



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Química

**EVALUACIÓN A NIVEL LABORATORIO DE LA EFICIENCIA DE DOS COAGULANTES  
PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE LA  
PRODUCCIÓN DE ACEITES Y GRASAS COMESTIBLES**

**Luis Fernando González Serrano**

Asesorado por el Ing. Qco. Ronal Adolfo Herrera Orozco

Guatemala, junio de 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN A NIVEL LABORATORIO DE LA EFICIENCIA DE DOS COAGULANTES  
PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE LA  
PRODUCCIÓN DE ACEITES Y GRASAS COMESTIBLES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**LUIS FERNANDO GONZÁLEZ SERRANO**

ASESORADO POR EL ING. QCO. RONAL ADOLFO HERRERA OROZCO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
**INGENIERO QUÍMICO**

GUATEMALA, JUNIO DE 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



### **NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy OlympoPaiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jimenéz
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

### **TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy OlympoPaiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Federico Guillermo Salazar Rodríguez
EXAMINADOR	Ing. José Manuel TayOroxón
EXAMINADOR	Inga. Hilda Piedad Palma de Martini
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **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:

**EVALUACIÓN A NIVEL LABORATORIO DE LA EFICIENCIA DE DOS COAGULANTES  
PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE LA  
PRODUCCIÓN DE ACEITES Y GRASAS COMESTIBLES**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha septiembre de 2009.



Luis Fernando González Serrano

Guatemala 20 de Enero de 2011.

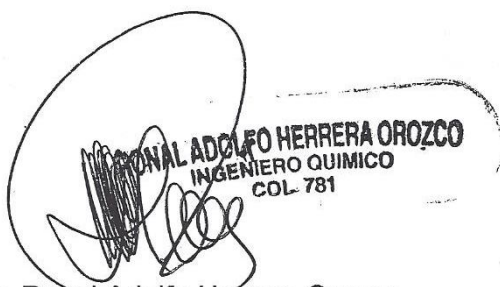
Ing. Williams Álvarez.

Director escuela de Ingeniería Química

Presente

Por este medio apruebo el informe final de trabajo de graduación del estudiante Luis Fernando González Serrano, carné No. 2004-13240, con el título "Evaluación a nivel laboratorio de la eficiencia de dos coagulantes para el tratamiento de aguas residuales provenientes de la producción de aceites y grasas comestibles".

Sin otro particular me despido.

A handwritten signature in black ink is written over a circular stamp. The stamp contains the text: RONAL ADOLFO HERRERA OROZCO, INGENIERO QUIMICO, COL-781.

Ing. Ronal Adolfo Herrera Orozco.

Colegiado No. 781.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Guatemala, 29 de abril de 2011  
Ref.EIQ.TG.102.2011

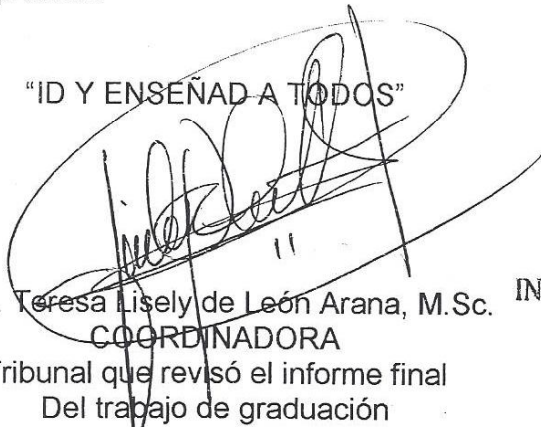
Ingeniero  
**Williams Guillermo Álvarez Mejía**  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería  
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el **Acta TG-1602011-B-IF** le informo que reunidos los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del informe final del trabajo de graduación, para optar al título de **INGENIERO QUÍMICO** al estudiante universitario, **Luis Fernando González Serrano**, identificado con carné No. **2004-13240**, titulado: **"EVALUACIÓN A NIVEL LABORATORIO DE LA EFICIENCIA DE DOS COAGULANTES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE LA PRODUCCIÓN DE ACEITES Y GRASAS COMESTIBLES"**, el cual ha sido asesorado por el Ingeniero Químico **Ronal Adolfo Herrera Orozco**.

Habiendo encontrado el referido informe final **satisfactorio**, se procede a recomendarle autorice al estudiante **González Serrano**, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

  
Inga. Teresa Lisely de León Arana, M.Sc.  
COORDINADORA  
Tribunal que revisó el informe final  
Del trabajo de graduación



ESCUELA DE  
INGENIERÍA QUÍMICA

C.c.: archivo



El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación del estudiante, **LUIS FERNANDO GONZÁLEZ SERRANO** titulado: "EVALUACIÓN A NIVEL LABORATORIO DE LA EFICIENCIA DE DOS COAGULANTES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE LA PRODUCCIÓN DE ACEITES Y GRASAS COMESTIBLES". Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

  
Ing. César Alfonso García Guerra  
Director a.i.  
Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, junio de 2011



Cc: Archivo  
CAGG/ale



Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 189.2011.

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **EVALUACIÓN A NIVEL LABORATORIO DE LA EFICIENCIA DE DOS COAGULANTES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE LA PRODUCCIÓN DE ACEITES Y GRASAS COMESTIBLES**, presentado por el estudiante universitario **Luis Fernando González Serrano**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olympo Paiz Reinos  
Decano



Guatemala, 15 de junio de 2011.

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por darme la fuerza e inteligencia para salir delante de todos los obstáculos que surgieron en el camino y hoy en día darme la oportunidad de realizarme como un profesional graduado.
- Mis padres** Martiza Ninett Serrano Taracena y José Luis González Castillo por darme siempre todo su apoyo y consejos, en los momentos que más los necesité siempre estuvieron a mi lado.
- Mi tío** José Serrano, porque nunca ha dejado de apoyarme a pesar de las circunstancias y forma una parte muy importante en mi vida.
- Mis hermanos** Alejandra y José Pablo por estar siempre a mi lado apoyándome en los momentos que lo he necesitado.
- Mis abuelos** Ramiro Serrano, Aura Ninett (q.e.p.d.) y Lidia Castillo, por apoyarme y aconsejarme a lo largo de mi vida para poder salir delante de los obstáculos que se interpusieron.

<b>Mis tías</b>	Eva, Dora, Maritza, Sulma y Judith, por todo el cariño y comprensión brindada.
<b>Miamigo</b>	Ing. Juan González, por haber compartido conmigo toda su experiencia de vida, sin esperar nada a cambio, apoyándome en los momentos difíciles de los que salí adelante.
<b>Miamigo</b>	Werner Ordoñez, con el cual compartí desde pequeño y siempre ha estado conmigo cuando más lo he necesitado.
<b>Mis primas</b>	María Nicté, Tatiana y Alejandra María, con las cuales hemos formado un círculo de amistad, cariño y comprensión muy grande.
<b>Universidad de San Carlos</b>	Por permitirme ingresar a la máxima casa de estudios en Guatemala.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por compartirme todos los conocimientos con los que cuento, ayudándome a ser un gran profesional preparado para competir.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

### **Mis amigos y compañeros**

Carlos Alvarez, Lisandro Hernández, Cesar García, Cindy Pineda, Michelle Balconi, Edwin Esmieu, Rudy Martínez, Hugo Rubio, Zulema Calderón, Juan Poncio, Juan Carlos Pérez, Cesar Quintanilla, Esteban Grisolia, TamarGonzalez, Wester Martínez, Darwin Jocholá, Gabriela Solares, Claudia Ruiz, Henry Murcia, Hugo Barrera, Jorge Castillo, Francis Melchor porque siempre estuvieron a mi lado y siguen siendo los mejores amigos.

### **Mis primos**

Juan Fernando, Estuardo, Pablo Roberto y Andrés Cardona, Sergio Maldonado, Ana Lucia, Claudia y Hugo Herrera, Francis, José Carlos y María José Castillo, Erica, Pilar, Dora, Marcos y Cristian Recinos, María Fernando Castillo, Elisa y Hugo José Cajas, por todo el cariño mostrado en todo momentos.

### **Mis amigas de la infancia**

Ana Esther, Ana Lucia Díaz y Nancy Karina, quienes crecimos juntos y compartimos experiencias importantes para madurar en la vida.

### **Ingeniero**

Ronal Herrera, por haberme asesorado y apoyado en toda mi etapa final de formación como profesional.

**Ingeniero**

Federico Salazar, por haber compartido conmigo sus conocimientos y experiencia.

**Ingeniero**

Daniel Ramírez, por apoyarme en mi primera experiencia laboral aplicando conocimiento de ingeniería.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTADE SÍMBOLOS.....	XI
GLOSARIO.....	XIII
RESUMEN.....	XXI
OBJETIVOS.....	XXV
HIPÓTESIS.....	XXVII
INTRODUCCIÓN.....	XXIX
1.ANTECEDENTES.....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1.Clasificación de las aguas residuales.....	3
2.2.Características físico-químicas.....	4
2.3. Características biológicas.....	5
2.4. Aguas residuales industriales.....	5
2.5.Contaminación característica de la industria.....	7
2.6.Aguas residuales de la industria papelera.....	7
2.7. Etapas del tratamiento físico-químico.....	9
2.7.1.Coagulación.....	9
2.7.2.Decantación o flotación.....	13
2.8. Ensayo de laboratorio. Método “Jar - Test”.....	14
3. DISEÑO METODOLÓGICO.....	15
3.1.Variables.....	15

3.2.Delimitación del campo de estudio.....	17
3.3. Recursos humanos disponibles.....	17
3.4.Recursos materiales disponibles.....	18
3.5.Procedimiento para recolección y análisis de resultados.....	19
3.6.Técnica cuantitativa para la determinación de la demanda química y bioquímica de oxígeno.....	21
3.6.1.Análisis de la demanda química de oxígeno.....	21
3.6.2.Análisis de la demanda bioquímica de oxígeno.....	24
3.7.Recolección y ordenamiento de la información.....	27
3.8.Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	31
3.8.1.La determinación de la demanda química de oxígeno se realizó según el procedimiento descrito en la sección 3.5.1.....	31
3.8.2.La determinación de la demanda bioquímica de oxígeno se realizó según el procedimiento descrito en la sección 3.5.2.....	32
3.8.3.Porcentaje de remoción de DQO.....	33
3.8.4.Porcentaje de remoción de DBO.....	34
3.8.5.Índice de biodegradabilidad.....	35
3.8.6.Varianza para el DQO, DBO, porcentaje de remoción e índice de biodegradabilidad con sulfato de aluminio y cloruro férrico.....	36
3.8.7.Desviación estándar para el DQO, DBO, porcentaje de remoción e índice de biodegradabilidad con sulfato de aluminio y cloruro férrico.....	37
3.8.8. Análisis de Significancia estadística para cada uno de los coagulantes utilizados.....	38
3.9.Análisis estadístico.....	39

4.	RESULTADOS.....	69
4.1.	Caracterización de los parámetros fisicoquímicos según Acuerdo No. 236-2006.....	69
4.2.	Comparación de los parámetros fisicoquímicos obtenidos con los límites máximos según Acuerdo No. 236-2006.....	76
4.3.	Evaluación de la capacidad coagulante mediante el porcentaje de remoción.....	83
4.4.	Índice de biodegradabilidad en función de la relación DQO/DBO.....	89
4.5.	Evaluación del grado de significancia en base a la menor demanda química y bioquímica obtenida.....	95
4.6.	Prueba t de student para determinar el grado de significancia estadística.....	103
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	107
	CONCLUSIONES.....	116
	RECOMENDACIONES.....	118
	REFERENCIAS.....	121
	BIBLIOGRAFÍA.....	123
	APÉNDICES.....	125
	ANEXOS.....	127





## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1. Procedimiento de toma de muestras y análisis de resultados.....	19
2. Disminución de la demanda química de oxígeno sulfato de aluminio - cloruro férrico.....	101
3. Disminución de la demanda bioquímica de oxígeno sulfato de aluminio - cloruro férrico.....	102

### TABLAS

I. Definición de las variables a utilizar.....	15
II. Variables a manipular.....	16
III. Variables de respuesta.....	16
IV. Relación DBO –volumen de muestra.....	26
V. Datos iniciales de la muestra.....	27
VI. Demanda química y bioquímica de oxígeno para sulfato de aluminio.....	27
VII. Continuación demanda química y bioquímica de oxígeno para sulfato de aluminio.....	28
VIII. Demanda química y bioquímica de oxígeno para cloruro férrico.....	29
IX. Continuación demanda química y bioquímica de oxígeno para cloruro férrico.....	30

X.	Desviación estándar y varianza de DQO para 100mg/l de sulfato de aluminio.....	39
XI.	Desviación estándar y varianza de DQO para 200 mg/l de sulfato de aluminio.....	40
XII.	Desviación estándar y varianza de DQO para 400 mg/l de sulfato de aluminio.....	41
XIII.	Desviación estándar y varianza de DBO para 100 mg/l de sulfato de aluminio.....	42
XIV.	Desviación estándar y varianza de DBO para 200 mg/l de sulfato de aluminio.....	43
XV.	Desviación estándar y varianza de DBO para 400 mg/l de sulfato de aluminio.....	44
XVI.	Desviación estándar y varianza de porcentaje de remoción de DQO para 100 mg/l de sulfato de aluminio.....	45
XVII.	Desviación estándar y varianza de porcentaje de remoción de DQO para 200 mg/l de sulfato de aluminio.....	46
XVIII.	Desviación estándar y varianza de porcentaje de remoción de DQO para 400 mg/l de sulfato de aluminio.....	47
XIX.	Desviación estándar y varianza de porcentaje de remoción de DBO para 100 mg/l de sulfato de aluminio.....	48
XX.	Desviación estándar y varianza de porcentaje de remoción de DBO para 200 mg/l de sulfato de aluminio.....	49
XXI.	Desviación estándar y varianza de porcentaje de remoción de DBO para 400 mg/l de sulfato de aluminio.....	50
XXII.	Desviación estándar y varianza del índice de biodegradabilidad 100 mg/l de sulfato de aluminio.....	51
XXIII.	Desviación estándar y varianza del índice de biodegradabilidad 200 mg/l de sulfato de aluminio.....	52

XXIV.	Desviación estándar y varianza del índice de biodegradabilidad 400 mg/l de sulfato de aluminio.....	53
XXV.	Desviación estándar y varianza de DQO para 100mg/l de cloruro férrico.....	54
XXVI.	Desviación estándar y varianza de DQO para 200mg/l de cloruro férrico.....	55
XXVII.	Desviación estándar y varianza de DQO para 400mg/l de cloruro férrico.....	56
XXVIII.	Desviación estándar y varianza de DBO para 100mg/l de cloruro férrico.....	57
XXIX.	Desviación estándar y varianza de DBO para 200mg/l de cloruro férrico.....	58
XXX.	Desviación estándar y varianza de DBO para 400mg/l de cloruro férrico.....	59
XXXI.	Desviación estándar y varianza de porcentaje de remoción de DQO para 100 mg/l de cloruro férrico.....	60
XXXII.	Desviación estándar y varianza de porcentaje de remoción de DQO para 200 mg/l de cloruro férrico.....	61
XXXIII.	Desviación estándar y varianza de porcentaje de remoción de DQO para 400 mg/l de cloruro férrico.....	62
XXXIV.	Desviación estándar y varianza de porcentaje de remoción de DBO para 100 mg/l de cloruro férrico.....	63
XXXV.	Desviación estándar y varianza de porcentaje de remoción de DBO para 200 mg/l de cloruro férrico.....	64
XXXVI.	Desviación estándar y varianza de porcentaje de remoción de DBO para 400 mg/l de cloruro férrico.....	65
XXXVII.	Desviación estándar y varianza del índice de biodegradabilidad 100 mg/l de cloruro férrico.....	66

XXXVIII.	Desviación estándar y varianza del índice de biodegradabilidad 200 mg/l de cloruro férrico.....	67
XXXIX.	Desviación estándar y varianza del índice de biodegradabilidad 400 mg/l de cloruro férrico.....	68
XL.	Caracterización de los parámetros fisicoquímicos del efluente original.....	69
XLI.	Caracterización de los parámetros fisicoquímicos sulfato de aluminio 100 mg/l.....	70
XLII.	Caracterización de los parámetros fisicoquímicos sulfato de aluminio 200 mg/l.....	71
XLIII.	Caracterización de los parámetros fisicoquímicos sulfato de aluminio 400 mg/l.....	72
XLIV.	Caracterización de los parámetros fisicoquímicos cloruro férrico 100 mg/l.....	73
XLV.	Caracterización de los parámetros fisicoquímicos cloruro férrico 200 mg/l.....	74
XLVI.	Caracterización de los parámetros fisicoquímicos cloruro férrico 400 mg/l.....	75
XLVII.	Comparación con límites máximos permisibles efluente original.....	76
XLVIII.	Comparación con límites máximos permisibles sulfato de aluminio 100 mg/l.....	77
XLIX.	Comparación con límites máximos permisibles sulfato de aluminio 200 mg/l.....	78
L.	Comparación con límites máximos permisibles sulfato de aluminio 400 mg/l.....	79
LI.	Comparación con límites máximos permisibles cloruro férrico 100 mg/l.....	80

LII.	Comparación con límites máximos permisibles cloruro férrico 200 mg/l.....	81
LIII.	Comparación con límites máximos permisibles cloruro férrico 400 mg/l.....	82
LIV.	Porcentajes de remoción demanda química y bioquímica de oxígeno para 100 mg/l de sulfato de aluminio.....	83
LV.	Porcentajes de remoción demanda química y bioquímica de oxígeno para 200 mg/l de sulfato de aluminio.....	84
LVI.	Porcentajes de remoción demanda química y bioquímica de oxígeno para 400 mg/l de sulfato de aluminio.....	85
LVII.	Porcentajes de remoción demanda química y bioquímica de oxígeno para 100 mg/l de cloruro férrico.....	86
LVIII.	Porcentajes de remoción demanda química y bioquímica de oxígeno para 200 mg/l de cloruro férrico.....	87
LIX.	Porcentajes de remoción demanda química y bioquímica de oxígeno para 400 mg/l de cloruro férrico.....	88
LX.	Índice de biodegradabilidad para 100 mg/l de sulfato de aluminio.....	89
LXI.	Índice de biodegradabilidad para 200 mg/l de sulfato de aluminio.....	90
LXII.	Índice de biodegradabilidad para 400 mg/l de sulfato de aluminio.....	91
LXIII.	Índice de biodegradabilidad para 100 mg/l de cloruro férrico.....	92
LXIV.	Índice de biodegradabilidad para 200 mg/l de cloruro férrico.....	93
LXV.	Índice de biodegradabilidad para 400 mg/l de cloruro férrico.....	94

LXVI.	Demanda química y bioquímica de oxígeno utilizando 100 mg/l de sulfato de aluminio como coagulante.....	95
LXVII.	Demanda química y bioquímica de oxígeno utilizando 200 mg/l de sulfato de aluminio como coagulante.....	96
LXVIII.	Demanda química y bioquímica de oxígeno utilizando 400 mg/l de sulfato de aluminio como coagulante.....	97
LXIX.	Demanda química y bioquímica de oxígeno utilizando 100 mg/l de cloruro férrico como coagulante.....	98
LXX.	Demanda química y bioquímica de oxígeno utilizando 200 mg/l de cloruro férrico como coagulante.....	99
LXXI.	Demanda química y bioquímica de oxígeno utilizando 400 mg/l de cloruro férrico como coagulante.....	100
LXXII.	Grado de significancia estadística para la demanda química de oxígeno utilizando 100mg/l de cada coagulante.....	103
LXXIII.	Grado de significancia estadística para la demanda química de oxígeno utilizando 200mg/l de cada coagulante.....	103
LXXIV.	Grado de significancia estadística para la demanda química de oxígeno utilizando 400mg/l de cada coagulante.....	104
LXXV.	Grado de significancia estadística para la demanda bioquímica de oxígeno utilizando 100mg/l de cada coagulante.....	104
LXXVI.	Grado de significancia estadística para la demanda bioquímica de oxígeno utilizando 200mg/l de cada coagulante.....	105
LXXVII.	Grado de significancia estadística para la demanda bioquímica de oxígeno utilizando 400mg/l de cada coagulante.....	105

## LISTADE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
$X_i$	Cada uno de los datos
<b>I</b>	Corriente o Amperaje(A)
<b><math>\Delta</math></b>	Delta
<b>DBO</b>	Demanda bioquímica y oxígeno (mg/l)
<b>DQO</b>	Demanda bioquímica y oxígeno(mg/l)
<b>S</b>	Desviación estándar(mg/l)
<b>X</b>	Media Aritmética (mg/l)
<b><math>\Sigma</math></b>	Sumatoria (mg/l)
<b>°C</b>	Temperatura (°C)
<b><math>\sigma^2</math></b>	Varianza
<b>V</b>	Voltaje (V)





## GLOSARIO

### **Aceite**

Término genérico para designar numerosos líquidos grasos de orígenes diversos que no se disuelven en el agua y que tienen menor densidad que ésta.

### **Aguas residuales**

Materiales derivados de residuos domésticos o de procesos industriales, los cuales por razones de salud pública y por consideraciones de recreación económica y estética, no pueden desecharse vertiéndolas sin tratamiento en lagos o corrientes convencionales.

### **Cloruro férrico**

Compuesto químico utilizado a escala industrial perteneciente al grupo de los haluros metálicos, cuya fórmula es  $\text{FeCl}_3$ . el cloruro férrico en solución al 40%, es un coagulante para tratamiento de aguas y efluentes.

<b>Coagulante</b>	Sustancia que favorece la separación de una fase insoluble en agua por medio de sedimentación. El coagulante es un compuesto químico que inestabiliza la materia suspendida en forma coloidal, a través de la alteración de la capa iónica cargada eléctricamente que rodea a las partículas coloidales.
<b>Coloide</b>	Sistema físico-químico formado por dos o más fases, principalmente éstas son: una continua y otra dispersa.
<b>Compuestos inorgánicos</b>	Compuestos que están formados por distintos elementos, pero en los que su componente principal no siempre es el carbono, siendo el agua el más abundante.
<b>Compuestos orgánicos</b>	Sustancias químicas que contienen carbono, formando enlaces carbono – carbono o carbono – hidrogeno. En muchos casos contienen oxígeno, nitrógeno, azufre, fósforo, boro, halógenos y otros elementos.
<b>Concentración</b>	Proporción o relación que hay entre la cantidad de soluto y la cantidad de disolvente, donde el soluto es la sustancia que se disuelve, el disolvente la sustancia que disuelve al soluto.

<b>Decantación</b>	Método físico de separación de mezclas heterogéneas, éstas pueden ser formadas por un líquido y un sólido, o por dos líquidos. Es necesario dejarla reposar para que el líquido se sedimente.
<b>Demanda bioquímica de oxígeno</b>	Parámetro que mide la cantidad de materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, disuelta o en suspensión.
<b>Demanda química de oxígeno</b>	Parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o suspensión en una muestra líquida.
<b>Desviación estándar</b>	Medida de centralización o dispersión para variables de razón y de intervalo, de gran utilidad en la estadística descriptiva.
<b>Eficiencia</b>	Capacidad de disponer de alguien o de algo para conseguir un efecto determinado. No debe confundirse con eficacia que se define como la capacidad de lograr el efecto que se desea o se espera.

<b>Efluente</b>	La salida o flujos salientes de cualquier sistema que despacha flujos de agua, a un tanque de oxidación, a un tanque para un proceso de depuración biológica del agua, etc.
<b>Electrolito</b>	Cualquier sustancia que contiene iones libres, los que se comportan como un medio conductor eléctrico.
<b>Equipo de jarras</b>	Equipo floculador, provisto de cuatro, cinco ó seis puntos de agitación, que permite agitar simultáneamente, a una velocidad determinada, el líquido contenido en una serie de vasos.
<b>Experimento</b>	Procedimiento mediante el cual se trata de comprobar una o varias hipótesis relacionadas con un determinado fenómeno, mediante la manipulación de una o más variables que presumiblemente son su causa.
<b>Grasa</b>	Compuestos orgánicos que están formados de carbono, hidrógeno y oxígeno, y son la fuente de energía en los alimentos. Las grasas pertenecen al grupo de las sustancias llamadas lípidos y vienen en forma líquida o sólida.

<b>Hipótesis</b>	Proposición aceptable que ha sido formulada a través de la recolección de información y datos, aunque no está confirmada sirve para responder de forma tentativa a un problema con base científica.
<b>Homogenización</b>	Término que connota un proceso por el que se hace que una mezcla presente las mismas propiedades en toda la sustancia.
<b>Índice de biodegradabilidad</b>	Relación entre la demanda química de oxígeno y la demanda bioquímica de oxígeno, si el cociente se encuentra en un rango de 1,7 a 2,4 se considera efluente tratable por vía biológica.
<b>Muestra</b>	Subconjunto de casos o individuos de una población estadística. Se obtienen con la intención de inferir propiedades de la totalidad de la población, para lo cual deben ser representativas de la misma.
<b>Oxidación</b>	Reacción química a partir de la cual un átomo, ión o molécula cede electrones; entonces se dice que aumenta su estado de oxidación.

<b>pH</b>	Medida de la acidez o alcalinidad de una solución. El pH indica la concentración de iones hidronio $[H_3O^+]$ presentes en determinadas sustancias.
<b>Porcentaje de remoción</b>	Relación en porcentaje de la disminución de la demanda química y bioquímica de oxígeno obtenida respecto a los valores iniciales de la muestra.
<b>Precipitado</b>	Sólido que se produce en una disolución por efecto de una reacción química o bioquímica.
<b>Reactivo</b>	Sustancia que interactúa con otra en una reacción química que da lugar a otras sustancias de propiedades, características y conformación distinta, denominadas productos de reacción o simplemente productos.
<b>Reflujo</b>	Técnica experimental de laboratorio para el calentamiento de reacciones que transcurren a temperatura superior a la ambiente y en las que conviene mantener un volumen de reacción constante.

<b>Sal</b>	Compuesto químico formado por cationes enlazados a aniones. Son el producto típico de una reacción química entre una base y un ácido, la base proporciona el catión y el ácido el anión.
<b>Solubilidad</b>	Medida de la capacidad de una determinada sustancia para disolverse en otra.
<b>Sulfato de aluminio</b>	Sal de fórmula $Al_2(SO_4)_3$ , es sólido y blanco. Es ampliamente usada en la industria, comúnmente como floculante en la purificación de agua potable y en la industria del papel.
<b>Tratamiento de aguas residuales</b>	Consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en el agua efluente del uso humano.
<b>Varianza</b>	Medida de su dispersión definida como la esperanza del cuadrado de la desviación de dicha variable respecto a su media.





