614	2.381	2.223	2.108	2.019	1.948	1.889	1.840	1.798	1.762	1.730	1.702	1.676	1.654	1.633	1.614	1.597	1.581

Fuente: Canavos, G. *Probabilidad y estadística* (1990). p. 625.