## RESUMEN

En el estudio realizado se procedió a evaluar la capacidad que tienen el sulfato de aluminio y cloruro férrico para disminuir la demanda química (DQO) y bioquímica (DBO) de oxígeno, mediante los resultados obtenidos de un tratamiento con cada coagulante a tres concentraciones diferentes, variando el tiempo de contacto y velocidad de agitación. La eficiencia de cada coagulante se determinó evaluando bajo las mismas condiciones de pH del agua, concentración de coagulante, tiempo de contacto y velocidad de agitación, cuál de los dos coagulantes estudiados presenta la menor demanda química y bioquímica de oxígeno al final del proceso y por tanto el mayor porcentaje de remoción de estos parámetros respecto al efluente original.

De los resultados obtenidos, el efluente tratado con el coagulante sulfato de aluminio presenta la menor demanda química y bioquímica de oxígeno, así como el mayor porcentaje de reducción de estos dos parámetros, a una concentración de 200mg/l, obteniendo una DQO promedio de 419,8 mg/l y DBO promedio de 219,3mg/l, lo que representa que es 28,95% mayor la remoción que utilizando cloruro férrico como coagulante.

El índice de biodegradabilidad del efluente tratado con los coagulantes no se ve alterado respecto al índice de biodegradabilidad del efluente original, y éste para todos los casos se encuentra en un rango de 1,7 - 2,4.



## **ABSTRAC**

In the study were assessed the ability of aluminum sulfate and ferric chloride to reduce chemical oxygen demand (COD) and biochemical (BOD) of oxygen, using the results of each coagulant treatment at three different concentrations varying the contact time and stirring rate. The efficiency of each coagulant was determined under the same conditions to assess water pH, coagulant concentration, contact time and stirring speed, which one has the lowest coagulant demand studied chemistry and biochemistry of oxygen at the end of the process and both the highest percentage of removal of these parameters with respect to the original effluent.

At the end we evaluated the biodegradability criteria for each coagulant and compared with the limits set by the Government Agreement 236-2006. From the results, the effluent treated with coagulant aluminum sulfate has the lowest demand for chemical and biochemical oxygen as well as the larger proportion of these two parameters, at a concentration of 200mg / l, obtaining an average of 419,8 COD mg / l BOD average of 219,3mg / l, which is 28,95% which is higher than the removal using ferric chloride as a coagulant.

The rate of biodegradability of the effluent treated with coagulants is not altered compared to the rate of biodegradation of the original effluent, and this for all cases in a range of 1,7 – 2,4.



## **OBJETIVOS**

### **GENERAL**

Evaluar la eficiencia a nivel laboratorio de dos coagulantes inorgánicos comerciales para utilizarse en el tratamiento de aguas residuales provenientes del proceso de producción de aceites y grasas comestibles.

### **ESPECÍFICOS**

1. Caracterizar los parámetros fisicoquímicos del efluente original y los efluentes tratados con cada uno de los dos coagulantes comerciales seleccionados, según el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 “Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos”.
2. Comparar los resultados obtenidos de la caracterización con los límites máximos permisibles establecidos en el Acuerdo Gubernativo 236-2006.
3. Evaluar la capacidad coagulante/floculante de 2 agentes coagulantes comerciales inorgánicos mediante la prueba de jarras adaptada y referida para el cumplimiento de la norma cepis en base del porcentaje de remoción de la demanda química de oxígeno y en función de 3 concentraciones de cada uno de los coagulantes y el tiempo de residencia.

4. Evaluar el criterio de biodegradabilidad en función de la relación DQO / DBO referidas bajo el Artículo 18 y 19 del Acuerdo Gubernativo 236-2006.
5. Evaluar el grado de significancia mediante un estudio estadístico de los 2 tipos de tratamientos realizados en función de la demanda química y bioquímica de oxígeno obtenidas.

# HIPÓTESIS

## Hipótesis de Trabajo

El coagulante sulfato de aluminio es más eficiente que el coagulante cloruro férrico para la disminución de la demanda química y bioquímica de oxígeno respecto al efluente original.

## Hipótesis estadística

- Hipótesis nula ( $H_0$ ): no existe diferencia significativa en el porcentaje de remoción de la demanda química y bioquímica de oxígeno bajo las mismas condiciones obtenido entre cada uno de los 2 coagulantes estudiados.
- Hipótesis alterna ( $H_1$ ): si existe diferencia significativa en el porcentaje de remoción de la demanda química y bioquímica de oxígeno bajo las mismas condiciones obtenido entre cada uno de los 2 coagulantes estudiados.





## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, muy pocas industrias manejan de manera correcta la contaminación que envían a los mantos acuáticos de nuestro país. Existen diversas formas de tratar este problema, por ejemplo con filtración de sólidos, tratamiento microbiológico, tratamiento fisicoquímico, tratamiento biológico, entre otros.

La mayor parte de las industrias se inclinan a un tratamiento fisicoquímico de las aguas residuales que ellos manejan, debido a disponibilidad de espacios y costos de operación principalmente. Una de las maneras más efectivas para realizar este tratamiento es mediante la aplicación de productos químicos que insolubilizan y agrupan el material contaminante presente en el agua. A este tipo de productos químicos conocen como coagulante y floculante respectivamente, hoy en día existe una amplia variedad y aplicaciones en este tipo de productos.

En general, para realizar un tratamiento fisicoquímico de aguas residuales, primero se debe de caracterizar el agua a tratar.

La caracterización consiste, principalmente, en determinar qué tipo de contaminantes están presentes en el agua: ya sea orgánicos, inorgánicos o ambos, establecer los parámetros de demanda biológica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO) en el agua a tratar, pH, sólidos suspendidos, color y turbidez. Luego realizar una etapa de experimentación a nivel laboratorio donde se determinará el coagulante adecuado a utilizar, esto mediante la observación del agua, medición de la demanda química y biológica

de oxígeno final y determinación de la cantidad adecuada a utilizar, ya que al dosificar la cantidad óptima del producto adecuado al agua, visualmente se observarán pequeños puntos o coágulos que se formarán y se obtendrán niveles bajos de DQO y DBO.

Para poder medir de forma precisa la DQO y DBO se deben realizar varias corridas, por lo que el equipo que se utilizará para este fin cuenta con cuatro divisiones que trabajan de forma simultánea, de igual forma se modificará el tiempo de contacto coagulante-agua, es decir el tiempo de agitación y por último se variará la cantidad de coagulante a utilizar, esto dará como resultado que para cada una de las tres cantidades de coagulante que se utilizarán, se obtendrán 16 valores de DQO y DBO.

El desarrollo experimental se realizará con el equipo de jarras que se muestra en la imagen del apéndice 3 y la medición de la demanda química y biológica de oxígeno se trabajarán en conjunto con los investigadores auxiliares y asesor de trabajo de graduación.

Toda la etapa de experimentación se realizará con coagulantes que se encuentren disponibles en el mercado.

## 1. ANTECEDENTES

El experimento es una serie de procedimientos para verificar la hipótesis de trabajo. Sobre la base de la hipótesis, se diseñó el experimento de forma que el objeto de estudio tenga la posibilidad de comportarse de acuerdo con la hipótesis o no. El método está así sólidamente anclado en la teoría existente y es posible sólo cuando ya se conoce el objeto bastante bien desde el comienzo y sólo se requiere depurar el conocimiento, por ejemplo, estableciendo asociaciones cuantitativas entre variables. El procedimiento ha de ser repetido al menos una vez, para poder comprobar al menos dos valores distintos de la variable independiente y saber si tienen algún efecto sobre la variable dependiente. Pero puede que se necesiten muchos más experimentos si las hipótesis incluyen más de dos variables, si la relación causal que se está comprobando es muy débil o si hay perturbaciones.

La experimentación en un equipo de jarras adaptado está basada en la obtención de datos a partir de condiciones iniciales constantes y modificación de las variables de control tal como concentración, tiempo de contacto y velocidad de agitación para poder obtener las muestras necesarias que posteriormente se evaluarán para determinar la demanda química y bioquímica de oxígeno y así comprobar una o varias hipótesis previamente planteadas.

Diversos estudios relacionados al uso de coagulantes para el tratamiento de aguas se han realizado alrededor del mundo debido a la importancia que tienen los coagulantes en el manejo de aguas residuales, como para aguas de consumo, entre los cuales cabe mencionar los siguientes:

En el 2000, Andía Carnes publicó un artículo de tema “Tratamiento de Agua, Coagulación y floculación”. Este artículo describe el estudio sobre la comparación en el uso de diversos tipos de coagulantes para el tratamiento de aguas que luego será distribuida a toda la red de agua potable de la ciudad de Lima Perú. En este artículo se demuestra la ventaja de utilizar un floculantes en conjunto con un coagulante en el tratamiento de aguas residuales, tanto para optimizar el tiempo de sedimentación como para generar menor cantidad de lodos.

En el 2009, Restrepo Osorno realizó un estudio titulado “Tratamiento de Agua, Coagulación y floculación”. Dicho estudio fue realizado a nivel laboratorio para conocer el comportamiento de una serie de coagulantes y floculantes seleccionados en el tratamiento de aguas residuales provenientes de las descargas de aguas negras en la ciudad de Colombia. Para todas los análisis efectuados se obtiene que los coagulantes ayudan a disminuir la demanda química de oxígeno más no la demanda bioquímica de oxígeno por lo que se concluyó que es necesario realizar una segunda etapa después de utilizar un coagulante en el proceso.

En el 2007, Escobar R. definió en su estudio Tratamiento primario avanzado (tpa) de aguas residuales –diagramas de coagulación – floculación y variables operativas” cuáles son las variables más importantes que se deben definir al momento de realizar un estudio de aguas residuales utilizando coagulantes y de esta manera poder obtener la información primordial para caracterizar de manera adecuada el efluente a estudiar.

## **2. MARCO TEÓRICO**

Parece evidente que las características de un determinado tipo de agua que va a ser utilizada para un uso concreto serán diferentes, o cuanto menos, no tienen por qué ser idénticas para el agua destinada a otro fin.

En cualquier caso, el control analítico exhaustivo, sistemático y periódico de un agua viene impuesto por dos condicionantes de tipo general:

- Contrastación y comprobación de sus características físicas
- Complementando y apoyando lo anterior con fuerza para ser exigido legalmente, se encuadra el aspecto relativo a regulaciones, normativas y leyes de diferentes ámbito territorial de aplicación que han de ser inexcusablemente cumplidas en cuanto al control de la calidad del producto “agua”

### **2.1. Clasificación de las aguas residuales**

Agua residual: aquella que procede de haber utilizado un agua natural, o de la red, en un uso determinado. Las aguas residuales cuando se desaguan se denominan “vertidos” y éstos pueden clasificarse en función:

- Del uso prioritario u origen
- De su contenido en determinados contaminantes

Los vertidos residuales arrastran compuestos con los que las aguas han estado en contacto. Estos compuestos pueden ser:

a) Según su naturaleza:

- Conservativos: su concentración en el río depende exactamente de la ley de la dilución del caudal del vertido al del río.
- No conservativos: su concentración en el río no está ligada directamente a la del vertido. Son todos los compuestos orgánicos e inorgánicos que pueden alterarse en el río por vía física, química o biológica (NH<sub>4</sub>, fenoles, materia orgánica).

Además, entre los compuestos existen fenómenos de tipo:

- Antagonismo: ejemplo dureza (al Zn)
- Sinergismo: ejemplo escasez de O(al Zn)

A continuación se va a realizar una descripción de los principales tipos de Aguas Residuales.

## **2.2.Características físico-químicas**

La temperatura de las aguas residuales oscila entre 10-20 °C. Además de las cargas contaminantes en materias en suspensión y materias orgánicas, las aguas residuales contienen otros muchos compuestos como nutrientes (N y P), cloruros, detergentes, cuyos valores orientativos de la carga por habitante y día son:

- N amoniacal: 3-10 gr/hab/d
- N total: 6.5-13 gr/hab/d
- P ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) ; 4-8 gr/hab/d
- Detergentes : 7-12 gr/hab/d

### **2.3. Características biológicas**

En las aguas residuales van numerosos microorganismos, unos patógenos y otros no. Entre los primeros cabe destacar los virus de la Hepatitis. Por ejemplo en 1g de heces de un enfermo existen entre 10-10<sup>6</sup> dosis infecciosas del virus de la hepatitis.

### **2.4. Aguas residuales industriales**

Son las que proceden de cualquier taller o negocio en cuyo proceso de producción, transformación o manipulación se utilice el agua, incluyéndose los líquidos residuales, aguas de proceso y aguas de refrigeración.

- Líquidos residuales: los que se derivan de la fabricación de productos, siendo principalmente disoluciones de productos químicos tales como lejías negras, los baños de curtido de pieles, las melazas de la producción de azúcar, los alpechines
- Aguas de refrigeración indirecta: no han entrado en contacto con los productos y por tanto la única contaminación que arrastran es su temperatura

Clasificación de las Industrias según sus vertidos:

Se clasifican en varios grupos de acuerdo con los contaminantes específicos que arrastran las aguas residuales.

- Industrias con efluentes principalmente orgánicos
  - Papeleras
  - Azucareras
  - Mataderos
  - Conservas (vegetales, carnes, pescado...)
  - Lecherías y subproductos (leche en polvo, mantequilla...)
  - Preparación de productos alimenticios (aceites y otros )
  - Bebidas
  
- Industrias con efluentes orgánicos e inorgánicos
  - Refinerías y petroquímicas
  - Coquerías
  - Textiles
  - Fabricación de productos químicos, varios
  
- Industrias con efluentes principalmente inorgánicos
  - Limpieza y recubrimiento de metales
  - Explotaciones mineras y salinas
  - Fabricación de productos químicos, inorgánicos
  
- Industrias con efluentes con materias en suspensión
  - Lavaderos de mineral y carbón
  - Corte y pulido de mármol y otros minerales
  - Laminación en caliente y colada continua



## **2.5. Contaminación característica de la industria**

Cada actividad industrial aporta una contaminación determinada por lo que es conveniente conocer el origen del vertido industrial para valorar su carga contaminante e incidencia en el medio receptor. Cuando se conoce el origen del vertido, el número de parámetros que definen la carga contaminante del mismo es reducido.

- Características medias típicas de las aguas residuales de algunas industrias

No obstante las dificultades que existen para establecer unos valores para las características de las aguas residuales, a continuación se mencionan como orientación los valores más frecuentes para algunas industrias.

## **2.6. Aguas residuales de la industria papelera**

- Color
  - Materia en suspensión y decantable
  - DBO u otra que nos defina la materia orgánica
  - En algunos casos el pH
- 
- Refinerías
    - Aceites
    - DBO u otra que nos defina la materia orgánica
    - Fenoles
    - Amoniaco
    - Sulfuros

La presencia en el agua de muchas sustancias sólidas constituye la parte más importante y aparente de la contaminación. Debe eliminarse esta parte sólida para evitar gran número de inconvenientes, de los cuales los más importantes son la obstrucción de conducciones, abrasión de bombas, desgaste de materiales, etc, puesto que todo esto incide en los costes de explotación o de mantenimiento.

El tamaño de las partículas contaminantes presentes en el agua es muy variado. Hay sólidos que por su tamaño pueden observarse a simple vista en el agua y dejando la suspensión en reposo, se pueden separar bien por decantación bajo la influencia de la gravedad o bien por flotación, dependiendo de las densidades relativas del sólido y del agua.

Sin embargo, hay otras partículas muy finas de naturaleza coloidal denominadas coloides que presentan una gran estabilidad en agua. Tienen un tamaño comprendido entre 0,001 y 1  $\mu\text{m}$  y constituyen una parte importante de la contaminación, causa principal de la turbiedad del agua. Debido a la gran estabilidad que presentan, resulta imposible separarlas por decantación o flotación. Tampoco es posible separarlas por filtración porque pasarían a través de cualquier filtro.

La causa de esta estabilidad es que estas partículas presentan cargas superficiales electrostáticas del mismo signo, que hace que existan fuerzas de repulsión entre ellas y les impida aglomerarse para sedimentar. Estas cargas son, en general, negativas, aunque los hidróxidos de hierro y aluminio las suelen tener positivas.

El tratamiento físico químico del agua residual tiene como finalidad mediante la adición de ciertos productos químicos la alteración del estado físico de estas sustancias que permanecerían por tiempo indefinido de forma estable para convertirlas en partículas susceptibles de separación por sedimentación.

Mediante este tratamiento puede llegar a eliminarse del 80 al 90% de la materia total suspendida, del 40 al 70% de la DBO y del 30 al 40% de la DQO.(Ref. No. 3)

## **2.7. Etapas del tratamiento físico-químico**

Para romper la estabilidad de las partículas coloidales y poderlas separar, es necesario realizar tres operaciones: coagulación, floculación y decantación o flotación posterior.

### **2.7.1. Coagulación**

La coagulación consiste en desestabilizar los coloides por neutralización de sus cargas, dando lugar a la formación de un flóculo o precipitado.

La coagulación de las partículas coloidales se consigue añadiéndole al agua un producto químico (electrolito) llamado coagulante. Normalmente se utilizan las sales de hierro y aluminio.

Se pueden considerar dos mecanismos básicos en este proceso:

➤ Neutralización de la carga del coloide

El electrolito al solubilizarse en agua libera iones positivos con la suficiente densidad de carga para atraer a las partículas coloidales y neutralizar su carga.

Se ha observado que el efecto aumenta marcadamente con el número de cargas del ión coagulante. Así pues, para materias coloidales con cargas negativas, los iones Ba y Mg, bivalentes, son en primera aproximación 30 veces más efectivos que el Na, monovalente; y, a su vez, el Fe y Al, trivalentes, unas 30 veces superiores a los divalentes.

Para los coloides con cargas positivas, la misma relación aproximada existe entre el ión cloruro, Cl<sup>-</sup>, monovalente, el sulfato, (SO<sub>4</sub>)<sup>-2</sup>, divalente, y el fosfato, (PO<sub>4</sub>)<sup>-3</sup>, trivalente.

➤ Inmersión en un precipitado o floculo de barrido

Los coagulantes forman en el agua ciertos productos de baja solubilidad que precipitan. Las partículas coloidales sirven como núcleo de precipitación quedando inmersas dentro del precipitado.

Los factores que influyen en el proceso de coagulación:

➤ pH

El pH es un factor crítico en el proceso de coagulación. Siempre hay un intervalo de pH en el que un coagulante específico trabaja mejor, que coincide con el mínimo de solubilidad de los iones metálicos del coagulante utilizado.

Siempre que sea posible, la coagulación se debe efectuar dentro de esta zona óptima de pH, ya que de lo contrario se podría dar un desperdicio de productos químicos y un descenso del rendimiento de la planta.

Si el pH del agua no fuera el adecuado, se puede modificar mediante el uso de coadyuvantes o ayudantes de la coagulación, entre los que se encuentran:

- Cal viva
- Carbonato sódico
- Sosa Cáustica

➤ Agitación rápida de la mezcla

Para que la coagulación sea óptima, es necesario que la neutralización de los coloides sea total antes de que comience a formarse el floculo o precipitado.

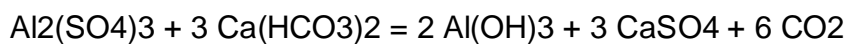
Por lo tanto, al ser la neutralización de los coloides el principal objetivo que se pretende en el momento de la introducción del coagulante, es necesario que el reactivo empleado se difunda con la mayor rapidez posible, ya que el tiempo de coagulación es muy corto (1segundo).

➤ Tipo y cantidad de coagulante

Los coagulantes principalmente utilizados son las sales de aluminio y de hierro. Las reacciones de precipitación que tienen lugar con cada coagulante son las siguientes.(Ref No. 4)

○ Sulfato de aluminio ( $Al_2(SO_4)_3$ )

Cuando se añade sulfato de alúmina al agua residual que contiene alcalinidad de carbonato ácido de calcio y magnesio, la reacción que tiene lugar es la siguiente:

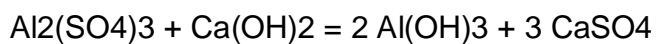


La reacción es análoga cuando se sustituye el bicarbonato cálcico por la sal de magnesio.

Rango de pH para la coagulación óptima: 5-7,5

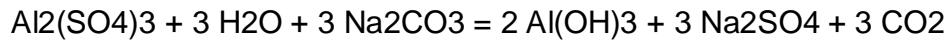
Dosis: en tratamiento de aguas residuales, de 100 a 300 g/m<sup>3</sup>, según el tipo de agua residual y la exigencia de calidad.

▪ Con cal:



Dosis: se necesita de cal un tercio de la dosis de sulfato de alúmina comercial.

- Con carbonato de sodio:



Dosis: se necesita entre el 50 y el 100% de la dosis de sulfato de aluminio comercial.

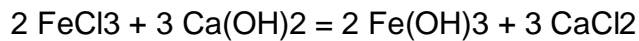
- Cloruro férrico ( $\text{FeCl}_3$ )



Rango de pH para la coagulación óptima: entre 4 y 6, y mayor de 8

Dosis: de 5 a 160 g/m<sup>3</sup> de reactivo comercial  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

- Con cal:



La selección del coagulante y la dosis exacta necesaria en cada caso, sólo puede ser determinada mediante ensayos de laboratorio (*Jar-Test*).

### **2.7.2. Decantación o flotación**

Esta última etapa tiene como finalidad el separar los agregados formados del seno del agua.

## **2.8. Ensayo de laboratorio. Método “Jar - Test”**

Para realizar los ensayos de laboratorio, se utiliza un dispositivo llamado floculador o equipo de jarras provisto de cuatro, cinco ó seis puntos de agitación, que permite agitar simultáneamente, a una velocidad determinada, el líquido contenido en una serie de vasos.

Es importante que durante el ensayo el agua tenga una temperatura próxima a la que tendrá realmente durante su tratamiento en planta.

El agua a clarificar se agita en los distintos vasos, y a continuación, se adiciona el coagulante manteniendo una agitación entre 100 y 150 revoluciones por minuto para que la mezcla sea rápida. Dicha agitación se mantiene durante 1 a 3 minutos.

Posteriormente, se adiciona algún corrector de pH si hiciera falta. A continuación se añade el polielectrolito, agitando rápidamente unos 0,5 y 2 minutos para que se reparta rápidamente e inmediatamente se reduce la agitación entre 35 y 60 revoluciones por minuto para conseguir la maduración y crecimiento flocular. Esta última fase puede durar entre 5 y 10 minutos, pasada la cual se desconecta el agitador. Los flóculos se van depositando, pudiendo variar la duración de la sedimentación entre 5 y 30 minutos.

Después se toma agua clarificada de dichos vasos y se procede a determinar los distintos parámetros que nos dan idea del grado de clarificación obtenido como son DQO, sólidos en suspensión, etc.

Concluidas las distintas pruebas, se determina el volumen del lodo obtenido trasvasando el sedimento cuidadosamente a un cilindro graduado.



### 3. DISEÑO METODOLÓGICO

#### 3.1. Variables

Tabla I. Definición de las variables a utilizar

No.	Variables	Dimensional	Descripción
1	Demanda química de oxígeno	mg/l (miligramo por litro)	La demanda química de oxígeno (DQO) es un parámetro que mide la cantidad de materia orgánica susceptible de ser oxidada por medios químicos que hay en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación.
2	Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l (miligramo por litro)	Parámetro que mide la cantidad de materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, disuelta o en suspensión.
3	Dosificación óptima de coagulante	mg/l (miligramo por litro)	Cantidad adecuada de coagulante para reducir efectivamente la contaminación del agua residual.

Fuente:diseño metodológico, procedimiento.

Tabla II. **Variables a manipular**

<b>No.</b>	<b>Variables</b>	<b>Rango de variación</b>
1	Dosificación óptima de coagulante	100 - 400 mg/l
2	Tiempo de agitación	1 – 2 minutos
3	Velocidad de agitación	60 – 100 revoluciones por minuto

Fuente:diseño metodológico, procedimiento.

Tabla III. **Variables de respuesta**

<b>No.</b>	<b>Variables</b>	<b>Rango de variación</b>
1	Demanda química de oxígeno	0 - 1300 mg/l
2	Demanda bioquímica de oxígeno	0 - 700 mg/l
3	Porcentaje de remoción de la demanda química de oxígeno.	0 – 100

Fuente:Acuerdo Gubernativo 236-2006.

### **3.2.Delimitación del campo de estudio**

El universo de estudio será delimitado a una muestra representativa de 15 galones del efluente original tomada un día normal de trabajo y bajo condiciones estándar de operación, el cual proviene de una industria manufacturera de grasas y aceites comestibles, y evaluada a través de un equipo de jarras adaptado. El equipo consta de las siguientes características:

- Motor de corriente alterna (AC) para generar hasta 180 revoluciones por minuto
- Cuatro secciones rectangulares verticales de 500ml cada una
- Cuatro agitadores de paleta
- Reóstato para regular la velocidad de agitación

### **3.3.Recursos humanos disponibles**

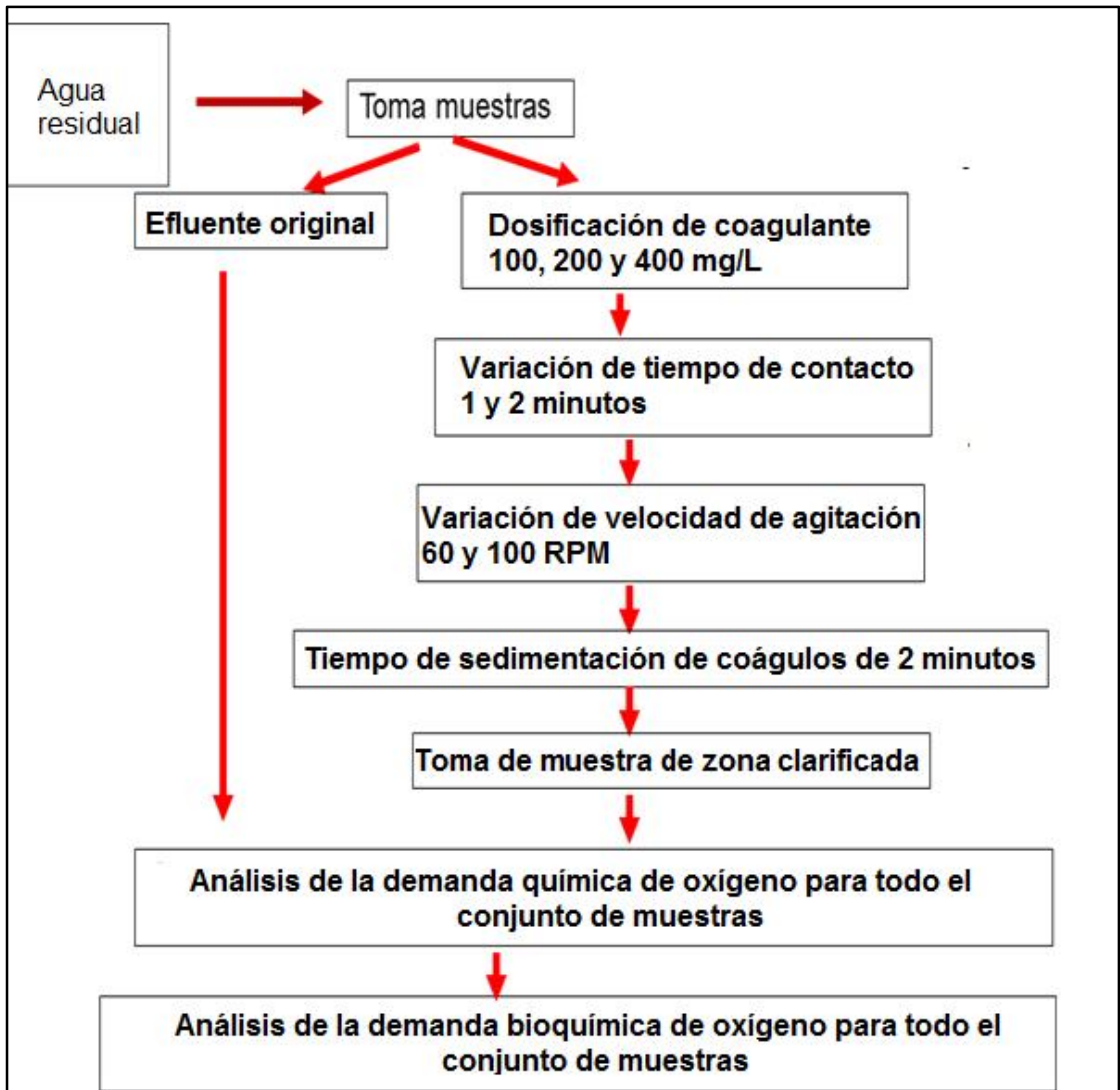
- Investigador: Luis Fernando González Serrano
- Asesor: Ingeniero Químico Ronal Adolfo Herrera Orozco
- Equipo de investigadores auxiliares para el análisis de la DQO y DBO

### 3.4. Recursos materiales disponibles

- Beakers de 500, 250 y 100ml
- Recipiente de 5 galones para tomar muestras
- Varilla de agitación
- Tiras de pH
- Termómetro
- Digestor de DQO
- Digestor de DBO
- Jeringas de 5 y 10 ml
- Reactivos para determinación de DQO
- Reactivos para determinación de DBO
- Equipos auxiliares
- Acido Sulfúrico 10% e hidróxido de sodio al 10% como reguladores de pH
- Equipo de jarras necesario para realizar pruebas a nivel laboratorio
- Colorímetro marca Hach DR/890 necesario para verificar parámetros de control
- Material de estudio: libros de texto referentes al tema presente en la Biblioteca Central de la Universidad de San Carlos
- Equipo computacional: computadora de escritorio

### 3.5. Procedimiento para recolección y análisis de resultados

Figura 1. Procedimiento de toma de muestras y análisis de resultados



Fuente: diseño metodológico.



### **3.6.Técnica cuantitativa para la determinación de la demanda química y bioquímica de oxígeno**

#### **3.6.1. Análisis de la demanda química de oxígeno**

##### Fundamento

La muestra se somete a un calentamiento con reflujo en presencia ácido sulfúrico y una cantidad conocida de dicromato potásico. El exceso de dicromato se valora con sal ferrosa. La cantidad de materia oxidable es proporcional al dicromato potásico consumido. La interferencia de los cloruros se evita con la adición de sulfato mercúrico.

##### Toma de muestra y preservación

Tomar 100 ml de muestra en un recipiente de vidrio. Añadir a continuación 0,1- 0,2 ml de  $\text{SO}_4\text{H}_2$  concentrado. Realizar la determinación dentro de las 24 horas siguientes. Conservar en frigorífico. Antes de realizar la determinación, dejar decantar y tomar la muestra para la misma en la zona central del recipiente.

##### Reactivos

- Solución de sulfato de plata:disolver 6,6 g de  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  cristalizado en  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (concentrado) hasta enrasar a 1 litro
- Solución de hierro (II) 0,025N:disolver 9,8 g de  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$  en 20 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado y diluir a 1 litro con agua destilada

- Solución de dicromato potásico 0,025N: disolver 1,2259 g de  $K_2Cr_2O_7$ , previamente desecado a  $110^\circ C$ , en agua destilada y enrasar a 1 litro
- Solución de ferroína: disolver 1,485 g de 1,10-fenantrolina monohidratada y 0,695 g de  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  en agua destilada y diluir hasta 100 ml
- Sulfato mercúrico sólido

### Material

Material de vidrio tratado con permanganato potásico y ácido sulfúrico, y posteriormente con agua destilada hasta eliminación total de la acidez.

### Valoración de la solución de hierro (II)

- Introducir 25 ml exactamente medidos, de solución de  $K_2Cr_2O_7$  0,025N en un matraz erlenmeyer de 500 ml, y diluir con agua destilada hasta 100ml
- Añadir 75 ml de  $H_2SO_4$  ( $d = 1.84$ ) y dejar enfriar
- Añadir 5-6 gotas de solución de ferroína
- Valorar con la solución 0,025N de Fe (II) hasta viraje del indicador a rojo violáceo
- Calcular la normalidad exacta de la solución:

$$N = \frac{25 \times 0,025}{V} \quad (V = \text{ml consumidos en la valoración})$$

(Ecuación No.1)



## Determinación de la DQO

- Pipetear 50 ml de muestra, o una alícuota convenientemente diluida de la misma, en un matraz erlenmeyer de 500 ml;
- Añadir 1 g de sulfato mercúrico y 5 ml de solución de sulfato de plata. Calentar, si es necesario, hasta disolución;
- Añadir 25 ml de solución de dicromato potásico 0,025N y después 70 ml de solución de sulfato de plata, lentamente y con agitación;
- Calentar a ebullición durante dos horas bajo refrigerante a reflujo adaptado al matraz;
- Dejar enfriar y valorar con la solución de hierro (II) 0,025N, utilizando ferroína como indicador (5-6 gotas);
- Realizar paralelamente una determinación blanco tomando 50 ml de agua destilada y realizando las mismas operaciones que para la muestra;
- Calcular la D.Q.O., en mg de oxígeno por litro, de la siguiente manera, siendo:

$$DQO = \frac{8000 (V_o - V_m) \times N}{V}$$

(Ecuación No. 2)

$V_o$  = volumen de Fe (II) gastado para el blanco

$V_m$  = volumen de Fe (II) gastado para la muestra

$N$  = normalidad de la solución de Fe (II)

$V$  = volumen de muestra (50 ml)

### **3.6.2. Análisis de la demanda bioquímica de oxígeno**

El análisis tiene por objetivo determinar la cantidad de oxígeno que es utilizado por microorganismos aerobios para descomponer, en condiciones bien determinadas, las materias orgánicas contenidas en un agua.

La DBO5 se define como la cantidad de oxígeno consumido por los microorganismos, después de incubación durante 5 días, a 20°C y en la oscuridad.

La botella de digestión se encuentra unida a un manómetro, siendo el volumen de muestra utilizado función de la DBO5 prevista. En el transcurso de la determinación los microorganismos respiran el oxígeno disuelto en el agua de la muestra y a medida que éste se va consumiendo, el oxígeno contenido en el aire de la botella va pasando a la muestra.

En el transcurso de la oxidación de la materia orgánica, se genera dióxido de carbono, que pasa al volumen de aire. En el digestor de goma se encuentra hidróxido de sodio, que retiene el CO<sub>2</sub> y lo elimina del volumen de aire, creándose una depresión en la botella de digestión, la cual es indicada en el manómetro.

#### **Procedimiento**

- Agitar las muestras para homogeneizarlas;
- Transferir un determinado volumen de muestra (ver tabla IV) a las botellas opacas de medida;
- Introducir un imán agitador en cada botella de medida;

- Situar en la boca de cada botella un digestor; Introducir en el digestor una lenteja de hidróxido sódico, cogiéndola con unas pinzas;
- Poner los tapones, pero no roscarlos todavía;
- Poner el motor en marcha. Cerrar el armario termostatzado y dejar reposar el sistema durante 1 hora a 20°C;
- Roscar los tapones hasta que quede estanco;
- Igualar el punto cero de la escala con la parte superior de la columna de mercurio;
- Anotar exactamente la hora del comienzo de la medida. En caso de que la muestra tuviese una temperatura menor de 20°C, en los primeros momentos se obtiene una indicación negativa; abriendo y cerrando los tapones, la columna de mercurio sube hasta situarse en el cero de la escala;
- Después de pasados 5 días, se finaliza la medida; tras haber leído el valor, éste se debe multiplicar por el factor de la cantidad de muestra contenida en la botella;

### Elección del volumen de muestra

Para poder utilizar adecuadamente la escala de medida, es necesario seleccionar el volumen de muestra en función de la DBO5 prevista:

Tabla IV. Relación DBO – volumen de muestra

<b>Rango de DBO5 mg/l</b>	<b>Volumen ml</b>	<b>Factor de multiplicación (a multiplicar con el valor de la escala)</b>
0 – 40	432	1
0 – 80	365	2
0 – 200	250	5
0 – 400	164	10
0 – 800	97	20
0 – 2000	43.5	50
0 - 4000	22.7	100

Fuente: incisos 3.6.1. y 3.6.2. del procedimiento de análisis de la DQO y DBO.

### 3.7.Recolección y ordenamiento de la información

TABLA V. Datos iniciales de la muestra

Volumen de la muestra (gal)	pH. inicial	pH. ajustado	DQO inicial (mg/l)	DBO inicial (mg/l)	Índice de biodegradabilidad
15.0	10.5	7.7	3700.0	1896.0	1.95

Fuente: incisos No. 3.8.1 y 3.8.2 de la sección tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.

TABLA VI. Demanda química y bioquímica de oxígeno para sulfato de aluminio

	Dosificación coagulante (mg/l)	Tiempo de agitación (min)	Velocidad de agitación (rpm)	Demanda química de oxígeno (mg/l)	Demanda bioquímica de oxígeno (mg/l)
<b>Sulfato de aluminio</b>	100	1	60	780.0	395.0
				779.0	395.0
				780.0	394.0
				777.0	395.0
			100	760.0	373.0
				760.0	374.0
				761.0	374.0
				760.0	373.0
		2	60	740.0	348.0
				739.0	349.0
				739.0	348.0
				741.0	348.0
			100	723.0	325.0
				723.0	325.0
				725.0	325.0
				725.0	325.0

Fuente: incisos No. 3.8.1 y 3.8.2 de la sección tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.

**TABLA VII. Continuación demanda química y bioquímica de oxígeno para sulfato de aluminio**

	<b>Dosificación coagulante (mg/l)</b>	<b>Tiempo de agitación (min)</b>	<b>Velocidad de agitación (rpm)</b>	<b>Demanda química de oxígeno (mg/l)</b>	<b>Demanda bioquímica de oxígeno (mg/l)</b>
<b>Sulfato de aluminio</b>	200	1	60	510.0	270.0
				508.0	270.0
				508.0	271.0
				507.0	270.0
			100	495.0	250.0
				495.0	249.0
				495.0	249.0
				495.0	249.0
		2	60	450.0	235.0
				448.0	235.0
				450.0	234.0
				451.0	234.0
			100	420.0	220.0
				420.0	219.0
				419.0	219.0
				420.0	219.0
	400	1	60	673.0	301.0
				674.0	300.0
				674.0	301.0
				674.0	300.0
			100	650.0	297.0
				651.0	298.0
				653.0	298.0
				650.0	297.0
		2	60	599.0	285.0
				600.0	285.0
				598.0	285.0
				598.0	284.0
100	584.0	274.0			
	585.0	275.0			
	585.0	275.0			
	585.0	275.0			

Fuente: incisos No. 3.8.1 y 3.8.2 de la sección tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.

**TABLA VIII. Demanda química y bioquímica de oxígeno para cloruro férrico**

	<b>Dosificación coagulante (mg/l)</b>	<b>Tiempo de agitación (min)</b>	<b>Velocidad de agitación (rpm)</b>	<b>Demanda química de oxígeno (mg/l)</b>	<b>Demanda bioquímica de oxígeno (mg/l)</b>
<b>Cloruro férrico</b>	100	1	60	889.0	447.0
				889.0	446.0
				889.0	446.0
				888.0	446.0
			100	855.0	423.0
				855.0	422.0
				854.0	423.0
		2	60	855.0	423.0
				833.0	412.0
				832.0	412.0
				832.0	410.0
			100	832.0	412.0
				810.0	399.0
				810.0	400.0
	200	1	60	812.0	400.0
				812.0	400.0
				690.0	390.0
				689.0	389.0
			100	690.0	390.0
				690.0	390.0
				670.0	370.0
		2	60	671.0	369.0
				670.0	370.0
				670.0	370.0
				670.0	369.0
			100	640.0	349.0
				639.0	350.0
				639.0	350.0
100	639.0	350.0			
	620.0	335.0			
	619.0	337.0			
	620.0	335.0			
	620.0	335.0			

Fuente: incisos No. 3.8.1 y 3.8.2 de la sección tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.

**TABLA IX. Continuación demanda química y bioquímica de oxígeno para cloruro férrico**

	<b>Dosificación coagulante (mg/l)</b>	<b>Tiempo de agitación (min)</b>	<b>Velocidad de agitación (rpm)</b>	<b>Demanda química de oxígeno (mg/l)</b>	<b>Demanda bioquímica de oxígeno (mg/l)</b>
<b>Cloruro férrico</b>	400	1	60	595.0	310.0
				595.0	309.0
				594.0	309.0
				594.0	309.0
			100	588.0	299.0
				589.0	298.0
				588.0	298.0
				588.0	298.0
		2	60	560.0	285.0
				561.0	285.0
				561.0	284.0
				561.0	285.0
			100	540.0	277.0
				542.0	275.0
				542.0	275.0
				541.0	275.0

Fuente:incisos No. 3.8.1 y 3.8.2 de la sección tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.



### 3.8.Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

#### 3.8.1.La determinación de la demanda química de oxígeno se realizó según el procedimiento descrito en la sección 3.5.1

Ejemplo No.1:

Determinación de la demanda química de oxígeno para una concentración de 100mg/l de sulfato de aluminio, con un tiempo de contacto de 1 minuto y velocidad de mezclado de 60 revoluciones por minuto

$$DQO = \frac{8000 (V_o - V_m) \times N}{V}$$

$$V_o = 55 \text{ ml}$$

$$V_m = 140 \text{ ml}$$

$$N = 0,025 \text{ N}$$

$$V = 50 \text{ ml}$$

$$DQO = \frac{8000 (55\text{ml} - 140\text{ml} \times 0,025\text{N})}{50 \text{ m}}$$

$$50 \text{ m}$$

$$DQO = 780 \text{ mg/l}$$

Nota: los datos de la demanda química de oxígeno obtenidos para sulfato de aluminio y cloruro férrico a las diferentes condiciones de trabajo se encuentran en las tablas V a la IX de la sección recolección y ordenamiento de la información.

**3.8.2. La determinación de la demanda bioquímica de oxígeno se realizó según el procedimiento descrito en la sección 3.5.2**

Ejemplo No. 2:

Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno para una concentración de 100mg/l de sulfato de aluminio, con un tiempo de contacto de 1 minuto y velocidad de mezclado de 60 revoluciones por minuto.

De acuerdo a la tabla IV, para una demanda química de oxígeno de 780 mg/l, se deben utilizar 97ml del efluente a analizar y realizando el procedimiento descrito, se obtiene que la demanda bioquímica de oxígeno después de 5 días es de 395,0 mg/l.

Nota: los datos de la demanda bioquímica de oxígeno obtenidos para sulfato de aluminio y cloruro férrico a las diferentes condiciones de trabajo se encuentran en las tablas V a la IX de la sección recolección y ordenamiento de la información.

### 3.8.3. Porcentaje de remoción de DQO

Para determinar el porcentaje de remoción de DQO tanto para el sulfato de aluminio como para el cloruro férrico se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ remoción} = \frac{\text{DQO}_o - \text{DQO}_f}{\text{DQO}_o} \quad (\text{Ecuación No. 3})$$

Donde:

DQO<sub>o</sub> = DQO en la muestra inicial sin coagulante

DQO<sub>f</sub> = DQO después de aplicar el coagulante

Ejemplo No. 3

Porcentaje de remoción de DQO para 100 mg/l de sulfato de aluminio con un tiempo de 1 minuto a 60 RPM

DQO<sub>o</sub> = 3700 mg/l

DQO<sub>f</sub> = 780 mg/l

$$\% \text{remoción} = \frac{3700 \text{ mg/l} - 780 \text{ mg/l}}{3700 \text{ mg/l}}$$

$$\% \text{remoción} = 78,92\%$$

Nota: los porcentajes de remoción tanto para el sulfato de aluminio como para el cloruro férrico se encuentran en las tablas XVI a XVIII y de XXXI a XXXIII de la sección de análisis estadístico.

### 3.8.4. Porcentaje de remoción de DBO

Para determinar el porcentaje de remoción de DBO tanto para el sulfato de aluminio como para el cloruro férrico se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ remoción} = \frac{\text{DBO}_o - \text{DBO}_f}{\text{DBO}_o} \quad (\text{Ecuación No. 4})$$

Donde:

$\text{DBO}_o$  = DBO en la muestra inicial sin coagulante

$\text{DBO}_f$  = DBO después de aplicar el coagulante

Ejemplo No. 4

Porcentaje de remoción de DBO para 100 mg/l de sulfato de aluminio con un tiempo de 1 minuto a 60 RPM

$\text{DQO}_o = 1896 \text{ mg/l}$

$\text{DQO}_f = 395 \text{ mg/l}$

$$\% \text{remoción} = \frac{1896 \text{ mg/l} - 395 \text{ mg/l}}{1896 \text{ mg/l}}$$

$$\% \text{remoción} = 79,17\%$$

Nota: los porcentajes de remoción tanto para el sulfato de aluminio como para el cloruro férrico se encuentran en las tablas XIX a XXII y de XXXIV a XXXVI de la sección de análisis estadístico.

### 3.8.5. Índice de biodegradabilidad

Para determinar el índice de biodegradabilidad tanto para la muestra inicial como para el agua tratado con sulfato de aluminio y cloruro férrico se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Índice} = \text{DQO} / \text{DBO} \quad (\text{Ecuación No. 5})$$

Donde:

DQO = demanda química de oxígeno

DBO = demanda bioquímica de oxígeno

Ejemplo No. 5

Índice de biodegradabilidad para la muestra inicial

$$\text{Índice} = \frac{3700 \text{ mg/l}}{1896 \text{ mg/l}}$$

$$\text{Índice} = 1,951$$

Nota: los índices de biodegradabilidad para las muestras tratadas con sulfato de aluminio o cloruro férrico se encuentran en las tablas XXII a XXIV y de XXXVIII a XXXIX de la sección de resultados.

### 3.8.6. Varianza para la DQO, DBO, porcentaje de remoción e índice de biodegradabilidad con sulfato de aluminio y cloruro férrico

$$\sigma^2 = \frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{N}$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{N}$$

(Ecuación No. 6)

Donde:

$\sigma^2$  = varianza

$x_i$  = cada uno de los datos

$\bar{x}$  = media aritmética

$N$  = número de datos

Ejemplo No. 6

Varianza para la demanda química de oxígeno con 100mg/l de sulfato de aluminio a 60 rpm durante 1 minuto.

$$\sigma^2 = \frac{(780.0 - 779)^2 + (779.0 - 779)^2 + (780.0 - 779)^2 + (777.0 - 779)^2}{4}$$

$$\sigma^2 = 4 \text{ mg/l}$$

Nota: el análisis de varianza para la DQO, DBO, porcentaje de remoción e índice de biodegradabilidad se encuentra en las tablas X a la XXXIX de la sección de análisis estadístico.

**3.8.7. Desviación estándar para el DQO, DBO, porcentaje de remoción e índice de biodegradabilidad con sulfato de aluminio y cloruro férrico**

$$\sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (\text{Ecuación No. 7})$$

Donde:

S= desviación estándar

X<sub>i</sub>= cada uno de los datos

X = media aritmética

N= número de datos

Ejemplo No. 7

Desviación estándar para la demanda química de oxígeno con 100mg/l de sulfato de aluminio a 60 rpm durante 1 minuto.

$$S = \sqrt{\frac{(780.0 - 779)^2 + (779.0 - 779)^2 + (780.0 - 779)^2 + (777.0 - 779)^2}{4 - 1}}$$

$$S = 2,3094 \text{ mg/l}$$

Nota: el análisis de desviación estándar para la DQO, DBO, porcentaje de remoción e índice de biodegradabilidad se encuentra en las tablas X a la XXXIX de la sección de análisis estadístico.

### 3.8.8. Análisis de significancia estadística para cada uno de los coagulantes utilizados

Donde:

t = valor estadístico del procedimiento

$$t = \frac{\bar{d}}{\frac{\sigma d}{\sqrt{N}}}$$

d = valor promedio o media aritmética de las diferencias entre los momentos antes y después

$\sigma d$  = desviación estándar de las diferencias entre los momentos antes y después

N = tamaño de la muestra (Ecuación No. 8)

#### Ejemplo No. 8

T de Student para el grado de significancia estadística entre los coagulantes sulfato de aluminio y cloruro férrico a 100 mg/l.

$$d = 846,7 - 750,8 = 95,9 \text{ mg/L}$$

$$\sigma d = \left( (1,819/3) + (1,212/3) \right)^{1/2} = 0,9036$$

$$t = 95,9 / 0,9036$$

$$t = 106,128$$

Nota: el análisis de significancia para la demanda química y bioquímica de oxígeno se encuentran en las tablas LXXII a LXXVII de la sección de resultados.



### 3.9. Análisis estadístico

TABLA X. Desviación estándar y varianza de DQO para 100 mg/l de sulfato de aluminio

Tiempo (min)	RPM	DQO (mg/l)	Varianza DQO	Desviación estándar DQO
1	60	780.0	4	2.30940108
		779.0		
		780.0		
		777.0		
		Prom/Sum		
	100	760.0	0.64	0.92376043
		760.0		
		761.0		
		760.0		
Prom/Sum		760.3		
2	60	740.0	2.25	1.73205081
		739.0		
		739.0		
		741.0		
		Prom/Sum		
	100	723.0	4	2.30940108
		723.0		
		725.0		
		725.0		
Prom/Sum		724.0		

Fuente:incisos No. 3.8.6 y 3.8.7 de la sección tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.

**TABLA XI.Desviación estándar y varianza de DQO para 200 mg/l de sulfato de aluminio**

Tiempo (min)	RPM	DQO (mg/l)	Varianza DQO	Desviación estándar DQO
1	60	510.0	3.24	2.07846097
		508.0		
		508.0		
		507.0		
		Prom/Sum 508.3		
	100	495.0	0	0
		495.0		
		495.0		
		495.0		
Prom/Sum 495.0				
2	60	450.0	2.89	1.96299092
		448.0		
		450.0		
		451.0		
		Prom/Sum 449.8		
	100	420.0	0.49	0.80829038
		420.0		
		419.0		
		420.0		
		Prom/Sum 419.8		

Fuente:incisos No. 3.8.6 y 3.8.7 de la sección tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.

**TABLA XII. Desviación estándar y varianza de DQO para 400 mg/l de sulfato de aluminio**

Tiempo (min)	RPM	DQO (mg/l)	Varianza DQO	Desviación estándar DQO
1	60	673.0	0.49	0.80829038
		674.0		
		674.0		
		674.0		
		Prom/Sum 673.8		
	100	650.0	4	2.30940108
		651.0		
		653.0		
		650.0		
Prom/Sum 651.0				
2	60	599.0	2.25	1.73205081
		600.0		
		598.0		
		598.0		
		Prom/Sum 598.8		
	100	584.0	0.49	0.80829038
		585.0		
		585.0		
		585.0		
		Prom/Sum 584.8		

Fuente: incisos No. 3.8.6 y 3.8.7 de la sección tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.

**TABLA XIII.Desviación estándar y varianza de DBO para 100 mg/l de sulfato de aluminio**

Tiempo (min)	RPM	DBO (mg/l)	Varianza DBO	Desviación Estándar DBO
1	60	395.0	0.49	0.8082904
		395.0		
		394.0		
		395.0		
		Prom/Sum		
	100	373.0	1	1.1547005
		374.0		
		374.0		
		373.0		
Prom/Sum		373.5		
2	60	348.0	0.64	0.9237604
		349.0		
		348.0		
		348.0		
		Prom/Sum		
	100	325.0	0	0
		325.0		
		325.0		
		325.0		
Prom/Sum		325.0		

Fuente:incisos No. 3.8.6 y 3.8.7 de la sección tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.

**TABLA XIV. Desviación estándar y varianza de DBO para 200 mg/l de sulfato de aluminio**

Tiempo (min)	RPM	DBO (mg/l)	Varianza DBO	Desviación estándar DBO
1	60	270.0	0.64	0.9237604
		270.0		
		271.0		
		270.0		
		Prom/Sum		
	100	250.0	0.64	0.9237604
		249.0		
		249.0		
		249.0		
Prom/Sum		249.3		
2	60	235.0	1	1.1547005
		235.0		
		234.0		
		234.0		
		Prom/Sum		
	100	220.0	0.64	0.9237604
		219.0		
		219.0		
		219.0		
Prom/Sum		219.3		

Fuente: incisos No. 3.8.6 y 3.8.7 de la sección tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.

**TABLA XV. Desviación estándar y varianza de DBO para 400 mg/l de sulfato de aluminio**

Tiempo (min)	RPM		DBO (mg/l)	Varianza DBO	Desviación estándar DBO
1	60		301.0	1	1.1547005
			300.0		
			301.0		
			300.0		
		Prom/Sum	300.5		
	100		297.0	1	1.1547005
			298.0		
			298.0		
		297.0			
	Prom/Sum	297.5			
2	60		285.0	0.49	0.8082904
			285.0		
			285.0		
			284.0		
		Prom/Sum	284.8		
	100		274.0	0.49	0.8082904
			275.0		
			275.0		
		275.0			
	Prom/Sum	274.8			

Fuente: incisos No. 3.8.6 y 3.8.7 de la sección tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.

**TABLA XVI. Desviación estándar y varianza de porcentaje de remoción DQO para 100 mg/l de sulfato de aluminio**

Tiempo (min)	RPM		Porcentaje de remoción DQO	Varianza	Desviación estándar
1	60		78.92%	8.44E-07	0.0009189
			78.95%		
			78.92%		
			79.00%		
		Prom/Sum	78.95%		
	100		79.46%	8.95E-07	0.0009459
			79.46%		
			79.43%		
			79.46%		
Prom/Sum		79.45%			
2	60		80.00%	1.64E-07	0.0004054
			80.03%		
			80.03%		
			79.97%		
		Prom/Sum	80.01%		
	100		80.46%	4.21E-07	0.0006486
			80.46%		
			80.41%		
			80.41%		
Prom/Sum		80.43%			

Fuente: incisos No. 3.8.6 y 3.8.7 de la sección tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.

**TABLA XVII. Desviación estándar y varianza de porcentaje de remoción DQO para 200 mg/l de sulfato de aluminio**

Tiempo (min)	RPM		Porcentaje de remoción DQO	Varianza	Desviación estándar
1	60		86.22%	5.33E-07	0.0008426
			86.27%		
			86.27%		
			86.30%		
		Prom/Sum	86.26%		
	100		86.62%	1.87E-07	0.0004993
			86.62%		
			86.62%		
			86.62%		
Prom/Sum		86.62%			
2	60		87.84%	7.95E-07	0.0010299
			87.89%		
			87.84%		
			87.81%		
		Prom/Sum	87.84%		
	100		88.65%	6.18E-08	0.0002871
			88.65%		
			88.68%		
			88.65%		
Prom/Sum		88.66%			

Fuente: incisos No. 3.8.6 y 3.8.7 de la sección tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.



**TABLA XVIII. Desviación estándar y varianza de porcentaje de remoción DQO para 400 mg/l de sulfato de aluminio**

Tiempo (min)	RPM		Porcentaje de remoción DQO	Varianza	Desviación estándar
1	60		81.81%	3.89E-08	0.0002278
			81.78%		
			81.78%		
			81.78%		
		Prom/Sum	81.79%		
	100		82.43%	2.92E-07	0.0006242
			82.41%		
			82.35%		
			82.43%		
Prom/Sum		82.41%			
2	60		83.81%	1.64E-07	0.0004681
			83.78%		
			83.84%		
			83.84%		
		Prom/Sum	83.82%		
	100		84.22%	5.92E-08	0.0002809
			84.19%		
			84.19%		
			84.19%		
		Prom/Sum	84.20%		

Fuente: incisos No. 3.8.6 y 3.8.7 de la sección tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.

**TABLA XIX. Desviación estándar y varianza de porcentaje de remoción DBO para 100 mg/l de sulfato de aluminio**

Tiempo (min)	RPM		Porcentaje de remoción DBO	Varianza	Desviación estándar
1	60		79.17%	1.576E-07	0.0004585
			79.17%		
			79.22%		
			79.17%		
		Prom/Sum	79.18%		
	100		80.33%	2.782E-07	0.000609
			80.27%		
			80.27%		
			80.33%		
		Prom/Sum	80.30%		
2	60		81.65%	1.759E-07	0.0004843
			81.59%		
			81.65%		
			81.65%		
		Prom/Sum	81.63%		
	100		82.86%	7.292E-10	3.118E-05
			82.86%		
			82.86%		
			82.86%		
		Prom/Sum	82.86%		

Fuente: incisos No. 3.8.6 y 3.8.7 de la sección tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.

**TABLA XX. Desviación estándar y varianza de porcentaje de remoción DBO para 200 mg/l de sulfato de aluminio**

Tiempo (min)	RPM		Porcentaje de remoción DBO	Varianza	Desviación estándar	
1	60		85.76%	1.286E-07	0.0004141	
			85.76%			
			85.71%			
			85.76%			
		Prom/Sum	85.75%			
	100			86.81%	1.889E-07	0.0005018
				86.87%		
				86.87%		
			86.87%			
	Prom/Sum	86.85%				
2	60		87.61%	2.782E-07	0.000609	
			87.61%			
			87.66%			
			87.66%			
		Prom/Sum	87.63%			
	100			88.40%	1.277E-07	0.0004127
				88.45%		
				88.45%		
				88.45%		
	Prom/Sum	88.44%				

Fuente: incisos No. 3.8.6 y 3.8.7 de la sección tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.

**TABLA XXI. Desviación estándar y varianza de porcentaje de remoción DBO para 400 mg/l de sulfato de aluminio**

Tiempo (min)	RPM		Porcentaje de remoción DBO	Varianza	Desviación estándar
1	60		84.12%	2.782E-07	0.000609
			84.18%		
			84.12%		
			84.18%		
		Prom/Sum	84.15%		
	100		84.34%	2.782E-07	0.000609
			84.28%		
			84.28%		
			84.34%		
Prom/Sum		84.31%			
2	60		84.97%	1.445E-07	0.000439
			84.97%		
			84.97%		
			85.02%		
		Prom/Sum	84.98%		
	100		85.55%	1.648E-07	0.0004687
			85.50%		
			85.50%		
			85.50%		
		Prom/Sum	85.51%		

Fuente: incisos No. 3.8.6 y 3.8.7 de la sección tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.

**TABLA XXII.Desviación estándar y varianza del índice de biodegradabilidad para 100 mg/l de sulfato de aluminio**

Tiempo (min)	RPM		Índice de biodegradabilidad	Varianza	Desviación estándar
1	60		1.97	0.00	0.011225
			1.97		
			1.98		
			1.97		
		Prom/Sum	1.97		
	100		2.04	0.00	0.0104431
			2.03		
			2.03		
			2.04		
Prom/Sum		2.04			
2	60		2.13	0.00	0.0126046
			2.12		
			2.12		
			2.13		
		Prom/Sum	2.12		
	100		2.22	0.00	0.0071058
			2.22		
			2.23		
			2.23		
		Prom/Sum	2.23		

Fuente: incisos No. 3.8.6 y 3.8.7 de la sección tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.

**TABLA XXIII.Desviación estándar y varianza del índice de biodegradabilidad para 200 mg/l de sulfato de aluminio**

Tiempo (min)	RPM		Índice de biodegradabilidad	Varianza	Desviación estándar
1	60		1.89	0.00	0.0104234
			1.88		
			1.87		
			1.88		
		Prom/Sum	1.88		
	100		1.98	0.00	0.0023303
			1.99		
			1.99		
			1.99		
		Prom/Sum	1.99		
2	60		1.91	0.00	0.0168302
			1.91		
			1.92		
			1.93		
		Prom/Sum	1.92		
	100		1.91	0.00	0.0114128
			1.92		
			1.91		
			1.92		
		Prom/Sum	1.91		

Fuente: incisos No. 3.8.6 y 3.8.7 de la sección tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.

**TABLA XXIV. Desviación estándar y varianza del índice de biodegradabilidad para 400 mg/l de sulfato de aluminio**

Tiempo (min)	RPM		Índice de biodegradabilidad	Varianza	Desviación estándar
1	60		2.24	0.00	0.0105368
			2.25		
			2.24		
			2.25		
		Prom/Sum	2.24		
	100		2.19	0.00	0.0055466
			2.18		
			2.19		
			2.19		
Prom/Sum		2.19			
2	60		2.10	0.00	0.0083172
			2.11		
			2.10		
			2.11		
		Prom/Sum	2.10		
	100		2.13	0.00	0.0055245
			2.13		
			2.13		
			2.13		
		Prom/Sum	2.13		

Fuente: incisos No. 3.8.6 y 3.8.7 de la sección tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.

**TABLA XXV. Desviación estándar y varianza de DQO para 100 mg/l de cloruro férrico**

Tiempo (min)	RPM	DBO (mg/l)	Varianza DBO	Desviación estándar DBO
1	60	447.0	0.64	0.9237604
		446.0		
		446.0		
		446.0		
		Prom/Sum 446.3		
	100	423.0	0.49	0.8082904
		422.0		
		423.0		
		423.0		
		Prom/Sum 422.8		
2	60	412.0	2.25	1.7320508
		412.0		
		410.0		
		412.0		
		Prom/Sum 411.5		
	100	399.0	0.49	0.8082904
		400.0		
		400.0		
		400.0		
		Prom/Sum 399.8		

Fuente: incisos No. 3.8.6 y 3.8.7 de la sección tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.



**TABLA XXVI. Desviación estándar y varianza de DQO para 200 mg/l de cloruro férrico**

Tiempo (min)	RPM	DBO (mg/l)	Varianza DBO	Desviación estándar DBO
1	60	447.0	0.64	0.9237604
		446.0		
		446.0		
		446.0		
		Prom/Sum 446.3		
	100	423.0	0.49	0.8082904
		422.0		
		423.0		
		Prom/Sum 422.8		
2	60	412.0	2.25	1.7320508
		412.0		
		410.0		
		412.0		
		Prom/Sum 411.5		
	100	399.0	0.49	0.8082904
		400.0		
		400.0		
		Prom/Sum 399.8		

Fuente: incisos No. 3.8.6 y 3.8.7 de la sección tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.

**TABLA XXVII. Desviación estándar y varianza de DQO para 400 mg/l de cloruro férrico**

Tiempo (min)	RPM		DQO (mg/l)	Varianza DQO	Desviación estándar DQO
1	60		595	1	1.15470054
			595		
			594		
			594		
		Prom/Sum	594.5		
	100		588	0.64	0.92376043
			589		
			588		
			588		
		Prom/Sum	588.25		
2	60		560	0.49	0.80829038
			561		
			561		
			561		
		Prom/Sum	560.75		
	100		540	2.25	1.73205081
			542		
			542		
			541		
		Prom/Sum	541.25		

Fuente: incisos No. 3.8.6 y 3.8.7 de la sección tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.

**TABLA XXVIII. Desviación estándar y varianza de DBO para 100 mg/l de cloruro férrico**

Tiempo (min)	RPM		DBO (mg/l)	Varianza DBO	Desviación estándar DBO
1	60		390	0.49	0.8082904
			389		
			390		
			390		
		Prom/Sum	389.75		
	100		370	1	1.1547005
			369		
			370		
			369		
		Prom/Sum	369.5		
2	60		349	0.49	0.8082904
			350		
			350		
			350		
		Prom/Sum	349.75		
	100		335	2.25	1.7320508
			337		
			335		
			335		
		Prom/Sum	335.5		

Fuente: incisos No. 3.8.6 y 3.8.7 de la sección tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.

**TABLA XXIX. Desviación estándar y varianza de DBO para 200 mg/l de cloruro férrico**

Tiempo (min)	RPM	DBO (mg/l)	Varianza DBO	Desviación estándar DBO
1	60	390.0	0.49	0.8082904
		389.0		
		390.0		
		390.0		
		Prom/Sum 389.8		
	100	370.0	1	1.1547005
		369.0		
		370.0		
		369.0		
		Prom/Sum 369.5		
2	60	349.0	0.49	0.8082904
		350.0		
		350.0		
		350.0		
		Prom/Sum 349.8		
	100	335.0	2.25	1.7320508
		337.0		
		335.0		
		335.0		
		Prom/Sum 335.5		

Fuente: incisos No. 3.8.6 y 3.8.7 de la sección tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.

**TABLA XXX.Desviación estándar y varianza de DBOpara 400 mg/l de cloruro férrico**

Tiempo (min)	RPM		DBO (mg/l)	Varianza DBO	Desviación estándar DBO
1	60		310.0	0.64	0.9237604
			309.0		
			309.0		
			309.0		
		Prom/Sum	309.3		
	100		299.0	0.64	0.9237604
			298.0		
			298.0		
			298.0		
		Prom/Sum	298.3		
2	60		285.0	0.49	0.8082904
			285.0		
			284.0		
			285.0		
		Prom/Sum	284.8		
	100		277.0	2.25	1.7320508
			275.0		
			275.0		
			275.0		
		Prom/Sum	275.5		

Fuente: incisos No. 3.8.6 y 3.8.7 de la sección tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.

**TABLA XXXI. Desviación estándar y varianza del porcentaje de remoción DQO para 100 mg/l de cloruro férrico**

Tiempo (min)	RPM		Porcentaje de remoción DQO	Varianza	Desviación estándar
1	60		75.97%	4.219E-08	0.0002372
			75.97%		
			75.97%		
			76.00%		
		Prom/Sum	75.98%		
	100		76.89%	4.675E-08	0.0002497
			76.89%		
			76.92%		
			76.89%		
		Prom/Sum	76.90%		
2	60		77.49%	2.899E-08	0.0001966
			77.51%		
			77.51%		
			77.51%		
		Prom/Sum	77.51%		
	100		78.11%	2.922E-07	0.0006242
			78.11%		
			78.05%		
			78.05%		
		Prom/Sum	78.08%		

Fuente: incisos No. 3.8.6 y 3.8.7 de la sección tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.

**TABLA XXXII. Desviación estándar y varianza del porcentaje de remoción DQO para 200 mg/l de cloruro férrico**

Tiempo (min)	RPM		Porcentaje de remoción DQO	Varianza	Desviación estándar
1	60		81.35%	4.912E-08	0.0002559
			81.38%		
			81.35%		
			81.35%		
		Prom/Sum	81.36%		
	100		81.89%	2.373E-08	0.0001779
			81.86%		
			81.89%		
			81.89%		
Prom/Sum		81.89%			
2	60		82.70%	5.402E-08	0.0002684
			82.73%		
			82.73%		
			82.73%		
		Prom/Sum	82.72%		
	100		83.24%	4.109E-08	0.0002341
			83.27%		
			83.24%		
			83.24%		
		Prom/Sum	83.25%		

Fuente: incisos No. 3.8.6 y 3.8.7 de la sección tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.

**TABLA XXXIII. Desviación estándar y varianza del porcentaje de remoción DQO para 400 mg/l de cloruro férrico**

Tiempo (min)	RPM		Porcentaje de remoción DQO	Varianza	Desviación estándar
1	60		83.92%	7.305E-08	0.0003121
			83.92%		
			83.95%		
			83.95%		
		Prom/Sum	83.93%		
	100		84.11%	4.675E-08	0.0002497
			84.08%		
			84.11%		
			84.11%		
Prom/Sum		84.10%			
2	60		84.86%	2.457E-08	0.000181
			84.84%		
			84.84%		
			84.84%		
		Prom/Sum	84.84%		
	100		85.41%	1.644E-07	0.0004681
			85.35%		
			85.35%		
			85.38%		
		Prom/Sum	85.37%		

Fuente: incisos No. 3.8.6 y 3.8.7 de la sección tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.



**TABLA XXXIV. Desviación estándar y varianza del porcentaje de remoción DBO para 100 mg/l de cloruro férrico**

Tiempo (min)	RPM		Porcentaje de remoción DBO	Varianza	Desviación estándar
1	60		76.42%	1.863E-07	0.0004984
			76.48%		
			76.48%		
			76.48%		
		Prom/Sum	76.46%		
	100		77.69%	1.332E-07	0.0004214
			77.74%		
			77.69%		
			77.69%		
		Prom/Sum	77.70%		
2	60		78.27%	6.839E-07	0.0009549
			78.27%		
			78.38%		
			78.27%		
		Prom/Sum	78.30%		
	100		78.96%	1.885E-07	0.0005013
			78.90%		
			78.90%		
			78.90%		
		Prom/Sum	78.92%		

Fuente: incisos No. 3.8.6 y 3.8.7 de la sección tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.

**TABLA XXXV. Desviación estándar y varianza del porcentaje de remoción DBO para 200 mg/l de cloruro férrico**

Tiempo (min)	RPM		Porcentaje de remoción DBO	Varianza	Desviación estándar
1	60		79.43%	1.295E-07	0.0004156
			79.48%		
			79.43%		
			79.43%		
		Prom/Sum	79.44%		
	100		80.49%	2.782E-07	0.000609
			80.54%		
			80.49%		
			80.54%		
Prom/Sum		80.51%			
2	60		81.59%	1.317E-07	0.000419
			81.54%		
			81.54%		
			81.54%		
		Prom/Sum	81.55%		
	100		82.33%	0.0400388	0.2310522
			82.23%		
			82.33%		
			82.33%		
Prom/Sum		82.30%			

Fuente:incisos No. 3.8.6 y 3.8.7 de la sección tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.

**TABLA XXXVI. Desviación estándar y varianza del porcentaje de remoción DBO para 400 mg/l de cloruro férrico**

Tiempo (min)	RPM		Porcentaje de remoción DBO	Varianza	Desviación estándar
1	60		83.65%	1.513E-07	0.0004492
			83.70%		
			83.70%		
			83.70%		
		Prom/Sum	83.69%		
	100		84.23%	1.527E-07	0.0004512
			84.28%		
			84.28%		
			84.28%		
Prom/Sum		84.27%			
2	60		84.97%	1.445E-07	0.000439
			84.97%		
			85.02%		
			84.97%		
		Prom/Sum	84.98%		
	100		85.39%	6.166E-07	0.0009067
			85.50%		
			85.50%		
			85.50%		
Prom/Sum		85.47%			

Fuente: incisos No. 3.8.6 y 3.8.7 de la sección tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.

**TABLA XXXVII.Desviación estándar y varianza del índice de biodegradabilidad para 100 mg/l de cloruro férrico**

Tiempo (min)	RPM		Índice de biodegradabilidad	Varianza	Desviación estándar
1	60		1.99	0.00	0.00506
			1.99		
			1.99		
			1.99		
		Prom/Sum	1.99		
	100		2.02	0.00	0.0056043
			2.03		
			2.02		
			2.02		
Prom/Sum		2.02			
2	60		2.02	0.00	0.0070887
			2.02		
			2.03		
			2.02		
		Prom/Sum	2.02		
	100		2.03	0.00	0.0029302
			2.03		
			2.03		
			2.03		
Prom/Sum		2.03			

Fuente: incisos No. 3.8.6 y 3.8.7 de la sección tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.

**TABLA XXXVIII. Desviación estándar y varianza del índice de biodegradabilidad para 200 mg/l de cloruro férrico**

Tiempo (min)	□ĝ□□	Índice de biodegradabilidad	Varianza	Desviación estándar	
1	60		1.77	0.00	0.0020299
			1.77		
			1.77		
			1.77		
		Prom/Sum	1.77		
1	100		1.81	0.00	0.0091036
			1.82		
			1.81		
			1.82		
		Prom/Sum	1.81		
2	60		1.83	0.00	0.0096233
			1.83		
			1.83		
			1.83		
		Prom/Sum	1.83		
	100		1.85	0.00	0.0089163
			1.84		
			1.85		
		Prom/Sum	1.85		

Fuente: incisos No. 3.8.6 y 3.8.7 de la sección tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.

**TABLA XXXIX. Desviación estándar y varianza del índice de biodegradabilidad para 400 mg/l de cloruro férrico**

Tiempo (min)	□PM		Índice de biodegradabilidad	Varianza	Desviación estándar
1	60		1.92	0.00	0.0062768
			1.93		
			1.92		
			1.92		
		Prom/Sum	1.92		
	100		1.97	0.00	0.0093898
			1.98		
			1.97		
			1.97		
Prom/Sum		1.97			
2	60		1.96	0.00	0.0078507
			1.97		
			1.98		
			1.97		
		Prom/Sum	1.97		
	100		1.95	0.00	0.0228818
			1.97		
			1.97		
			1.97		
		Prom/Sum	1.96		

Fuente: incisos No. 3.8.6 y 3.8.7 de la sección tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Caracterización de los parámetros fisicoquímicos según Acuerdo No. 236-2006

TABLA XL. Caracterización de los parámetros fisicoquímicos del efluente original

	Cantidad	Unidad de Medida
Temperatura	32.9	C
Potencial de hidrogeno	10.5	Unidades pH
Grasas y aceites	414.7	mg/l
Materia flotante	Presente	
Sólidos suspendidos totales	1488	mg/l
Demanda bioquímica de oxígeno	1896	mg/l
Demanda química de oxígeno	3700	mg/l
Nitrógeno total	20.5	mg/l
Fosforo total	4.12	mg/l
Arsénico	0.012	mg/l
Cadmio	0.046	mg/l
Cianuro total	0.047	mg/l
Cobre	0.66	mg/l
Cromo hexavalente	0.7	mg/l
Mercurio	0	mg/l
Níquel	1.32	mg/l
Plomo	1.2	mg/l
Zinc	0.11	mg/l
Color	1200	Pt/Co
Coliformestotales	10000	NMP/100ml

Fuente: tabla V y Acuerdo Gubernativo No. 236-2006.

**TABLA XLI. Caracterización de los parámetros fisicoquímicos sulfato de aluminio a 100mg/l**

	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad de medida</b>
Temperatura	32.9	C
Potencial de hidrogeno	7.1	Unidades pH
Grasas y aceites	20	mg/l
Materia flotante	Presente	
Sólidos suspendidos totales	3	mg/l
Demanda bioquímica de oxígeno	360.375	mg/l
Demanda química de oxígeno	750.75	mg/l
Nitrógeno total	19	mg/l
Fosforo total	4.11	mg/l
Arsénico	0.012	mg/l
Cadmio	0.046	mg/l
Cianuro total	0.047	mg/l
Cobre	0.66	mg/l
Cromo hexavalente	0.7	mg/l
Mercurio	0	mg/l
Níquel	1.32	mg/l
Plomo	1.2	mg/l
Zinc	0.11	mg/l
Color	300	Pt/Co
Coliformestotales	1000	NMP/100ml

Fuente: tabla VI y Acuerdo Gubernativo No. 236-2006.



**TABLA XLII. Caracterización de los parámetros fisicoquímicos sulfato de aluminio a 200mg/l**

	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad de medida</b>
Temperatura	32.9	C
Potencial de hidrogeno	6.5	Unidades pH
Grasas y aceites	8	mg/l
Materia flotante	Ausente	
Sólidos suspendidos totales	0	mg/l
Demanda bioquímica de oxígeno	243.3125	mg/l
Demanda química de oxígeno	468.1875	mg/l
Nitrógeno total	18.9	mg/l
Fosforo total	4.1	mg/l
Arsénico	0.012	mg/l
Cadmio	0.046	mg/l
Cianuro total	0.047	mg/l
Cobre	0.66	mg/l
Cromo hexavalente	0.7	mg/l
Mercurio	0	mg/l
Níquel	1.32	mg/l
Plomo	1.2	mg/l
Zinc	0.11	mg/l
Color	60	Pt/Co
Coliformestotales	980	NMP/100ml

Fuente: tabla VII y Acuerdo Gubernativo No. 236-2006.

**TABLA XLIII. Caracterización de los parámetros fisicoquímicos sulfato de aluminio a 400mg/l**

	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad de medida</b>
Temperatura	32.9	C
Potencial de hidrogeno	5.7	Unidades pH
Grasas y aceites	7	mg/l
Materia flotante	Ausente	
Sólidos suspendidos totales	0	mg/l
Demanda bioquímica de oxígeno	289.375	mg/l
Demanda química de oxígeno	627.0625	mg/l
Nitrógeno total	17.5	mg/l
Fosforo total	4	mg/l
Arsénico	0.012	mg/l
Cadmio	0.046	mg/l
Cianuro total	0.047	mg/l
Cobre	0.66	mg/l
Cromo hexavalente	0.7	mg/l
Mercurio	0	mg/l
Níquel	1.32	mg/l
Plomo	1.2	mg/l
Zinc	0.11	mg/l
Color	50	Pt/Co
Coliformestotales	800	NMP/100ml

Fuente: tabla VII y Acuerdo Gubernativo No. 236-2006.

**TABLA XLIV. Caracterización de los parámetros fisicoquímicos cloruro férrico a 100mg/l**

	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad de medida</b>
Temperatura	32.9	C
Potencial de hidrogeno	8.5	Unidades pH
Grasas y aceites	125	mg/l
Materia flotante	Presente	
Sólidos suspendidos totales	50	mg/l
Demanda bioquímica de oxígeno	420.0625	mg/l
Demanda química de oxígeno	846.6875	mg/l
Nitrógeno total	19.6	mg/l
Fosforo total	4.11	mg/l
Arsénico	0.012	mg/l
Cadmio	0.046	mg/l
Cianuro total	0.047	mg/l
Cobre	0.66	mg/l
Cromo hexavalente	0.7	mg/l
Mercurio	0	mg/l
Níquel	1.32	mg/l
Plomo	1.2	mg/l
Zinc	0.11	mg/l
Color	400	Pt/Co
Coliformestotales	1125	NMP/100ml

Fuente: tabla VIII y Acuerdo Gubernativo No. 236-2006.

**TABLA XLV. Caracterización de los parámetros fisicoquímicos  
cloruro férrico a 200mg/l**

	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad de medida</b>
Temperatura	32.9	C
Potencial de hidrogeno	6	Unidades pH
Grasas y aceites	86	mg/l
Materia flotante	Presente	
Sólidos suspendidos totales	36	mg/l
Demanda bioquímica de oxígeno	361.125	mg/l
Demanda química de oxígeno	654.75	mg/l
Nitrógeno total	19.1	mg/l
Fosforo total	4.08	mg/l
Arsénico	0.012	mg/l
Cadmio	0.046	mg/l
Cianuro total	0.047	mg/l
Cobre	0.66	mg/l
Cromo hexavalente	0.7	mg/l
Mercurio	0	mg/l
Níquel	1.32	mg/l
Plomo	1.2	mg/l
Zinc	0.11	mg/l
Color	200	Pt/Co
Coliformestotales	1045	NMP/100ml

Fuente: tabla VIII y Acuerdo Gubernativo No. 236-2006.

**TABLA XLVI. Caracterización de los parámetros fisicoquímicos cloruro férrico a 400mg/l**

	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad de medida</b>
Temperatura	32.9	C
Potencial de hidrogeno	4.6	Unidades pH
Grasas y aceites	65	mg/l
Materia flotante	Ausente	
Sólidos suspendidos totales	20	mg/l
Demanda bioquímica de oxígeno	291.9375	mg/l
Demanda química de oxígeno	571.1875	mg/l
Nitrógeno total	18.6	mg/l
Fosforo total	4.08	mg/l
Arsénico	0.012	mg/l
Cadmio	0.046	mg/l
Cianuro total	0.047	mg/l
Cobre	0.66	mg/l
Cromo hexavalente	0.7	mg/l
Mercurio	0	mg/l
Níquel	1.32	mg/l
Plomo	1.2	mg/l
Zinc	0.11	mg/l
Color	90	Pt/Co
Coliformestotales	950	NMP/100ml

Fuente: tabla IX y Acuerdo Gubernativo No. 236-2006.

**4.2. Comparación de los parámetros fisicoquímicos obtenidos con los límites máximos según Acuerdo No. 236-2006**

**TABLA XLVII. Comparación con límites máximos permisibles, efluente original**

	<b>Cantidad</b>	<b>Límite máximo</b>	<b>Reducción respecto al límite</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Unidad de medida</b>
Temperatura	32.9	TCR +/- 7	N/A	N/A	C
Potencial de hidrogeno	10.5	6 - 9.	N/A	N/A	Unidades pH
Grasas y aceites	414.7	100	-314.7	-314.70%	mg/l
Materia flotante	Presente	Ausente	N/A	N/A	
Sólidos suspendidos totales	1488	600	-888	-148.00%	mg/l
Demanda bioquímica de oxígeno	1896	700	-1196	-170.86%	mg/l
Demanda química de oxígeno	3700	1300	-2400	-184.62%	mg/l
Nitrógeno total	20.5	100	79.5	79.50%	mg/l
Fosforo total	4.12	75	70.88	94.51%	mg/l
Arsénico	0.012	0.5	0.488	97.60%	mg/l
Cadmio	0.046	0.4	0.354	88.50%	mg/l
Cianuro total	0.047	3	2.953	98.43%	mg/l
Cobre	0.66	4	3.34	83.50%	mg/l
Cromo hexavalente	0.7	0.5	-0.2	-40.00%	mg/l
Mercurio	0	0.1	0.1	100.00%	mg/l
Níquel	1.32	4	2.68	67.00%	mg/l
Plomo	1.2	1	-0.2	-20.00%	mg/l
Zinc	0.11	10	9.89	98.90%	mg/l
Color	1200	1300	100	7.69%	Pt/Co
Coliformestotales	10000	10000	0	0.00%	NMP/100ml

Fuente: tabla XL y Acuerdo Gubernativo No. 236-2006.

**TABLA XLVIII. Comparación con límites máximos permisibles, sulfato de aluminio a 100 mg/l**

	<b>Cantidad</b>	<b>Límite máximo</b>	<b>Reducción respecto al límite</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Unidad de medida</b>
Temperatura	32.9	□□□□□	N/A	N/A	C
Potencial de hidrogeno	8.5	6 - 9.	N/A	N/A	Unidades pH
Grasas y aceites	125	100	-25	-25.00%	mg/l
Materia flotante	Presente	Ausente	N/A	N/A	
Sólidos suspendidos totales	50	600	550	91.67%	mg/l
Demanda bioquímica de oxígeno	360.375	700	339.625	48.52%	mg/l
Demanda química de oxígeno	750.75	1300	549.25	42.25%	mg/l
Nitrógeno total	19.6	100	80.4	80.40%	mg/l
Fosforo total	4.11	75	70.89	94.52%	mg/l
Arsénico	0.012	0.5	0.488	97.60%	mg/l
Cadmio	0.046	0.4	0.354	88.50%	mg/l
Cianuro total	0.047	3	2.953	98.43%	mg/l
Cobre	0.66	4	3.34	83.50%	mg/l
Cromo hexavalente	0.7	0.5	-0.2	-40.00%	mg/l
Mercurio	0	0.1	0.1	100.00%	mg/l
Níquel	1.32	4	2.68	67.00%	mg/l
Plomo	1.2	1	-0.2	-20.00%	mg/l
Zinc	0.11	10	9.89	98.90%	mg/l
Color	400	1300	900	69.23%	Pt/Co
Coliformestotales	1125	10000	8875	88.75%	NMP/100ml

Fuente: tabla XLI y Acuerdo Gubernativo No. 236-2006.

**TABLA XLIX. Comparación con límites máximos permisibles, sulfato de aluminio a 200mg/l**

	<b>Cantidad</b>	<b>Límite máximo</b>	<b>Reducción respecto al límite</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Unidad de medida</b>
Temperatura	32.9	TCR +/- 7	N/A	N/A	C
Potencial de hidrogeno	6.5	6 - 9.	N/A	N/A	Unidades pH
Grasas y aceites	8	100	92	92.00%	mg/l
Materia flotante	Ausente	Ausente	N/A	N/A	
Sólidos suspendidos totales	0	600	600	100.00%	mg/l
Demanda bioquímica de oxígeno	243.3125	700	456.6875	65.24%	mg/l
Demanda química de oxígeno	468.1875	1300	831.8125	63.99%	mg/l
Nitrógeno total	18.9	100	81.1	81.10%	mg/l
Fosforo total	4.1	75	70.9	94.53%	mg/l
Arsénico	0.012	0.5	0.488	97.60%	mg/l
Cadmio	0.046	0.4	0.354	88.50%	mg/l
Cianuro total	0.047	3	2.953	98.43%	mg/l
Cobre	0.66	4	3.34	83.50%	mg/l
Cromo hexavalente	0.7	0.5	-0.2	-40.00%	mg/l
Mercurio	0	0.1	0.1	100.00%	mg/l
Níquel	1.32	4	2.68	67.00%	mg/l
Plomo	1.2	1	-0.2	-20.00%	mg/l
Zinc	0.11	10	9.89	98.90%	mg/l
Color	60	1300	1240	95.38%	Pt/Co
Coliformestotales	980	10000	9020	90.20%	NMP/100ml

Fuente: tabla XLII y Acuerdo Gubernativo No. 236-2006.



**TABLA L.Comparación con límites máximos permisibles,  
sulfato de aluminio a 400mg/l**

	<b>Cantidad</b>	<b>Límite máximo</b>	<b>Reducción respecto al límite</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Unidad de medida</b>
Temperatura	32.9	TCR +/- 7	N/A	N/A	C
Potencial de hidrogeno	5.7	6 - 9.	N/A	N/A	Unidades pH
Grasas y aceites	7	100	93	93.00%	mg/l
Materia flotante	Ausente	Ausente	N/A	N/A	
Sólidos suspendidos totales	0	600	600	100.00%	mg/l
Demanda bioquímica de oxígeno	289.375	700	410.625	58.66%	mg/l
Demanda química de oxígeno	627.0625	1300	672.9375	51.76%	mg/l
Nitrógeno total	17.5	100	82.5	82.50%	mg/l
Fosforo total	4	75	71	94.67%	mg/l
Arsénico	0.012	0.5	0.488	97.60%	mg/l
Cadmio	0.046	0.4	0.354	88.50%	mg/l
Cianuro total	0.047	3	2.953	98.43%	mg/l
Cobre	0.66	4	3.34	83.50%	mg/l
Cromo hexavalente	0.7	0.5	-0.2	-40.00%	mg/l
Mercurio	0	0.1	0.1	100.00%	mg/l
Níquel	1.32	4	2.68	67.00%	mg/l
Plomo	1.2	1	-0.2	-20.00%	mg/l
Zinc	0.11	10	9.89	98.90%	mg/l
Color	50	1300	1250	96.15%	Pt/Co
Coliformestotales	800	10000	9200	92.00%	NMP/100ml

Fuente: tabla XLIII y Acuerdo Gubernativo No. 236-2006.

**TABLA LI. Comparación con límites máximos permisibles, cloruro férrico a 100mg/l**

	<b>Cantidad</b>	<b>Límite máximo</b>	<b>Reducción respecto al límite</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Unidad de medida</b>
Temperatura	32.9	TCR +/- 7	N/A	N/A	C
Potencial de hidrogeno	8.5	6 - 9.	N/A	N/A	Unidades pH
Grasas y aceites	125	100	-25	-25.00%	mg/l
Materia flotante	Presente	Ausente	N/A	N/A	
Sólidos suspendidos totales	50	600	550	91.67%	mg/l
Demanda bioquímica de oxígeno	420.0625	700	279.9375	39.99%	mg/l
Demanda química de oxígeno	846.6875	1300	453.3125	34.87%	mg/l
Nitrógeno total	19.6	100	80.4	80.40%	mg/l
Fosforo total	4.11	75	70.89	94.52%	mg/l
Arsénico	0.012	0.5	0.488	97.60%	mg/l
Cadmio	0.046	0.4	0.354	88.50%	mg/l
Cianuro total	0.047	3	2.953	98.43%	mg/l
Cobre	0.66	4	3.34	83.50%	mg/l
Cromo hexavalente	0.7	0.5	-0.2	-40.00%	mg/l
Mercurio	0	0.1	0.1	100.00%	mg/l
Níquel	1.32	4	2.68	67.00%	mg/l
Plomo	1.2	1	-0.2	-20.00%	mg/l
Zinc	0.11	10	9.89	98.90%	mg/l
Color	400	1300	900	69.23%	Pt/Co
Coliformestotales	1125	10000	8875	88.75%	NMP/100ml

Fuente: tabla XLIV y Acuerdo Gubernativo No. 236-2006.

**TABLA LII. Comparación con límites máximos permisibles, cloruro férrico a 200mg/l**

	<b>Cantidad</b>	<b>Límite máximo</b>	<b>Reducción respecto al límite</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Unidad de medida</b>
Temperatura	32.9	TCR +/- 7	N/A	N/A	C
Potencial de hidrogeno	6	6 - 9.	N/A	N/A	Unidades pH
Grasas y aceites	86	100	14	14.00%	mg/l
Materia flotante	Presente	Ausente	N/A	N/A	
Sólidos suspendidos totales	36	600	564	94.00%	mg/l
Demanda bioquímica de oxígeno	361.125	700	338.875	48.41%	mg/l
Demanda química de oxígeno	654.75	1300	645.25	49.63%	mg/l
Nitrógeno total	19.1	100	80.9	80.90%	mg/l
Fosforo total	4.08	75	70.92	94.56%	mg/l
Arsénico	0.012	0.5	0.488	97.60%	mg/l
Cadmio	0.046	0.4	0.354	88.50%	mg/l
Cianuro total	0.047	3	2.953	98.43%	mg/l
Cobre	0.66	4	3.34	83.50%	mg/l
Cromo hexavalente	0.7	0.5	-0.2	-40.00%	mg/l
Mercurio	0	0.1	0.1	100.00%	mg/l
Níquel	1.32	4	2.68	67.00%	mg/l
Plomo	1.2	1	-0.2	-20.00%	mg/l
Zinc	0.11	10	9.89	98.90%	mg/l
Color	200	1300	1100	84.62%	Pt/Co
Coliformestotales	1045	10000	8955	89.55%	NMP/100ml

Fuente: tabla XLV y Acuerdo Gubernativo No. 236-2006.

**TABLA LIII. Comparación con límites máximos permisibles,cloruro férrico a 400mg/l**

	<b>Cantidad</b>	<b>Límite máximo</b>	<b>Reducción respecto al límite</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Unidad de medida</b>
Temperatura	32.9	TCR +/- 7	N/A	N/A	C
Potencial de hidrogeno	4.6	6 - 9.	N/A	N/A	Unidades pH
Grasas y aceites	65	100	35	35.00%	mg/l
Materia flotante	Ausente	Ausente	N/A	N/A	
Sólidos suspendidos totales	20	600	580	96.67%	mg/l
Demanda bioquímica de oxígeno	291.9375	700	408.0625	58.29%	mg/l
Demanda química de Oxígeno	571.1875	1300	728.8125	56.06%	mg/l
Nitrógeno total	18.6	100	81.4	81.40%	mg/l
Fosforo total	4.08	75	70.92	94.56%	mg/l
Arsénico	0.012	0.5	0.488	97.60%	mg/l
Cadmio	0.046	0.4	0.354	88.50%	mg/l
Cianuro total	0.047	3	2.953	98.43%	mg/l
Cobre	0.66	4	3.34	83.50%	mg/l
Cromo hexavalente	0.7	0.5	-0.2	-40.00%	mg/l
Mercurio	0	0.1	0.1	100.00%	mg/l
Níquel	1.32	4	2.68	67.00%	mg/l
Plomo	1.2	1	-0.2	-20.00%	mg/l
Zinc	0.11	10	9.89	98.90%	mg/l
Color	90	1300	1210	93.08%	Pt/Co
Coliformestotales	950	10000	9050	90.50%	NMP/100ml

Fuente: tabla XLVI y Acuerdo Gubernativo No. 236-2006.

**4.3. Evaluación de la capacidad coagulante mediante el porcentaje de remoción**

**TABLA LIV. Porcentajes de remoción demanda química y bioquímica de oxígeno para 100 mg/l sulfato de aluminio**

Dosificación coagulante (mg/l)	Velocidad de agitación (rpm)	Tiempo de agitación (min)	Porcentaje de remoción DQO	Porcentaje de remoción DBO	
100	60	1	78.92%	79.17%	
			78.95%	79.17%	
			78.92%	79.22%	
			79.00%	79.17%	
	<b>Promedio</b>		<b>78.95%</b>	<b>79.18%</b>	
	100		79.46%	80.33%	
			79.46%	80.27%	
			79.43%	80.27%	
		79.46%	80.33%		
	<b>Promedio</b>	<b>79.45%</b>	<b>80.30%</b>		
	60	2	80.00%	81.65%	
			80.03%	81.59%	
			80.03%	81.65%	
			79.97%	81.65%	
			<b>Promedio</b>	<b>80.01%</b>	<b>81.63%</b>
			100	80.46%	82.86%
80.46%				82.86%	
80.41%				82.86%	
80.41%	82.86%				
<b>Promedio</b>	<b>80.43%</b>	<b>82.86%</b>			

Fuente:incisos No. 3.8.3 y 3.8.4 de la sección tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.

TABLA LV. **Porcentajes de remoción demanda química y bioquímica de oxígeno para 200 mg/l sulfato de aluminio**

Dosificación coagulante (mg/l)	Velocidad de agitación (rpm)	Tiempo de agitación (min)	Porcentaje de remoción DQO	Porcentaje de remoción DBO	
200	60	1	86.22%	85.76%	
			86.27%	85.76%	
			86.27%	85.71%	
			86.30%	85.76%	
	<b>Promedio</b>		<b>86.26%</b>	<b>85.75%</b>	
	100		86.62%	86.81%	
			86.62%	86.87%	
			86.62%	86.87%	
		86.62%	86.87%		
	<b>Promedio</b>	<b>86.62%</b>	<b>86.85%</b>		
	60	2	87.84%	87.61%	
			87.89%	87.61%	
			87.84%	87.66%	
			87.81%	87.66%	
			<b>Promedio</b>	<b>87.84%</b>	<b>87.63%</b>
			100	88.65%	88.40%
88.65%				88.45%	
88.68%				88.45%	
88.65%	88.45%				
<b>Promedio</b>	<b>88.66%</b>	<b>88.44%</b>			

Fuente: incisos No. 3.8.3 y 3.8.4 de la sección tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.

TABLA LVI. Porcentajes de remoción demanda química y bioquímica de oxígeno para 400 mg/l sulfato de aluminio

Dosificación coagulante (mg/l)	Velocidad de agitación (rpm)	Tiempo de agitación (min)	Porcentaje de remoción DQO	Porcentaje de remoción DBO
400	60	1	81.81%	84.12%
			81.78%	84.18%
			81.78%	84.12%
			81.78%	84.18%
	<b>Promedio</b>		<b>81.79%</b>	<b>84.15%</b>
	100		82.43%	84.34%
			82.41%	84.28%
			82.35%	84.28%
		82.43%	84.34%	
	<b>Promedio</b>	<b>82.41%</b>	<b>84.31%</b>	
	60	2	83.81%	84.97%
			83.78%	84.97%
			83.84%	84.97%
			83.84%	85.02%
<b>Promedio</b>			<b>83.82%</b>	<b>84.98%</b>
100			84.22%	85.55%
			84.19%	85.50%
			84.19%	85.50%
	84.19%	85.50%		
<b>Promedio</b>	<b>84.20%</b>	<b>85.51%</b>		

Fuente: incisos No. 3.8.3 y 3.8.4 de la sección tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.

**TABLA LVII. Porcentajes de remoción demanda química y bioquímica de oxígeno para 100 mg/l cloruro férrico**

Dosificación coagulante (mg/l)	Velocidad de agitación (rpm)	Tiempo de agitación (min)	Porcentaje de remoción DQO	Porcentaje de remoción DBO	
100	60	1	75.97%	76.42%	
			75.97%	76.48%	
			75.97%	76.48%	
			76.00%	76.48%	
	<b>Promedio</b>		<b>75.98%</b>	<b>76.46%</b>	
	100		76.89%	77.69%	
			76.89%	77.74%	
			76.92%	77.69%	
		76.89%	77.69%		
	<b>Promedio</b>	<b>76.90%</b>	<b>77.70%</b>		
	60	2	77.49%	78.27%	
			77.51%	78.27%	
			77.51%	78.38%	
			77.51%	78.27%	
			<b>Promedio</b>	<b>77.51%</b>	<b>78.30%</b>
			100	78.11%	78.96%
78.11%				78.90%	
78.05%				78.90%	
78.05%	78.90%				
<b>Promedio</b>	<b>78.08%</b>	<b>78.92%</b>			

Fuente: incisos No. 3.8.3 y 3.8.4 de la sección tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.



TABLA LVIII. Porcentajes de remoción demanda química y bioquímica de oxígeno para 200 mg/l cloruro férrico

Dosificación coagulante (mg/l)	Velocidad de agitación (rpm)	Tiempo de agitación (min)	Porcentaje de remoción DQO	Porcentaje de remoción DBO	
200	60	1	81.35%	79.43%	
			81.38%	79.48%	
			81.35%	79.43%	
			81.35%	79.43%	
	<b>Promedio</b>		<b>81.36%</b>	<b>79.44%</b>	
	100		81.89%	80.49%	
			81.86%	80.54%	
			81.89%	80.49%	
			81.89%	80.54%	
	<b>Promedio</b>		<b>81.89%</b>	<b>80.51%</b>	
	60		2	82.70%	81.59%
				82.73%	81.54%
				82.73%	81.54%
				82.73%	81.54%
<b>Promedio</b>		<b>82.72%</b>		<b>81.55%</b>	
100		83.24%		82.33%	
		83.27%		82.23%	
		83.24%		82.33%	
	83.24%	82.33%			
<b>Promedio</b>	<b>83.25%</b>	<b>82.30%</b>			

Fuente: incisos No. 3.8.3 y 3.8.4 de la sección tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.

**TABLA LIX. Porcentajes de remoción demanda química y bioquímica de oxígeno para 400 mg/l cloruro férrico**

Dosificación coagulante (mg/l)	Velocidad de agitación (rpm)	Tiempo de agitación (min)	Porcentaje de remoción DQO	Porcentaje de remoción DBO
400	60	1	83.92%	83.65%
			83.92%	83.70%
			83.95%	83.70%
			83.95%	83.70%
	<b>Promedio</b>		<b>83.93%</b>	<b>83.69%</b>
	100		84.11%	84.23%
			84.08%	84.28%
			84.11%	84.28%
		84.11%	84.28%	
	<b>Promedio</b>	<b>84.10%</b>	<b>84.27%</b>	
	60	2	84.86%	84.97%
			84.84%	84.97%
			84.84%	85.02%
			84.84%	84.97%
<b>Promedio</b>	<b>84.84%</b>		<b>84.98%</b>	
100	85.41%		85.39%	
	85.35%		85.50%	
	85.35%		85.50%	
	85.38%	85.50%		
<b>Promedio</b>	<b>85.37%</b>	<b>85.47%</b>		

Fuente: incisos No. 3.8.3 y 3.8.4 de la sección tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.

#### 4.4. Índice de biodegradabilidad en función de la relación DQO/DBO

TABLA LX. Índice de biodegradabilidad para 100 mg/l de sulfato de aluminio

Dosificación coagulante (mg/l)	Velocidad de agitación (rpm)	Tiempo de agitación (min)	Índice biodegradabilidad (DQO/DBO)	
100	60	1	1.97	
			1.97	
			1.98	
			1.97	
	<b>Promedio</b>		<b>1.97</b>	
	100		2.04	
			2.03	
			2.03	
			2.04	
	<b>Promedio</b>		<b>2.04</b>	
	60		2	2.13
				2.12
				2.12
				2.13
<b>Promedio</b>		<b>2.12</b>		
2.22				
2.22				
2.23				
100	2	2.23		
		2.23		
<b>Promedio</b>	<b>2.23</b>			

Fuente: inciso No. 3.8.5 de la sección tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.

TABLA LXI. Índice de biodegradabilidad para 200 mg/l de sulfato de aluminio

Dosificación coagulante (mg/l)	Velocidad de agitación (rpm)	Tiempo de agitación (min)	Índice biodegradabilidad (DQO/DBO)
200	60	1	1.89
			1.88
			1.87
			1.88
	<b>Promedio</b>		<b>1.88</b>
	100		1.98
			1.99
			1.99
		1.99	
	<b>Promedio</b>	<b>1.99</b>	
	60	2	1.91
			1.91
			1.92
			1.93
<b>Promedio</b>			<b>1.92</b>
100			1.91
			1.92
			1.91
	1.92		
<b>Promedio</b>	<b>1.91</b>		

Fuente:inciso No. 3.8.5 de la sección tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.

TABLA LXII. Índice de biodegradabilidad para 400 mg/l de sulfato de aluminio

Dosificación coagulante (mg/l)	Velocidad de agitación (rpm)	Tiempo de agitación (min)	Índice biodegradabilidad (DQO/DBO)
400	60	1	2.24
			2.25
			2.24
			2.25
	<b>Promedio</b>		<b>2.24</b>
	100		2.19
			2.18
			2.19
		2.19	
	<b>Promedio</b>	<b>2.19</b>	
	60	2	2.10
			2.11
			2.10
			2.11
<b>Promedio</b>			<b>2.10</b>
100			2.13
			2.13
			2.13
	2.13		
<b>Promedio</b>	<b>2.13</b>		

Fuente: inciso No. 3.8.5 de la sección tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.

TABLA LXIII. Índice de biodegradabilidad para 100 mg/l de cloruro férrico

Dosificación coagulante (mg/l)	Velocidad de agitación (rpm)	Tiempo de agitación (min)	Índice biodegradabilidad (DQO/DBO)	
100	60	1	1.99	
			1.99	
			1.99	
			1.99	
	<b>Promedio</b>		<b>1.99</b>	
	100		2.02	
			2.03	
			2.02	
		2.02		
	<b>Promedio</b>	<b>2.02</b>		
	60	2	2.02	
			2.02	
			2.03	
			2.02	
			<b>Promedio</b>	<b>2.02</b>
			100	2.03
2.03				
2.03				
2.03				
<b>Promedio</b>	<b>2.03</b>			

Fuente: inciso No. 3.8.5 de la sección tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.

TABLA LXIV. Índice de biodegradabilidad para 200 mg/l de cloruro férrico

Dosificación coagulante (mg/l)	Velocidad de agitación (rpm)	Tiempo de agitación (min)	Índice biodegradabilidad (DQO/DBO)
200	60	1	1.77
			1.77
			1.77
			1.77
	<b>Promedio</b>		<b>1.77</b>
	100		1.81
			1.82
			1.81
		1.82	
	<b>Promedio</b>	<b>1.81</b>	
	60	2	1.83
			1.83
			1.83
			1.83
<b>Promedio</b>			<b>1.83</b>
100			1.85
			1.84
			1.85
	1.85		
<b>Promedio</b>	<b>1.85</b>		

Fuente: inciso No. 3.8.5 de la sección tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.

TABLA LXV. Índice de biodegradabilidad para 400 mg/l de cloruro férrico

Dosificación coagulante (mg/l)	Velocidad de agitación (rpm)	Tiempo de agitación (min)	Índice biodegradabilidad (DQO/DBO)
400	60	1	1.92
			1.93
			1.92
			1.92
	<b>Promedio</b>		<b>1.92</b>
	100		1.97
			1.98
			1.97
		1.97	
	<b>Promedio</b>	<b>1.97</b>	
	60	2	1.96
			1.97
			1.98
			1.97
<b>Promedio</b>	<b>1.97</b>		
100	1.95		
	1.97		
	1.97		
	1.97		
<b>Promedio</b>	<b>1.96</b>		

Fuente:inciso No. 3.8.5 de la sección tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.



**4.5. Evaluación del grado de significancia en base a la menor demanda química y bioquímica obtenida**

**TABLA LXVI. Demanda química y bioquímica de oxígeno utilizando 100 mg/l de sulfato de aluminio como coagulante**

<b>Dosificación coagulante (mg/l)</b>	<b>Velocidad de agitación (rpm)</b>	<b>Tiempo de agitación (min)</b>	<b>Demanda química de oxígeno (mg/l)</b>	<b>Demanda bioquímica de oxígeno (mg/l)</b>	
100	60	1	780.0	395.0	
			779.0	395.0	
			780.0	394.0	
			777.0	395.0	
	<b>Promedio</b>		<b>779.0</b>	<b>394.8</b>	
	100		2	760.0	373.0
				760.0	374.0
				761.0	374.0
		760.0		373.0	
	<b>Promedio</b>	<b>760.3</b>		<b>373.5</b>	
	60	2		740.0	348.0
				739.0	349.0
				739.0	348.0
			741.0	348.0	
<b>Promedio</b>	<b>739.8</b>		<b>348.3</b>		
100	2		723.0	325.0	
			723.0	325.0	
			725.0	325.0	
		725.0	325.0		
<b>Promedio</b>		<b>724.0</b>	<b>325.0</b>		

Fuente: incisos No. 3.8.1 y 3.8.2 de la sección tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.

TABLA LXVII. Demanda química y bioquímica de oxígeno utilizando 200 mg/l de sulfato de aluminio como coagulante

Dosificación coagulante (mg/l)	Velocidad de agitación (rpm)	Tiempo de agitación (min)	Demanda química de oxígeno (mg/l)	Demanda bioquímica de oxígeno (mg/l)
200	60	1	510.0	270.0
			508.0	270.0
			508.0	271.0
			507.0	270.0
	<b>Promedio</b>		<b>508.3</b>	<b>270.3</b>
	100		495.0	250.0
			495.0	249.0
			495.0	249.0
		495.0	249.0	
	<b>Promedio</b>	<b>495.0</b>	<b>249.3</b>	
	60	2	450.0	235.0
			448.0	235.0
			450.0	234.0
			451.0	234.0
<b>Promedio</b>			<b>449.8</b>	<b>234.5</b>
100			420.0	220.0
			420.0	219.0
			419.0	219.0
	420.0	219.0		
<b>Promedio</b>	<b>419.8</b>	<b>219.3</b>		

Fuente: incisos No. 3.8.1 y 3.8.2 de la sección tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.

**TABLA LXVIII. Demanda química y bioquímica de oxígeno utilizando 400 mg/l de sulfato de aluminio como coagulante**

Dosificación coagulante (mg/l)	Velocidad de agitación (rpm)	Tiempo de agitación (min)	Demanda química de oxígeno (mg/l)	Demanda bioquímica de oxígeno (mg/l)
400	60	1	673.0	301.0
			674.0	300.0
			674.0	301.0
			674.0	300.0
	<b>Promedio</b>		<b>673.8</b>	<b>300.5</b>
	100		650.0	297.0
			651.0	298.0
			653.0	298.0
		650.0	297.0	
	<b>Promedio</b>	<b>651.0</b>	<b>297.5</b>	
	60	2	599.0	285.0
			600.0	285.0
			598.0	285.0
			598.0	284.0
<b>Promedio</b>			<b>598.8</b>	<b>284.8</b>
100			584.0	274.0
			585.0	275.0
			585.0	275.0
	585.0	275.0		
<b>Promedio</b>	<b>584.8</b>	<b>274.8</b>		

Fuente: incisos No. 3.8.1 y 3.8.2 de la sección tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.

TABLA LXIX. Demanda química y bioquímica de oxígeno utilizando 100 mg/l de cloruro férrico como coagulante

Dosificación coagulante (mg/l)	Velocidad de agitación (rpm)	Tiempo de agitación (min)	Demanda química de oxígeno (mg/l)	Demanda bioquímica de oxígeno (mg/l)	
100	60	1	889.0	447.0	
			889.0	446.0	
			889.0	446.0	
			888.0	446.0	
	<b>Promedio</b>		<b>888.8</b>	<b>446.3</b>	
	100		855.0	423.0	
			855.0	422.0	
			854.0	423.0	
		855.0	423.0		
	<b>Promedio</b>	<b>854.8</b>	<b>422.8</b>		
	60	2	833.0	412.0	
			832.0	412.0	
			832.0	410.0	
			832.0	412.0	
			<b>Promedio</b>	<b>832.3</b>	<b>411.5</b>
			100	810.0	399.0
810.0				400.0	
812.0				400.0	
812.0	400.0				
<b>Promedio</b>	<b>811.0</b>	<b>399.8</b>			

Fuente: incisos No. 3.8.1 y 3.8.2 de la sección tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.

TABLA LXX. Demanda química y bioquímica de oxígeno utilizando 200 mg/l de cloruro férrico como coagulante

Dosificación coagulante (mg/l)	Velocidad de agitación (rpm)	Tiempo de agitación (min)	Demanda química de oxígeno (mg/l)	Demanda bioquímica de oxígeno (mg/l)	
200	60	1	690.0	390.0	
			689.0	389.0	
			690.0	390.0	
			690.0	390.0	
	<b>Promedio</b>		<b>689.8</b>	<b>389.8</b>	
	100		670.0	370.0	
			671.0	369.0	
			670.0	370.0	
			670.0	369.0	
	<b>Promedio</b>		<b>670.3</b>	<b>369.5</b>	
	60		2	640.0	349.0
				639.0	350.0
				639.0	350.0
				639.0	350.0
<b>Promedio</b>		<b>639.3</b>		<b>349.8</b>	
100		620.0		335.0	
		619.0		337.0	
		620.0		335.0	
	620.0	335.0			
<b>Promedio</b>	<b>619.8</b>	<b>335.5</b>			

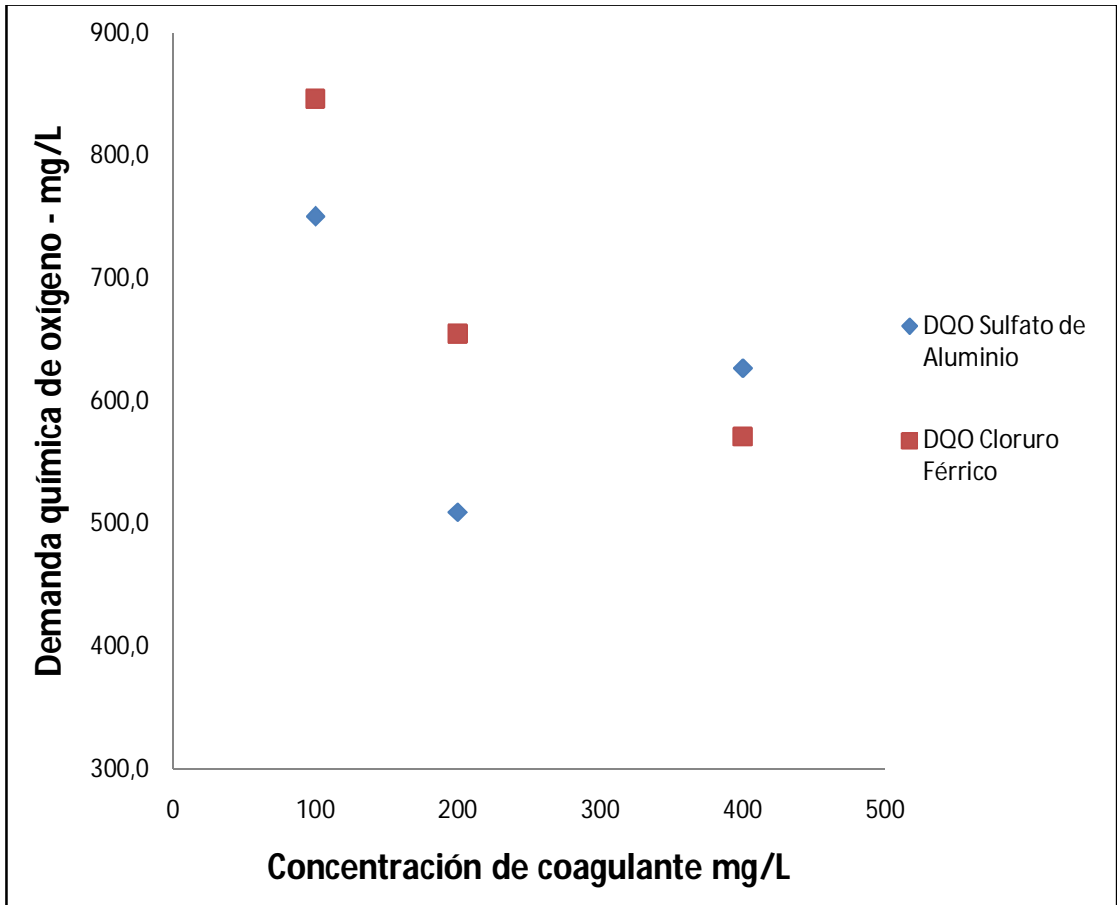
Fuente: incisos No. 3.8.1 y 3.8.2 de la sección tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.

TABLA LXXI. Demanda química y bioquímica de oxígeno utilizando 400 mg/l de cloruro férrico como coagulante

Dosificación coagulante (mg/l)	Velocidad de agitación (rpm)	Tiempo de agitación (min)	Demanda química de oxígeno (mg/l)	Demanda bioquímica de oxígeno (mg/l)
400	60	1	595.0	310.0
			595.0	309.0
			594.0	309.0
			594.0	309.0
	<b>Promedio</b>		<b>594.5</b>	<b>309.3</b>
	100		588.0	299.0
			589.0	298.0
			588.0	298.0
		588.0	298.0	
	<b>Promedio</b>	<b>588.3</b>	<b>298.3</b>	
	60	2	560.0	285.0
			561.0	285.0
			561.0	284.0
			561.0	285.0
<b>Promedio</b>			<b>560.8</b>	<b>284.8</b>
100			540.0	277.0
			542.0	275.0
			542.0	275.0
	541.0	275.0		
<b>Promedio</b>	<b>541.3</b>	<b>275.5</b>		

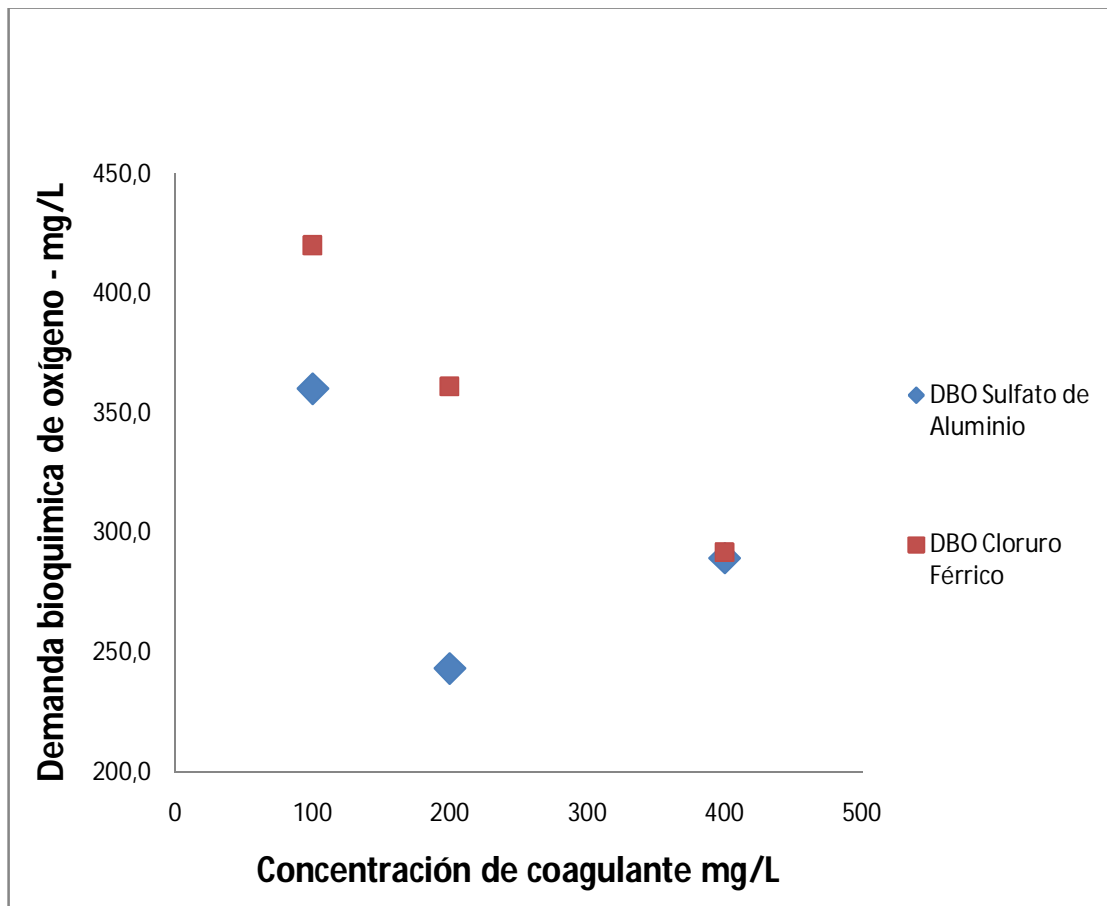
Fuente: incisos No. 3.8.1 y 3.8.2 de la sección tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.

Figura 2. Disminución de la demanda química de oxígeno sulfato de aluminio - cloruro férrico



Fuente: tablas LXVI a LXXI.

Figura 3. Disminución de la demanda bioquímica de oxígeno sulfato de aluminio - cloruro férrico



Fuente: tablas LXVI a LXXI.



**4.6. Prueba t de student para determinar el grado de significancia estadística**

**TABLA LXXII. Grado de significancia estadística para la demanda química de oxígeno utilizando 100 mg/l de cada coagulante**

	<b>Sulfato de aluminio</b>	<b>Cloruro férrico</b>	<b>T de student</b>
No. Estudios	4	4	106.128
Media	750.8	846.7	
Desviación estándar	1.819	1.212	
Varianza	1.349	1.101	

Fuente: inciso No. 3.8.8 de la sección tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.

**TABLA LXXIII. Grado de significancia estadística para la demanda química de oxígeno utilizando 200mg/l decada coagulante**

	<b>Sulfato de aluminio</b>	<b>Cloruro férrico</b>	<b>T de student</b>
No. Estudios	4	4	226.759
Media	468.2	654.8	
Desviación estándar	1.212	0.866	
Varianza	1.101	0.931	

Fuente: inciso No. 3.8.8 de la sección tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.

**TABLA LXXIV. Grado de significancia estadística para la demanda química de oxígeno utilizando 400mg/l decada coagulante**

	<b>Sulfato de aluminio</b>	<b>Cloruro férrico</b>	<b>T de student</b>
No. Estudios	4	4	-64.344
Media	627.1	571.2	
Desviación estándar	1.415	1.155	
Varianza	1.190	1.075	

Fuente: inciso No. 3.8.8 de la sección tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.

**TABLA LXXV. Grado de significancia estadística para la demanda bioquímica de oxígeno utilizando 100mg/l de cada coagulante**

	<b>Sulfato de aluminio</b>	<b>Cloruro férrico</b>	<b>T de student</b>
No. Estudios	4	4	75.352
Media	360.4	420.1	
Desviación estándar	0.722	1.068	
Varianza	0.850	1.033	

Fuente: inciso No. 3.8.8 de la sección tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.

**TABLA LXXVI. Grado de significancia estadística para la demanda bioquímica de oxígeno utilizando 200mg/l de cada coagulante**

	<b>Sulfato de aluminio</b>	<b>Cloruro férrico</b>	<b>T de student</b>
No. Estudios	4	4	142.450
Media	243.3	361.1	
Desviación estándar	0.981	1.126	
Varianza	0.990	1.061	

Fuente: inciso No. 3.8.8 de la sección tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.

**TABLA LXXVII. Grado de significancia estadística para la demanda bioquímica de oxígeno utilizando 400mg/l de cada coagulante**

	<b>Sulfato de aluminio</b>	<b>Cloruro férrico</b>	<b>T de student</b>
No. Estudios	4	4	3.033
Media	289.4	291.9	
Desviación estándar	0.981	1.097	
Varianza	0.990	1.047	

Fuente: inciso No. 3.8.8 de la sección tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.



## 5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Coagulante es un compuesto químico que favorece la separación de una fase insoluble en agua por medio de la sedimentación, esta separación es el resultado de la desestabilización de las cargas eléctricas que existen en el agua residual a tratar, este fenómeno se ve favorecido principalmente por la concentración del coagulante adicionado, el tiempo de contacto proporcionado, la velocidad de mezclado y el pH en que se encuentra el agua residual al momento de adicionar el coagulante; otro factor que afecta en el rendimiento de un coagulante es la temperatura.

Utilizando dos coagulantes inorgánicos comerciales como son el sulfato de aluminio ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ) y el cloruro férrico ( $\text{FeCl}_3$ ), se realizó un estudio comparativo determinando con cuál de los dos coagulantes bajo las mismas condiciones se obtiene una menor demanda química y bioquímica de oxígeno y por lo tanto un mayor porcentaje de remoción de las mismas. Las condiciones del efluente a tratar fueron de pH de 7,7, demanda química de oxígeno (DQO) de 3700,0 mg/l, demanda bioquímica de oxígeno de (DBO) de 1896,0 mg/l y temperatura promedio de 27°C, como se muestra en la tabla VII de la sección de recolección y ordenamiento de la información, con un volumen total de 56,77 litros (15 galones) y utilizando 24 litros del efluente para cada coagulante, el resto del agua se utilizó como respaldo para evitar tomar una segunda muestra con las condiciones iniciales diferentes.

Con el pH regulado a 7,7, se procedió a determinar bajo las mismas concentraciones, tiempos de contacto y velocidad de mezclado, con cuál de los dos coagulantes seleccionados se obtenía la menor demanda química y

bioquímica de oxígeno al final del proceso. Utilizando el equipo de jarras adaptado (ver figura del apéndice 3), primero se procedió a evaluar la eficiencia del sulfato de aluminio aplicando la misma concentración, tiempo de contacto y velocidad de agitación en las cuatro secciones del equipo de jarras, esto con la finalidad de poder medir con precisión la demanda química y bioquímica de oxígeno después. Aplicando la primera concentración de 100 mg/l de sulfato de aluminio, con un tiempo de contacto de un minuto y una velocidad de mezclado de 60 revoluciones por minuto, se toma la primer muestra de 200ml, una muestra por sección, para realizar el análisis de la demanda química y bioquímica de oxígeno según el procedimiento descrito en las secciones 3.5.1 y 3.5.2 de técnicas cuantitativas.

Continúa el procedimiento utilizando nueva muestra y con igual concentración pero variando la velocidad de mezclado a 100 revoluciones por minuto, se toma nuevamente la muestra para análisis.

En el tercer procedimiento, se mantiene invariable la concentración, con un tiempo de contacto de 2 minutos y velocidad de mezclado de 60 revoluciones por minutos, tomando una nueva muestra para análisis. Por último manteniendo constante la concentración, con un tiempo de 2 minutos se aumenta la velocidad de mezclado a 100 revoluciones por minutos y se toma la muestra para su análisis.

Realizando el mismo procedimiento, se determinó la demanda química y bioquímica de oxígeno para concentraciones de 200 y 400 mg/l tanto para el sulfato de aluminio como para el cloruro férrico y los resultados se encuentran en las tablas VIII y IX de la sección de recolección y ordenamiento de la información y en las tablas LXVI a la LXIX de la sección 4.5 de resultados.

Ya habiendo obtenido los resultados de la demanda química y bioquímica de oxígeno para todas variaciones realizadas con sulfato de aluminio y cloruro férrico, se realiza una comparación con los límites máximos permisibles según el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 del Ministerio de Ambiente y recursos naturales de Guatemala, dicho acuerdo dicta los valores máximos de los parámetros fisicoquímicos con que debe cumplir la descarga de aguas en Guatemala.

La comparación se realizó con el promedio de la demanda química y bioquímica de oxígeno obtenida para cada concentración de sulfato de aluminio y cloruro férrico utilizadas y para el efluente original a tratar, obteniendo que para el efluente original la demanda química de oxígeno es de 184,62% mayor que el límite máximo permitido y la demanda bioquímica de oxígeno es de 170,86% mayor que el límite, estos datos solo refuerzan la necesidad a utilizar un tipo de tratamiento para el agua residual ya que se encuentran muy por arriba de los límites máximos permitidos, en la tabla XLVII de la sección 4.2 de de resultados se encuentra la comparación completa del efluente original con los límites máximos del Acuerdo Gubernativo No. 236-2006.

Analizando el efluente tratado con 100 mg/l de sulfato de aluminio, el resultado de la demanda química de oxígeno es de 42,25% menor que el límite máximo y la demanda bioquímica de oxígeno es de 48,52% menor, encontrándose la comparación completa en la tabla XLVIII de la sección 4.2 de de resultados. Para una concentración de 200mg/l el resultado de la demanda química de oxígeno es de 63,90% menor que el límite máximo y de la demanda bioquímica de oxígeno es de 65,24% menos, encontrándose la comparación completa en la tabla XLIX de la sección 4.2 de resultados.

Con la concentración final de 400mg/l se obtiene una demanda química de oxígeno de 51,76% menor y la demanda bioquímica de oxígeno de 58,66% menor que el límite máximo, encontrándose la comparación completa en la tabla L de la sección 4.2 de de resultados.

Utilizando cloruro férrico como coagulante a 100 mg/l se obtiene una demanda química de oxígeno de 34,87% menor que el límite máximo y una demanda bioquímica de oxígeno de 39,99% menor, la comparación completa se encuentra en la tabla LI de la sección 4.2 de resultados. Con una concentración de 200 mg/l resulta una demanda química de oxígeno de 49,63% menor y una demanda bioquímica de oxígeno de 48,41% menor que el límite máximo, la comparación completa se encuentra en la tabla LII de la sección 4.2 de resultados.

Con la última concentración de 400mg/l se obtiene una demanda química de oxígeno de 56,06% menor y una demanda bioquímica de oxígeno de 58,29% menor que el límite máximo permitido, la comparación completa se encuentra en la tabla LIII de la sección 4.2 de resultados.

De acuerdo a los resultados obtenidos por la comparación de la demanda química y bioquímica de oxígeno con los límites máximos permitidos en el Acuerdo Gubernativo 236-2006, el sulfato de aluminio presenta mayor disminución de estos dos parámetros que el cloruro férrico y utilizando menores concentraciones bajo las mismas condiciones.

La evaluación de la capacidad coagulante del sulfato de aluminio y cloruro férrico se realizó tomando como base el porcentaje de remoción de la demanda química y bioquímica de oxígeno que estos dos presentan bajo las mismas condiciones.



El porcentaje de remoción de la demanda química de oxígeno con sulfato de aluminio a una concentración de 100 mg/l es a un tiempo de 1 minuto con velocidad de mezclado de 60 RPM de 78,95%, con una velocidad de mezclado aumentada a 100RPM es de 79,45%, aumentando el tiempo de contacto a 2 minutos y un tiempo de mezclado de 60RPM se obtiene un porcentaje de remoción promedio de 80,01% y al aumentar la velocidad de mezclado a 100 RPM, el porcentaje de remoción aumenta a 80,43%, estos datos se encuentran en la tabla LIV de la sección 4.3 de resultados.

Al utilizar una concentración de 200 mg/l de sulfato de aluminio los porcentajes de remoción promedios obtenidos son de 86,26%, 86,62%, 87,84% y 88,66% respectivamente, los cuales presentan el mismo comportamiento que la demanda química de oxígeno, es decir que presentan la mayor cantidad removida en la concentración de 200 mg/l, como puede observarse en la tabla LV de la sección 4.3 de resultados.

Utilizando la concentración final de 400mg/l de sulfato de aluminio, los porcentajes de remoción promedio obtenidos son de 81,79%, 82,41%, 83,82% y 84,20%. En el uso de coagulantes para el tratamiento de aguas residuales, la cantidad adecuada a utilizar debe ser un factor muy importante en el tratamiento diario, debido al hecho de que utilizar un exceso no siempre conlleva a resultados favorables, ya que el coagulante que no reaccionó produce cierta cantidad de demanda química y bioquímica de oxígeno por lo que los resultados obtenidos no se refieren únicamente a la demanda del efluente tratado.

Se utilizó el mismo procedimiento para determinar el porcentaje de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno, obteniendo que para 100mg/l de sulfato de aluminio los porcentajes de remoción promedios son de 79,18%, 80,30%, 81,63% y 82,86%, como puede observarse en la tabla LIV de la sección 4.3 de resultados. Para una concentración de 200 mg/l los promedios del porcentaje de remoción son de 85,75%, 86,85%, 87,63% y 88,44%. Para la última concentración de 400 mg/l los porcentajes obtenidos son 84,14%, 84,31%, 84,98% y 85,51%. Manteniendo la tendencia que a una concentración de 200 mg/l de sulfato de aluminio se obtiene la menor demanda química y bioquímica de oxígeno y por lo tanto el mayor porcentaje de remoción.

Al utilizar el cloruro férrico se continuó utilizando el mismo procedimiento de primero para una concentración y tiempo de contacto constantes, variar la velocidad de mezclado en 60 y 100 revoluciones por minuto (RPM), y luego variando el tiempo de contacto de 1 a 2 minutos, donde se obtuvo que para una concentración de 100 mg/l de cloruro férrico los porcentajes de remoción de la demanda química de oxígeno son de 75,98%, 76,90%, 77,51% y 78,08%.

Al utilizar una concentración de 200 mg/l de cloruro férrico se obtienen valores de remoción de 81,86%, 81,89%, 82,72% y 83,25%. Al utilizar la concentración de 400 mg/l los porcentajes de remoción obtenidos son de 83,93%, 84,10%, 84,84% y 85,37%. A diferencia del sulfato de aluminio, el cloruro férrico actúa mejor a pH menores a 6, por lo que al aumentar la concentración parte de la solución de cloruro férrico neutraliza el agua a tratar y el exceso realiza la operación de coagulación.

Para determinar el porcentaje de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno, se obtiene que para 100mg/l de cloruro férrico los porcentajes de remoción promedios son de 76,46%, 77,70%, 78,30% y 78,92%.

Para una concentración de 200 mg/l los promedios del porcentaje de remoción son de 79,44%, 80,51%, 81,55% y 82,30%. Para la última concentración de 400 mg/l los porcentajes obtenidos son 83,69%, 84,27%, 84,98% y 85,47%, observándose la misma tendencia que presenta el porcentaje de remoción de la demanda química de oxígeno y presentando la mayor reducción a una concentración de 400 mg/l.

El índice de biodegradabilidad es una herramienta que nos permite evaluar si el efluente es tratable por medios biológicos o no, si el cociente de DQO/DBO se encuentra en el rango de 1.7 a 2.4 se considera que el efluente puede ser tratado por medios biológicos. Realizando igual procedimiento que para obtener la demanda química y bioquímica de oxígeno, así como sus respectivos porcentajes de remoción se determinó el índice de biodegradabilidad para el efluente original así como para cada efluente tratado con las diferentes concentraciones, obteniendo un índice de biodegradabilidad de 1.95 para el efluente original por lo que este puede ser tratado por medios biológicos tales como lagunas de oxidación ó utilizando productos como bacterias digestoras o enzimas.

Para el efluente tratado con 100 mg/l de sulfato de aluminio se obtuvo un índice de biodegradabilidad de 1,97, 2,04, 2,12 y 2,23. Utilizando una concentración de 200 mg/l los índices de biodegradabilidad obtenidos son 1,88, 1,99, 1,92 y 1,91. Con una concentración de 400 mg/l los índices de biodegradabilidad resultantes son de 2,24, 2,19, 2,10 y 2,13. Los valores obtenidos reflejan la capacidad de los efluentes de continuar siendo tratados por medios biológicos hasta obtener los valores mínimos de la demanda química y bioquímica de oxígeno.

Para determinar si el tratamiento con cloruro férrico permite la continuidad de degradación por medios biológicos se realizó el estudio de índice de biodegradabilidad, obteniendo para 100 mg/l de cloruro férrico 1,99, 2,02, 2,02 y 2,03 de índice de biodegradabilidad. Con una concentración de 200 mg/l el índice de biodegradabilidad obtenido es de 1,77, 1,81, 1,83 y 1.85 respectivamente. Para 400 mg/l de cloruro férrico los índices de biodegradabilidad obtenidos son de 1,92, 1,97, 1,97 y 1,96. Con estos resultados se puede seguir realizando tratamientos biológicos después de aplicar el coagulante y así obtener menores demandas químicas y bioquímicas de oxígeno.

Realizando la comparación de los resultados obtenidos con la demanda química y bioquímica de oxígeno, así como el porcentaje de remoción de dichos parámetros para el sulfato de aluminio y cloruro férrico, se puede observar que para el sulfato de aluminio a una concentración de 200 mg/l, con un tiempo de contacto de 2 minutos y velocidad de mezclado de 100 revoluciones por minuto presenta la menor demanda química de oxígeno con 419,8mg/l y una desviación estándar de 0,81 mg/l, como se muestra en la tabla XI de la sección 3.8 análisis estadístico. La demanda bioquímica de oxígeno presenta el mismo comportamiento que la demanda química y presenta su menor valor a 200mg/l de 219,3 mg/l con una desviación estándar de 0,92mg/l, como se muestra en la tabla XIV de la sección 3.8 análisis estadístico.

El máximo porcentaje de remoción de demanda química de oxígeno presentado es de 88,66% con una desviación estándar de 0,00028% y el porcentaje máximo de la demanda bioquímica presentado es de 88,44% con una desviación estándar de 0,00041%.

Respecto al cloruro férrico este presenta las menores demandas químicas y bioquímicas de oxígeno, así como los porcentajes de remoción para estos parámetros en una concentración de 400 mg/l, con un tiempo de contacto de 2 minutos y velocidad de mezclado de 100 revoluciones por minuto, obteniendo 541,3mg/l con una desviación estándar de 1,73mg/l de la demanda química de oxígeno y 275,5mg/l de demanda bioquímica de oxígeno con una desviación estándar de 1,73 mg/l.

El porcentaje de remoción de la demanda química de oxígeno determinado para una concentración de 400mg/l de cloruro férrico es de 85,37% con una desviación estándar de 0,000468% y el porcentaje de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno es 85,47% con una desviación estándar de 0,000907%.

Para determinar el grado de significancia estadístico para el estudio realizado, se utilizó como parámetro de comparación la t de student, en la cual a un grado de libertad de 6 y con una probabilidad de 99,5% el límite establecido es de 3.707, demostrando así la hipótesis alterna que nos refiere que si existe diferencia significativa en el uso del coagulante sulfato de aluminio sobre cloruro férrico debido que para la demanda química de oxígeno la t obtenida es de 226 y para la demanda bioquímica de oxígeno es de 142.

El estudio se realizó manteniendo constantes las variables de pH, temperatura y presión; variando la concentración de coagulante, el tiempo de contacto y la velocidad de mezclado.

A estas condiciones el sulfato de aluminio mostró ser un coagulante más efectivo que el cloruro férrico, presentando menores valores de la demanda química y bioquímica de oxígeno y concentraciones de uso más bajas, principalmente por que el cloruro férrico tiene un rango de acción a pH menores a 6, por lo que parte de la solución que se adicionaba al efluente a tratar era utilizada para neutralizar el agua y llevarla por debajo de 6, el resto es la cantidad de cloruro férrico que reacciona en el proceso.

## CONCLUSIONES

1. El efluente tratado con el coagulante sulfato de aluminio presenta una menor demanda química y bioquímica de oxígeno para todas las concentraciones analizadas que el cloruro férrico.
2. La concentración óptima en la que el sulfato de aluminio presenta la menor demanda química y bioquímica de oxígeno, así como el mayor porcentaje de remoción para estos parámetros es de 200mg/l .
3. El porcentaje de reducción de la demanda química de oxígeno para el efluente tratado con el coagulante sulfato de aluminio a 200 mg/L es 88,65% respecto al efluente original.
4. El porcentaje de reducción de la demanda bioquímica de oxígeno para el efluente tratado con el coagulante sulfato de aluminio a 200 mg/L es 88,44% respecto al efluente original.
5. Para todas las variables de concentración, tiempo y velocidad estudiadas, el agua después del tratamiento con coagulante presenta parámetros por debajo de los límites máximos permisibles en el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006.

6. El efluente tratado con coagulante cloruro férrico presenta la menor demanda química y bioquímica de oxígeno a una concentración de 400 mg/l.
7. El porcentaje de reducción de la demanda química de oxígeno para el efluente tratado con el coagulante cloruro férrico a 400 mg/L es 85,37% respecto al efluente original.
8. El porcentaje de reducción de la demanda bioquímica de oxígeno para el efluente tratado con el coagulante cloruro férrico a 400 mg/L es 85,47% respecto al efluente original.
9. El coagulante sulfato de aluminio presenta una reducción de 28,95% en la demanda química de oxígeno y 25,66% en la demanda bioquímica de oxígeno mayor que el coagulante cloruro férrico bajo las condiciones de trabajo.
10. El índice de biodegradabilidad obtenido al final utilizando tanto sulfato de aluminio como cloruro férrico se encuentra dentro del rango establecido de 1.7 – 2.4, por lo que se considera que aún es susceptible a ser tratado por medios biológicos.
11. Si existe una diferencia significativa en el tratamiento con los dos coagulante debido a que en el análisis de la t de student se obtiene un t de 226 para la demanda química de oxígeno y de 142 para la demanda bioquímica de oxígeno, las cuales son superiores al límite de 3.707 referido en la tabla LXXIX del apéndice 3.



## RECOMENDACIONES

1. Es necesario que la muestra original sea de un volumen suficiente para realizar todos los análisis contemplados.
2. Realizar los experimentos el mismo día que se recolecta la muestra para evitar la oxidación de las grasas y aceites presentes.
3. Realizar la evaluación de la demanda química de oxígeno para la mayor cantidad de muestras posibles en un mismo día y guardar en refrigeración a una temperatura menor de 7°C en un tiempo no mayor de 72 horas las que no fueron posibles analizar para evitar la descomposición de la muestras.
4. Debido a que los resultados de la demanda bioquímica de oxígeno se obtienen hasta el quinto día de que inicio el análisis, las muestras que no son analizadas se deben almacenar a una temperatura menor de 7°C para evitar la descomposición de la muestra y falsos resultados.
5. Preparar las soluciones de sulfato de aluminio y cloruro férrico utilizando el equipo de seguridad adecuado, ya que estas son soluciones ácidas y corrosivas

6. Preparar soluciones diluidas de sulfato de aluminio y cloruro férrico, de preferencia al 1% m/m, de esta manera se optimiza el área de contacto entre las fases.
7. Preparar las soluciones de los coagulantes el mismo día en que se utilizarán para evitar la descomposición de las mismas.
8. Utilizar el equipo de jarras estándar para obtener una mejor correlación en los resultados, el cual consiste en 6 secciones de un litro, a comparación del equipo de jarras ajustado que se utilizó que consistía de 4 secciones de 500ml.
9. Homogenizar la muestra del efluente original debido a que es una etapa crítica para determinar de manera precisa los parámetros fisicoquímicos de interés antes y después de adicionar los dos coagulantes de estudio a sus diferentes concentraciones.
10. Realizar un estudio sobre la incidencia del tiempo de sedimentación de los coágulos formados para los resultados de la demanda química y bioquímica de oxígeno.
11. Atender las indicaciones de seguridad y primeros auxilios que dicta el manejo de productos químicos durante toda la etapa de experimentación y preparación de soluciones.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. GARAY, J., y otros. *Manual de técnicas analíticas de parámetros físico – químicos y contaminantes marinos*. 3a ed. Centro de investigaciones oceanográficas e hidrográficas. Colombia, Cartagena, 1993. 109p.
2. GÓMEZ CARDENAS, Mirna Concepción. “Optimización del tratamiento fisicoquímico de desechos industriales en una empresa manufacturera de jabones” Guatemala USAC, 2000. 798p.
3. LÓPEZ NAVARRO, Juan. “Caracterización de las aguas residuales de una industria de fabricación de fragancias, y propuesta de tratamiento y disposición de las mismas”, Guatemala USAC, 2002. 77p.
4. SOTO VELÁSQUEZ, Margaret Haydeé. “Diseño del proceso e implementación implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales a nivel de laboratorio, provenientes de la línea de producción de químicos para lavandería de una planta industrial” Guatemala: USAC, 2007. 70p.
5. ROBERT, Jhonson. *Estadística Elemental*, 2a ed., México, Thomson, 1999. 482p.



## BIBLIOGRAFÍA

1. KEHR, Roberto. *Agua, su Calidad y Tratamiento*. 5a ed. México, Hispano-Americana. 1968. 960p.
2. MORATAYA BERDUO, Alvaro Eduardo. "Tratamientos de aguas residuales para minimizar el impacto ambiental en la industria de empaques de cartón" Guatemala: USAC, 2003. 106p.
3. RODIER, J. *Análisis de Aguas: aguas naturales, aguas residuales, agua de mar*. Barcelona, Omega. 1981. 1059p.



## APÉNDICE

### APÉNDICE 1

**Requisitos Académicos: evaluación a nivel laboratorio de la eficiencia de dos coagulantes para el tratamiento de aguas residuales provenientes de la producción de aceites y grasas comestibles**

1er paso.	2do Paso	3er Paso	4to Paso	5to Paso	6to Paso	7mo paso	8vo Paso
Carrera	Área	Tema genérico	Tema Especifico	Especificación	Problema a Resolver	Hipótesis	Temario Tentativo
Licenciatura en Ingeniería Química	Química	Química III	Expresiones de Concentración	Molaridad, Normalidad, partes por millón (ppm)	Evaluar la disminución en la demanda química y bioquímica de oxígeno obtenida en el agua residual proveniente de la producción de aceites y grasas comestibles por medio del tratamiento con sulfato de aluminio y cloruro férrico	Si existe una diferencia significativa en el porcentaje de reducción de la demanda química y bioquímica de oxígeno entre el tratamiento con sulfato de aluminio y cloruro férrico	<p style="text-align: center;">INDICE GENERAL INDICE DE ILUSTRACIONES INDICE DE TABLAS LISTADO DE SÍMBOLOS GLOSARIO RESUMEN OBJETIVOS HIPÓTESIS INTRODUCCIÓN ANTECEDENTES MARCO TEÓRICO DISEÑO METODOLÓGICO VARIABLES DELIMITACIÓN DE CAMPO DE ESTUDIO RECURSOS HUMANOS DISPONIBLES RECURSOS MATERIALES DISPONIBLES TÉCNICA CUALITATIVA O CUANTITATIVA RECOLECCIÓN Y ORDENAMIENTO DE LA INFORMACIÓN TABLACIÓN, ORDENAMIENTO Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN ANÁLISIS ESTADÍSTICO RESULTADOS INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS CONCLUSIONES RECOMENDACIONES BIBLIOGRAFÍA</p>
		Química IV	Equilibrio Homogéneo	Equilibrio de fases			
			Sistemas Coloidales	Interacción del colóide en las fases			
		Análisis Cualitativo	Equilibrio ácido-base	Neutralización			
		Análisis Cuantitativo	Métodos analíticos clásicos o estequiométrico	Métodos Gravimétricos y Volumétricos			
	Operaciones Unitarias	Flujo de Fluidos (IQ 2)	Principios de transferencia de momento Lineal	Agitación y Mezcla			
	Fisicoquímica						
	Ciencias Básicas y Complementarias			Análisis de medidas de distribución y porcentaje de error para un conjunto de datos.			
Especialización		Estadística	Análisis de Datos				

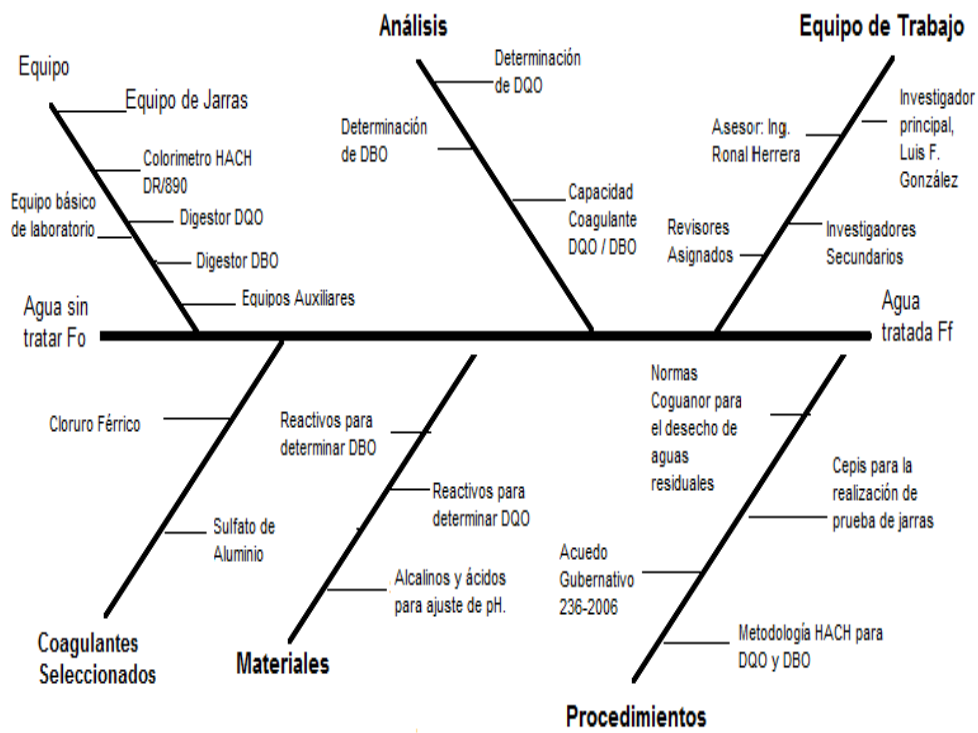
Fuente: Pensum de estudios de Ingeniería Química.





## APÉNDICE 2

### Diagrama de Ishikawa



Fuente: diseño metodológico.



## APÉNDICE 3

**Equipos utilizados en la determinación de la demanda química y bioquímica de oxígeno**

### Equipo de jarras adaptado



Fuente: imágenes propias.

### Colorímetro Hach DR 890



Fuente: imágenes propias.

## Equipo para determinación de la demanda química de oxígeno



Fuente: imágenes propias.

## Equipo para determinación de la demanda bioquímica de oxígeno




Fuente: imágenes propias.

## ANEXO

### ANEXO 1

#### Acuerdo Gubernativo 236-2006

<p style="text-align: center;"></p> <p style="text-align: center;"><b>MINISTERIO DE AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES</b></p> <p style="text-align: center;">Acuérdase emitir el REGLAMENTO DE LAS DESCARGAS Y REUSO DE AGUAS RESIDUALES Y DE LA DISPOSICIÓN DE LODOS.</p> <p style="text-align: center;"><b>ACUERDO GUBERNATIVO NÚMERO 236-2006</b></p> <p style="text-align: center;">Guatemala, 5 de mayo de 2006.</p> <hr/> <p style="text-align: center;">EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA</p> <p style="text-align: center;"><b>CONSIDERANDO:</b></p> <p>Que por imperativo constitucional el Estado, las municipalidades y los habitantes de territorio nacional están obligados a propiciar el desarrollo social, económico y tecnológico que prevenga el impacto adverso del ambiente y mantenga el equilibrio ecológico, para lo cual es necesario dictar normas que garanticen la utilización y el aprovechamiento racional de la fauna, de la flora, de la tierra y del agua, evitando su depredación.</p> <p style="text-align: center;"><b>CONSIDERANDO:</b></p> <p>Que la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, tiene por objeto velar por el mantenimiento del equilibrio ecológico y la calidad del medio ambiente para mejorar la calidad de vida de los habitantes del país.</p> <p style="text-align: center;"><b>CONSIDERANDO:</b></p> <p>Que de conformidad con la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, se deben emitir las disposiciones y reglamentos correspondientes para ejercer el control, aprovechamiento y uso de las aguas; así como prevenir, controlar y determinar los niveles de contaminación de los ríos, lagos y mares y cualquier otra causa o fuente de contaminación hídrica.</p> <p style="text-align: center;"><b>CONSIDERANDO:</b></p> <p>Que es necesario contar con un instrumento normativo moderno que ofrezca certeza jurídica para la inversión, permita la creación de empleo, propicie el mejoramiento progresivo de la calidad de las aguas y contribuya a la sostenibilidad del recurso hídrico; coordinando para el efecto los esfuerzos de los órganos de la administración pública con las municipalidades y la sociedad civil.</p>
--

Fuente: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

## Continuación. Acuerdo Gubernativo 236-2006

<p style="text-align: center;"><b>POR TANTO:</b></p> <p>En uso de las funciones que le confieren el artículo 153 literal e) de la Constitución Política de la República de Guatemala;</p> <p style="text-align: center;"><b>ACUERDA:</b></p> <p>Entrar en vigor el:</p> <p style="text-align: center;"><b>REGlamento DE LAS DESCARGAS Y REUSO DE AGUAS RESIDUALES Y DE LA DISPOSICIÓN DE LODOS</b></p> <p style="text-align: center;"><b>CAPÍTULO I</b></p> <p style="text-align: center;"><b>DISPOSICIONES GENERALES</b></p> <p><b>Artículo 1. OBJETO.</b> El objeto del presente Reglamento es establecer los criterios y requisitos que deben cumplirse para la descarga y reuso de aguas residuales, así como para la disposición de lodos. Lo anterior para que, a través del mejoramiento de las características de dichas aguas, se logre establecer un proceso continuo que permita:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>a) Proteger los cuerpos receptores de agua de los impactos provenientes de la actividad humana;</li> <li>b) Recuperar los cuerpos receptores de agua en proceso de eutrofización;</li> <li>c) Promover el desarrollo del recurso hídrico con visión de gestión integrada.</li> </ol> <p>También es objeto del presente Reglamento establecer los mecanismos de evaluación, control y seguimiento para que el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales promueva la conservación y mejoramiento del recurso hídrico.</p> <p><b>Artículo 2. APLICACIÓN.</b> El presente Reglamento debe aplicarse a:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>a) Los entes generadores de aguas residuales;</li> <li>b) Las personas que descarguen sus aguas residuales de tipo especial al alcantarillado público;</li> <li>c) Las personas que produzcan aguas residuales para reuso;</li> <li>d) Las personas que reúnen personal o tratamiento aguas residuales; y</li> <li>e) Las personas responsables del manejo, tratamiento y disposición final de lodos.</li> </ol> <p><b>Artículo 3. COMPETENCIA.</b> Compete la aplicación del presente Reglamento al Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Las Municipalidades y demás instituciones de gobierno, incluidas las descentralizadas y autónomas, deberán hacer del conocimiento de dicho Ministerio los hechos contrarios a estas disposiciones, para los efectos de la aplicación de la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente.</p> <p style="text-align: center;"><b>CAPÍTULO II</b></p> <p style="text-align: center;"><b>DEFINICIONES</b></p> <p><b>Artículo 4. DEFINICIONES.</b> Para los efectos de la aplicación e interpretación de este Reglamento, se entenderá por:</p> <p><b>AFLUENTE:</b> el agua costada por un ente generador.</p> <p><b>AGUAS RESIDUALES:</b> las aguas que han recibido uso y cuyas calidades han sido modificadas.</p> <p><b>AGUAS RESIDUALES DE TIPO ESPECIAL:</b> las aguas residuales generadas por servicios públicos municipales y actividades de servicios, industriales, agrícolas, pecuarias, hospitalarias y lodos azules que no sean de tipo ordinario, así como la mezcla de las mismas.</p> <p><b>AGUAS RESIDUALES DE TIPO ORDINARIO:</b> las aguas residuales generadas por las actividades domésticas, tales como uso en servicios sanitarios, piscas, lavamanos, lavabos, lavado de ropa y otros similares, así como la mezcla de las mismas, que se conduzcan a través de un alcantarillado.</p> <p><b>ALCANTARILLADO PLUVIAL:</b> el conjunto de tuberías, canalizaciones y obras accesorias para recolectar y conducir las aguas de lluvia.</p> <p><b>ALCANTARILLADO PÚBLICO:</b> el conjunto de tuberías y obras accesorias (filtros) por la municipalidad para recolectar y conducir las aguas residuales de tipo ordinario o de tipo especial, o combinación de ambas que deben ser previamente tratadas antes de descargarlas a un cuerpo receptor.</p> <p><b>CARACTERIZACIÓN DE UNA MUESTRA:</b> la determinación de características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales, aguas para reuso o lodos.</p> <p><b>CARACTERIZACIÓN DE UN AFLUENTE O UN AFLUENTE:</b> la determinación de características físicas, químicas y biológicas de las aguas, incluyendo caudal, de los parámetros requeridos en el presente Reglamento.</p> <p><b>CARGA:</b> el resultado de multiplicar el caudal por la concentración determinados en un efluente y expresado en kilogramos por día.</p> <p><b>CAUDAL:</b> el volumen de agua por unidad de tiempo.</p> <p><b>COLIFORMES FECALES:</b> el parámetro que indica la presencia de contaminación fecal en el agua y de bacterias patógenas, provenientes del tracto digestivo de los seres humanos y animales de sangre caliente.</p> <p><b>CUERPO RECEPTOR:</b> embalse natural, lago, laguna, río, quebrada, manantial, humedal, estuario, estero, manglar, pantano, aguas costeras y aguas subterráneas donde se descargan aguas residuales.</p>	<p><b>DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO:</b> la medida indirecta del contenido de materia orgánica en aguas residuales, que se determina por la cantidad de oxígeno utilizado en la oxidación biológica de la materia orgánica biodegradable durante un periodo de cinco días y una temperatura de veinte grados Celsius.</p> <p><b>DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO:</b> la medida indirecta del contenido de materia orgánica e inorgánica oxidable en aguas residuales, que se determina por la cantidad equivalente de oxígeno utilizado en la oxidación química.</p> <p><b>DILUCIÓN:</b> el proceso que consiste en agregar un volumen de agua con el propósito de disminuir la concentración en un efluente de aguas residuales.</p> <p><b>EFLUENTE DE AGUAS RESIDUALES:</b> las aguas residuales descargadas por un ente generador.</p> <p><b>ENTES GENERADORES:</b> la persona individual o jurídica, pública o privada, responsable de generar o administrar aguas residuales de tipo especial, ordinario o mezcla de ambas, y cuyo efluente final se descarga a un cuerpo receptor.</p> <p><b>ENTES GENERADORES EXISTENTES:</b> los entes generadores establecidos previo a la vigencia del presente Reglamento.</p> <p><b>ENTES GENERADORES NUEVOS:</b> los entes generadores establecidos posteriormente a la vigencia del presente Reglamento.</p> <p><b>ESTABILIZACIÓN DE LODOS:</b> el proceso físico, químico o biológico al que se someten los lodos para acondicionarlos previo a su aprovechamiento o disposición final.</p> <p><b>ESTERO:</b> la zona del litoral que se inunda durante la pleamar. Puede ser tanto arenoso como rocoso y en ocasiones alcanza gran amplitud, tanto mayor cuanto más leve sea la pendiente y más notoria las mareas. Con frecuencia tiene un amplio desarrollo en las desembocaduras fluviales.</p> <p><b>EUTROFIZACIÓN:</b> el proceso de disminución de la calidad de un cuerpo de agua como consecuencia del aumento de nutrientes, lo que a su vez propicia el desarrollo de microorganismos y limita la disponibilidad de oxígeno disuelto que requiere la fauna y flora.</p> <p><b>FERTIRRIEGO:</b> la técnica agrícola que permite el reuso de un efluente de aguas residuales, que no requiere tratamiento, a fin de aprovechar los diversos nutrientes que posee para destinarnos en la recuperación y mejoramiento de suelos así como en fertilización de cultivos que no se consumen crudos o procesados.</p> <p><b>HUMEDAL:</b> el sistema ecológico natural o artificial, de agua dulce o salada, de carácter temporal o permanente, generalmente en renano y de poca profundidad.</p> <p><b>INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN AMBIENTAL:</b> los documentos técnicos definidos en el Reglamento de Evaluación, Control y Seguimiento Ambiental, Acuerdo Gubernativo No. 23-2003 y sus reformas, contenidos en los Acuerdos Gubernativos No. 404-2003 y 704-2003, los cuales permiten realizar una identificación y evaluación sistemática de los impactos ambientales de un proyecto, obra, industria o cualquier otra actividad, desde la fase de construcción, hasta la fase de abandono.</p> <p><b>LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE:</b> el valor asignado a un parámetro, el cual no debe ser excedido en las etapas correspondientes para aguas residuales y en aguas para reuso y lodos.</p> <p><b>LODOS:</b> los sólidos con un contenido variable de humedad provenientes del tratamiento de aguas residuales.</p> <p><b>MANTO FREÁTICO:</b> la capa de roca subterránea, porosa y fisurada que actúa como reservorio de aguas que pueden ser utilizables por gravedad o por bombeo.</p> <p><b>META DE CUMPLIMIENTO:</b> la determinación numérica de los valores que deben alcanzarse en la descarga de aguas residuales el final de cada etapa de cumplimiento. En el caso de los entes generadores nuevos y de las personas nuevas que descargan al alcantarillado público, al iniciar operaciones.</p> <p><b>MODELO DE REDUCCIÓN PROGRESIVA:</b> el régimen de cumplimiento de valores de parámetros en cargas, con parámetro de calidad asociado, en distintas etapas.</p> <p><b>MONITOREO:</b> el proceso mediante el cual se obtienen, interpretan y evalúan los resultados de una o varias muestras, con una frecuencia de tiempo determinada, para establecer el comportamiento de los valores de los parámetros de efluentes, aguas para reuso y lodos.</p> <p><b>MUESTRA:</b> la parte representativa, a analizar, de las aguas residuales, aguas para reuso o lodos.</p> <p><b>MUESTRAS COMPUESTAS:</b> dos o más muestras simples que se toman en intervalos determinados de tiempo y que se adicionan para obtener un resultado de las características de las aguas residuales, aguas para reuso o lodos.</p> <p><b>MUESTRA SIMPLE:</b> la muestra tomada en una sola operación que representa las características de las aguas residuales, aguas para reuso o lodos en el momento de la toma.</p> <p><b>PARÁMETRO:</b> la variable que identifica una característica de las aguas residuales, aguas para reuso o lodos, asignándole un valor numérico.</p> <p><b>PARÁMETRO DE CALIDAD ASOCIADO:</b> el valor de concentración de demanda bioquímica de oxígeno, expresado en miligramos por litro, que determina la condición del efluente y se aplica en el modelo de reducción progresiva de cargas.</p>
---	--

MINISTERIO DE AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

Fuente: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

Continuación. Acuerdo Gubernativo 236-2006

**PERSONA QUE DESCARGA AL ALCANTARILLADO PÚBLICO:** la persona individual o jurídica, pública o privada, que descarga aguas residuales de tipo especial al alcantarillado público.

**PERSONA EXISTENTE QUE DESCARGA AL ALCANTARILLADO PÚBLICO:** la persona que descarga al alcantarillado público establecido previo a la vigencia del presente Reglamento.

**PERSONA NUEVA QUE DESCARGA AL ALCANTARILLADO PÚBLICO:** la persona que descarga al alcantarillado público establecido posteriormente a la vigencia del presente Reglamento.

**PUNTO DE DESCARGA:** el sitio en el cual el efluente de aguas residuales confluye en un cuerpo receptor o con otro efluente de aguas residuales.

**REGISO:** el aprovechamiento de un efluente, tratado o no.

**SERVICIOS PÚBLICOS MUNICIPALES:** aquellos que, de acuerdo con el Código Municipal, prestan las municipalidades directamente o los concesionarios y que generan aguas residuales de tipo especial, ordinario o mezcla de ambos.

**SISTEMA DE ALCANTARILLADO PRIVADO:** el conjunto de tuberías y obras accesorias para recibir y conducir las aguas residuales de tipo especial, ordenado por distintos personas individuales o jurídicas privadas, hasta su disposición a una planta de tratamiento de aguas residuales privada.

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES:** cualquier proceso físico, químico, biológico o una combinación de los mismos, utilizado para mejorar las características de las aguas residuales.

**CAPÍTULO III**

**ESTUDIO TÉCNICO**

**Artículo 5. ESTUDIO TÉCNICO.** La persona individual o jurídica, pública o privada, responsable de generar o administrar aguas residuales de tipo especial, ordinario o mezcla de ambos, que vierten éstas o no a un cuerpo receptor o al alcantarillado público tendrán la obligación de preparar un estudio avalado por técnicos en la materia a efecto de caracterizar efluentes, descargas, aguas para reuso y lodos.

**Artículo 6. CONTENIDO DEL ESTUDIO TÉCNICO.** Las personas individuales o jurídicas, públicas o privadas, indicadas en el artículo 5 del presente Reglamento, para documentar el estudio técnico deberán tomar en cuenta los siguientes requisitos:

- I. Información general:
  - a) Nombre, razón o denominación social.
  - b) Persona contacto ante el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
  - c) Descripción de la naturaleza de la actividad de la persona individual o jurídica que genera el efluente.
  - d) Horario de descarga de aguas residuales.
  - e) Descripción del tratamiento de aguas residuales.
  - f) Caracterización de efluente de aguas residuales, incluyendo sólidos sedimentables.
  - g) Caracterización de los aguas para reuso.
  - h) Caracterización de lodos o sludges.
  - i) Caracterización del efluente. Aplica si el caso de la deducción especial de parámetros del artículo 23 del presente Reglamento.
  - j) Identificación del cuerpo receptor hacia el cual se descargan las aguas residuales, si aplica.
  - k) Identificación del alcantarillado hacia el cual se descargan las aguas residuales, si aplica.
  - l) Enumeración de parámetros exigidos de medición y su justificación respectiva.
- II. Documentos:
  - a) Plano de localización y ubicación, con coordenadas geográficas, del ente generador o de la persona que descarga aguas residuales al alcantarillado público.
  - b) Plano de ubicación y localización, con coordenadas geográficas, del o los dispositivos de descarga, para la toma de muestras, tanto del efluente como del cuerpo receptor. En el caso del efluente, incluir para reuso y lodos. Las municipalidades o empresas encargadas de prestar el servicio de tratamiento de aguas residuales, a personas que descargan sus aguas residuales de tipo especial al alcantarillado público, incluirán la siguiente información al catastro de dichos usuarios y el monitoreo de sus descargas.
  - c) Plan de tratamiento de aguas residuales, si se descargan a un cuerpo receptor o alcantarillado.
  - d) Informe de resultados de las caracterizaciones realizadas.

**Artículo 7. RESGUARDO DEL ESTUDIO TÉCNICO.** La persona individual o jurídica conservará el Estudio Técnico, manteniéndolo a disposición de las autoridades del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales cuando se lo requieran por razones de seguimiento y evaluación.

**Artículo 8. INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN, CONTROL Y SEGUIMIENTO AMBIENTAL.** Para los efectos del cumplimiento del artículo 97 del Código de Salud, el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales aprobará un instrumento de Situación Ambiental a los entes generadores nuevos, incluído en la resolución el diagrama relacionado con la descarga de aguas residuales de conformidad con lo establecido en el presente Reglamento.

Para efectos de verificación y control del cumplimiento de este Reglamento, el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales deberá utilizar los instrumentos contenidos en el Reglamento de Evaluación, Control y Seguimiento Ambiental.

**Artículo 9. PLAZO PARA LA EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO Y CUMPLIMIENTO.** El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales deberá evaluar en forma permanente el desempeño ambiental y el cumplimiento de los planes contemplados en el numeral 8 Documento, literales c) y d) del artículo 6.

**Artículo 10. VIGENCIA DEL ESTUDIO TÉCNICO.** La persona individual o jurídica, pública o privada responsable de generar o administrar aguas residuales de tipo especial, ordinario o mezcla de ambos deberá, cada cinco años, actualizar el contenido del estudio técnico estipulado en el presente Reglamento.

**Artículo 11. AMPLIACIÓN DEL ESTUDIO TÉCNICO.** En caso de que las autoridades del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales determinen que la información del artículo 5 se puede fortalecer adicionando datos, justificará por escrito su requerimiento.

**Artículo 12. EJECUCIÓN DE MEDICIÓN DE PARÁMETROS.** La ejecución de medición de parámetros procederá cuando se demuestre a través del Estudio al que se refiere el artículo 5 del presente Reglamento, que por las características del proceso productivo no se genera alguna de los parámetros establecidos en el presente Reglamento, aplicables a descarga de aguas residuales, reuso de aguas residuales y lodos.

**CAPÍTULO IV**

**CARACTERIZACIÓN**

**Artículo 13. CARACTERIZACIÓN DEL AFLUENTE Y DEL EFUENTE DE AGUAS RESIDUALES.** La persona individual o jurídica, pública o privada, responsable de generar o administrar aguas residuales de tipo especial, ordinario o mezcla de ambos, que vierten éstas en un cuerpo receptor o al alcantarillado público, deberá realizar la caracterización del afluente, así como del efluente de aguas residuales e incluir los resultados en el estudio técnico.

**Artículo 14. CARACTERIZACIÓN DE AGUAS PARA REUSO.** La persona individual o jurídica, pública o privada, que genera aguas residuales para reuso o las reusa, deberá realizar la caracterización de las aguas que genera y que desea aprovechar e incluir el resultado en el estudio técnico.

**Artículo 15. CARACTERIZACIÓN DE LODOS.** La persona individual o jurídica, pública o privada, responsable de generar lodos, deberá realizar la caracterización de los mismos e incluir el resultado en el estudio técnico.

**CAPÍTULO V**

**PARÁMETROS PARA AGUAS RESIDUALES Y VALORES DE DESCARGA A CUERPOS RECEPTORES**

**Artículo 16. PARÁMETROS DE AGUAS RESIDUALES.** Los parámetros de medición para determinar las características de las aguas residuales son los siguientes:

- a) Temperatura.
- b) Potencial de hidrógeno.
- c) Grasas y aceites.
- d) Materia flotante.
- e) Sólidos suspendidos totales.
- f) Demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días a veinte grados Celsius.
- g) Demanda química de oxígeno.
- h) Nitrógeno total.
- i) Fósforo total.
- j) Arsénico.
- k) Cobalto.
- l) Calcio total.
- m) Cobre.
- n) Cromo hexavalente.
- o) Mercurio.
- p) Níquel.
- q) Plomo.
- r) Zinc.
- s) Color y
- t) Coliformes fecales.

**Artículo 17. MODELO DE REDUCCIÓN PROGRESIVA DE CARGAS DE DEMANDA BIQUÍMICA DE OXÍGENO.** Los entes generadores existentes deberán reducir en forma progresiva la demanda bioquímica de oxígeno de las aguas residuales que descarguen a un cuerpo receptor, conforme a los valores y etapas de cumplimiento del cuadro siguiente:

Etapas	Llave				
Fecha máxima de cumplimiento	Día de mayo de dos mil once				
Parámetro	5				
Carga máxima por día	800000-1000	800000-1000	1000000-1000	1000000-1000	800000-1000
Reducción porcentual	15	20	30	38	50
Etapas	Día				
Parámetro	4				
Fecha máxima de cumplimiento	Día de mayo de dos mil quince				
Carga máxima por día	1000000-1000	800000-1000	1000000-1000	1000000-1000	800000-1000
Reducción porcentual	15	20	40	45	50

Fuente: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

Continuación. Acuerdo Gubernativo 236-2006

Etapa	Tercera			
Fecha máxima de cumplimiento	Dos de mayo de dos mil veintiocho			
Descarga, litros	1			
Carga, kilogramos por día	300000-1000	100000-1000	100000-1000	100000-1000
Reducción progresiva	30	70	85	90
Etapa	Cuarta			
Fecha máxima de cumplimiento	Dos de mayo de dos mil veintiocho			
Descarga, litros	4			
Carga, kilogramos por día	10000-1000	10000-1000		
Reducción progresiva	40	90		

Para efectos de la aplicación del presente modelo, el valor inicial de descarga estará determinado en el Estudio Técnico. Dicho valor inicial, se refiere a la carga expresada en kilogramos por día de demanda bioquímica de oxígeno. Para los porcentajes de reducción de la etapa uno, se utilizará el valor inicial de descarga del Estudio Técnico y para cada una de las etapas siguientes, la carga inicial será el resultado obtenido de la reducción porcentual de la etapa anterior.

**Artículo 18. DETERMINACIÓN DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO.** Los entes generadores, en el Estudio Técnico, deberán incluir la determinación de la demanda química de oxígeno, a efecto de establecer su relación con la demanda bioquímica de oxígeno, mediante la siguiente fórmula: demanda química de oxígeno dividido entre la demanda bioquímica de oxígeno.

**Artículo 19. META DE CUMPLIMIENTO.** La meta de cumplimiento, al finalizar las etapas del modelo de reducción progresiva de cargas, se establece en tres mil kilogramos por día de demanda bioquímica de oxígeno, con un parámetro de calidad asociado igual o menor que doscientos miligramos por litro de demanda bioquímica de oxígeno. Los entes generadores existentes que atiendan y mantengan estos valores habrán cumplido con la meta establecida en este artículo y con el modelo de reducción progresiva de cargas del artículo 17 del presente Reglamento.

Los entes generadores existentes que registren cargas menores o iguales a tres mil kilogramos por día, pero que registren valores mayores a doscientos miligramos por litro en el parámetro de calidad asociado, procederán a efectuar la reducción del valor de dicho parámetro de conformidad con los porcentajes correspondientes a la primera columna del tableado correspondiente a los rangos, en el modelo de reducción progresiva de cargas del artículo 17 del presente Reglamento.

Los entes generadores existentes de aguas residuales de tipo especial y ordinario que después de tratar dichas aguas, y que en cualquiera de los etapas del modelo de reducción progresiva de cargas atiendan y mantengan valores en el parámetro de calidad asociado iguales o menores que cien miligramos por litro en la demanda bioquímica de oxígeno, podrán realizar descargas mayores a tres mil kilogramos por día de demanda bioquímica de oxígeno.

**Artículo 20. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES A CUERPOS RECEPTORES.** Los límites máximos permisibles de los parámetros para las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores son:

Parámetros	Dimensionales	Valores límites	Fecha máxima de cumplimiento			
			Uno	Dos	Tres	Cuatro
Temperatura	Grados Celsius	TGR + 1	TGR + 1	TGR + 1	TGR + 1	TGR + 1
Oxígeno disuelto	Miligramos por litro	1500	500	50	20	10
Óxidos suspendidos	Miligramos por litro	2000	500	100	100	100
Metales pesados	Miligramos por litro	1000	100	30	20	20
Fluoruro total	Miligramos por litro	100	10	30	10	30
Potencial de hidrógeno	Unidades de pH	6 a 9	6 a 8	6 a 8	6 a 8	6 a 8
Coliformes fecales	Unidades por mililitro	< 1x10 <sup>4</sup>	< 1x10 <sup>4</sup>	< 1x10 <sup>3</sup>	< 1x10 <sup>3</sup>	< 1x10 <sup>3</sup>
Amonio	Miligramos por litro	5	0.5	0.1	0.1	0.1
Cacato	Miligramos por litro	5	0.4	0.1	0.1	0.1
Cacato total	Miligramos por litro	5	3	1	1	1
Cobre	Miligramos por litro	5	4	1	1	1
Cromo hexavalente	Miligramos por litro	1	0.1	0.1	0.1	0.1
Mercurio	Miligramos por litro	0.1	0.1	0.05	0.05	0.01
Níquel	Miligramos por litro	6	4	2	2	2
Plomo	Miligramos por litro	4	1	0.4	0.4	0.4
Zinc	Miligramos por litro	10	10	10	10	10
Cálor	Unidades por hora	1000	1000	1000	1000	1000

TGR = temperatura del cuerpo receptor, en grados Celsius.

**Artículo 21. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA ENTES GENERADORES NUEVOS.** Los entes generadores nuevos deberán cumplir, desde el inicio de sus operaciones, con una meta de tres mil kilogramos por día de demanda bioquímica de oxígeno, con un parámetro de calidad asociado igual o menor que doscientos miligramos por litro de demanda bioquímica de oxígeno. En el caso de que el parámetro de calidad asociado sea igual o menor a cien miligramos por litro en la demanda bioquímica de oxígeno, podrán realizar descargas mayores a tres mil kilogramos por día de demanda bioquímica de oxígeno.

Adicionalmente, deberán cumplir los límites máximos permisibles de los parámetros siguientes:

Parámetros	Dimensionales	Límites máximos permisibles
Temperatura	Grados Celsius	TGR + 1
Oxígeno disuelto	Miligramos por litro	15
Metales pesados	Miligramos por litro	100
Óxidos suspendidos	Miligramos por litro	20
Fluoruro total	Miligramos por litro	10
Potencial de hidrógeno	Unidades de pH	6 a 9
Coliformes fecales	Unidades por mililitro	< 1x10 <sup>4</sup>
Amonio	Miligramos por litro	0.1
Cacato	Miligramos por litro	0.1
Cacato total	Miligramos por litro	1
Cobre	Miligramos por litro	1
Cromo hexavalente	Miligramos por litro	0.1
Mercurio	Miligramos por litro	0.01
Níquel	Miligramos por litro	2
Plomo	Miligramos por litro	0.4
Zinc	Miligramos por litro	10
Cálor	Unidades por hora	1000

TGR = temperatura del cuerpo receptor, en grados Celsius.

Cuando de conformidad con lo establecido en el artículo 8 de la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente se requiere un Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental, el ente generador deberá cumplir con los valores de los límites máximos permisibles contenidos en el presente artículo.

El ente generador nuevo que, por razones técnicas debidamente justificadas, requiera de un periodo de estabilización productiva, definido en el Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental la necesidad y etapas de ajuste consecutivos dentro del periodo de estabilización, si cual no excederá de seis meses, contados a partir del inicio de operaciones del ente generador. El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, establecerá en la resolución aprobatoria del Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental correspondiente, el plazo o plazos consecutivos de las etapas que fueren necesarias para dicho periodo de estabilización.

**Artículo 22. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES EN ESTEROS.** Cuando el cuerpo receptor sea un estero se aplicarán las siguientes disposiciones:

- a) Los entes generadores existentes deberán observar los límites máximos permisibles establecidos en el artículo 20 del presente Reglamento. El parámetro de demanda bioquímica de oxígeno aplicable es el siguiente:

Parámetros	Dimensionales	Valor inicial	Fecha máxima de cumplimiento			
			Uno	Dos	Tres	Cuatro
Demanda bioquímica de oxígeno	Miligramos por litro	300	300	200	100	100

- b) Los entes generadores nuevos deberán aplicar los límites máximos permisibles y la reducción de la última etapa del artículo 20 y del artículo 22 (letra a).

- c) Para los entes generadores que descargan aguas residuales de tipo especial a esteros, los valores de las concentraciones de los parámetros establecidos en el presente Reglamento, se determinan de acuerdo a la diferencia entre la concentración del efluente y la del estero. El resultado que se obtenga se utilizará como base para establecer si el ente generador cumple con los límites máximos permisibles de los artículos 20 y 22 (letra a) del presente Reglamento.

- d) A los entes generadores regulados en el presente artículo no les serán aplicables los artículos 17 y 18 del presente Reglamento.

**Artículo 23. DEDUCCIÓN ESPECIAL DE VALORES EN PARÁMETROS.** A los entes generadores de aguas residuales de tipo especial que registren en sus efluentes valores mayores a los límites máximos permisibles de los parámetros de demanda bioquímica de oxígeno y sólidos suspendidos, se aplicará el concepto de deducción especial. Dicha deducción especial consiste en restar el valor de cada parámetro del efluente del valor registrado en el estero. El resultado que se obtenga se utilizará como base para establecer si el ente generador cumple con los límites máximos permisibles del presente Reglamento.

**Artículo 24. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE DESCARGAS A CUERPOS RECEPTORES PARA AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES Y DE URDINCIONES NO CONECTADAS AL ALCANTARILLADO PÚBLICO.** Las municipalidades o empresas encargadas del tratamiento de aguas residuales del abastecimiento público y las urbanizaciones existentes no conectadas al alcantarillado público, cumplirán con los límites máximos permisibles para descargar a cuerpos receptores, de cualquiera de las formas siguientes:

- a) Con lo preceptado en los artículos 17, 18 y 20, de conformidad con los plazos establecidos en estos artículos del presente Reglamento.
- b) Con los límites máximos permisibles y plazos establecidos en el siguiente cuadro:



Continuación. Acuerdo Gubernativo 236-2006

Parámetro	Elementos	Valores máximos	Fecha máxima de cumplimiento			
			Etapas			
			Uno	Dos	Tres	Cuatro
Temperatura	Grados Celsius	20	20	20	20	
Grasas y aceites	Miligramos por litro	50	50	10	10	
Sólidos totales	Miligramos por litro	1000	1000	1000	1000	
Sólidos suspendidos de oxígeno	Miligramos por litro	200	200	100	100	
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	200	200	100	100	
Nitrógeno total	Miligramos por litro	150	150	70	70	
Fósforo total	Miligramos por litro	30	30	15	15	
Potencial de hidrógeno	Unidades de potencial de hidrógeno	6 a 8	6 a 8	6 a 8	6 a 8	
Coliformes fecales	Número más probable de coliformes	< 10 <sup>2</sup>	< 10 <sup>2</sup>	< 10 <sup>2</sup>	< 10 <sup>2</sup>	
Arsenico	Miligramos por litro	1	0,1	0,1	0,1	
Cadmio	Miligramos por litro	1	0,1	0,1	0,1	
Cromo total	Miligramos por litro	6	3	3	3	
Cobalto	Miligramos por litro	4	2	2	2	
Cromo hexavalente	Miligramos por litro	1	0,1	0,1	0,1	
Mercurio	Miligramos por litro	0,1	0,02	0,02	0,02	
Níquel	Miligramos por litro	6	2	2	2	
Plomo	Miligramos por litro	4	0,4	0,4	0,4	
Zinc	Miligramos por litro	10	10	10	10	
Cobalto	Unidades de color	1000	1000	700	500	

Todas las municipalidades deberán cumplir con tener en operación, por lo menos con sistemas de tratamiento primario el cumplimiento a más tardar el día de mayo del dos mil cuatro.

Las municipalidades que reciban descargas de aguas residuales de tipo especial en el alcantarillado público, que contengan compuestos que no puedan ser tratados en un sistema de tratamiento primario, no estarán sujetas a los límites máximos permisibles de demanda bioquímica de oxígeno, sólidos suspendidos, nitrógeno total y fósforo total en la etapa uno del cuadro anterior, del presente artículo lo cual deberá ser acreditado en el Estudio Técnico.

La anterior disposición no existe a las municipalidades de cumplir con límites máximos permisibles de los parámetros del párrafo anterior en las etapas subsiguientes.

CAPÍTULO VI

PARAMETROS PARA AGUAS RESIDUALES Y VALORES DE DESCARGA AL ALCANTARILLADO PÚBLICO

Artículo 24. **PARÁMETROS.** Los parámetros de medición para determinar las características de las aguas residuales vertidas al alcantarillado público son los siguientes:

- Temperatura,
- Potencial de hidrógeno,
- Grasas y aceites,
- Materia fosfórica,
- Demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días a veinte grados Celsius,
- Demanda química de oxígeno,
- Sólidos suspendidos totales,
- Nitrógeno total,
- Fósforo total,
- Arsénico,
- Cadmio,
- Cadmio total,
- Cobalto,
- Cromo hexavalente,
- Mercurio,
- Níquel,
- Plomo,
- Zinc,
- Cobalto y
- Coliformes fecales.

Artículo 25. **MODELO DE REDUCCIÓN PROGRESIVA DE CARGAS DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO PARA DESCARGAS AL ALCANTARILLADO PÚBLICO.** Las personas existentes que descarguen al alcantarillado público deberán reducir en forma progresiva la demanda bioquímica de oxígeno, conforme a los valores y las etapas de cumplimiento del cuadro siguiente:

Etapa	Uno				
	Desde mayo de dos mil cuatro	Desde mayo de dos mil cinco	Desde mayo de dos mil seis	Desde mayo de dos mil siete	Desde mayo de dos mil ocho
Demanda bioquímica de oxígeno	30	20	10	5	5
Demanda química de oxígeno	10	20	30	40	50
Sólidos suspendidos totales	100	100	100	100	100
Nitrógeno total	150	150	150	150	150
Fósforo total	30	30	30	30	30
Coliformes fecales	< 10 <sup>2</sup>	< 10 <sup>2</sup>	< 10 <sup>2</sup>	< 10 <sup>2</sup>	< 10 <sup>2</sup>

Etapa	Tres			
	Desde mayo de dos mil cuatro	Desde mayo de dos mil cinco	Desde mayo de dos mil seis	Desde mayo de dos mil siete
Demanda bioquímica de oxígeno	30	20	10	5
Demanda química de oxígeno	10	20	30	40
Sólidos suspendidos totales	100	100	100	100
Nitrógeno total	150	150	150	150
Fósforo total	30	30	30	30
Coliformes fecales	< 10 <sup>2</sup>	< 10 <sup>2</sup>	< 10 <sup>2</sup>	< 10 <sup>2</sup>

Las personas existentes que descarguen aguas residuales al alcantarillado público y que paguen cargas menores o iguales a tres mil kilogramos por día, deben continuar con la reducción de la carga, hasta alcanzar el parámetro de valor asociado de cada etapa.

Para efectos de la aplicación del presente modelo, el valor inicial de descarga estará determinado en el Estudio Técnico, dicho valor inicial, se refiere a la carga expresada en kilogramos por día de demanda bioquímica de oxígeno. Para los porcentajes de reducción de la etapa uno se utilizará el valor inicial de descarga del Estudio Técnico y para cada una de las etapas siguientes, la carga inicial será el resultado obtenido de la reducción porcentual de la etapa anterior.

Artículo 27. **PARÁMETRO DE CALIDAD ASOCIADO DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO.** Las personas que descarguen aguas residuales de tipo especial al alcantarillado público, deben cumplir con los etapas del modelo de reducción progresiva de cargas del artículo 25 y con los valores del parámetro de calidad asociado de demanda bioquímica de oxígeno, que se presentan en el siguiente cuadro:

Parámetro	Dimensiones	Valor	Fecha máxima de cumplimiento			
			Etapas			
			Uno	Dos	Tres	Cuatro
Demanda bioquímica de oxígeno	Miligramos por litro	3000	1500	750	400	200

Artículo 28. **LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES AL ALCANTARILLADO PÚBLICO.** Para la descarga de las aguas residuales de tipo especial hacia un alcantarillado público, se deberá cumplir con los límites máximos permisibles de conformidad con los etapas de cumplimiento correspondientes establecidos en el cuadro siguiente:

Parámetro	Elementos	Valores máximos	Fecha máxima de cumplimiento				
			Etapas				
			Uno	Dos	Tres	Cuatro	Cinco
Temperatura	Grados Celsius	< 40	< 40	< 40	< 40	< 40	
Grasas y aceites	Miligramos por litro	1000	300	150	50	50	
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	1000	1000	700	400	200	
Nitrógeno total	Miligramos por litro	1500	1500	1500	1500	1500	
Fósforo total	Miligramos por litro	30	30	30	30	30	
Potencial de hidrógeno	Unidades de potencial de hidrógeno	6 a 8	6 a 8	6 a 8	6 a 8	6 a 8	
Coliformes fecales	Número más probable de coliformes	< 10 <sup>2</sup>	< 10 <sup>2</sup>	< 10 <sup>2</sup>	< 10 <sup>2</sup>	< 10 <sup>2</sup>	
Arsenico	Miligramos por litro	1	0,1	0,1	0,1	0,1	
Cadmio	Miligramos por litro	1	0,1	0,1	0,1	0,1	
Cromo total	Miligramos por litro	6	3	3	3	3	
Cromo hexavalente	Miligramos por litro	1	0,1	0,1	0,1	0,1	
Mercurio	Miligramos por litro	0,1	0,02	0,02	0,02	0,02	
Níquel	Miligramos por litro	6	2	2	2	2	
Plomo	Miligramos por litro	4	0,4	0,4	0,4	0,4	
Zinc	Miligramos por litro	10	10	10	10	10	
Cobalto	Unidades de color	1000	1000	1000	700	500	

Las personas que empleen colorantes no biodegradables en sus procesos productivos y que descarguen aguas residuales al alcantarillado público, deberán indicar en el estudio técnico los tratamientos utilizados para cumplir con los límites máximos permisibles de color en las etapas correspondientes, con el propósito de evitar su incorporación al cuerpo receptor.

Artículo 29. **DETERMINACIÓN DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO PARA LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES DE TIPO ESPECIAL AL ALCANTARILLADO PÚBLICO.** Las personas que descarguen aguas residuales de tipo especial al alcantarillado público, deberán incluir en el Estudio Técnico a que se hace referencia en el artículo 5 del presente Reglamento, la determinación de la demanda química de oxígeno a efecto de establecer su relación con la demanda bioquímica de oxígeno, mediante la siguiente fórmula: demanda química de oxígeno dividida entre la demanda bioquímica de oxígeno.

Artículo 30. **LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA PERSONAS NUEVAS QUE DESCARGUEN AGUAS RESIDUALES DE TIPO ESPECIAL AL ALCANTARILLADO PÚBLICO.** Cuando de conformidad con lo establecido en el artículo 5 de la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, a las personas nuevas que descarguen aguas residuales de tipo especial al alcantarillado público, se les requiere un Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental, deberán cumplir con los valores de los límites máximos permisibles contenidos en el siguiente cuadro:

Fuente: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

## Continuación. Acuerdo Gubernativo 236-2006

Parámetro	Dimensiones	Límites máximos permisibles
Temperatura	Grados Celsius	< 40
Sólidos y lodos	litros por litro	80
Nitrógeno total	Ausencia	Ausente
Demanda biológica de oxígeno	Miligramos por litro	200
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	200
Nitrógeno total	Miligramos por litro	10
Potencial de hidrógeno	Unidades de potencia de hidrógeno	6 a 9
Coliformes fecales	Unidad más probable por mililitro	< 10 <sup>2</sup>
Asbestos	Miligramos por litro	0.1
Cadmio	Miligramos por litro	0.1
Cianuro total	Miligramos por litro	1
Cromo	Miligramos por litro	3
Cromo hexavalente	Miligramos por litro	0.1
Mercurio	Miligramos por litro	3.00
Níquel	Miligramos por litro	2
Plomo	Miligramos por litro	0.5
Zinc	Miligramos por litro	10
Cobre	Unidad más probable	500

La persona que, por razones técnicas debidamente justificadas, requiera de un periodo de estabilización productiva, definirá en el Estado de Evaluación de Impacto Ambiental la necesidad y etapas de ajuste consecutivas dentro del periodo de estabilización, el cual no excederá de seis meses, contados a partir del inicio de operaciones del ente generador. El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, establecido en la resolución aprobatoria del Estado de Evaluación de Impacto Ambiental correspondiente, el plazo o plazos consecutivos de las etapas que fueren necesarias para dicho periodo de estabilización.

**Artículo 31. OPCIONES DE CUMPLIMIENTO DE PARÁMETROS PARA LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES DE TIPO ESPECIAL AL ALCANTARILLADO PÚBLICO.** Las personas físicas o jurídicas, públicas o privadas que se encuentren autorizadas por la municipalidad para descargar aguas residuales de tipo especial al alcantarillado público, podrán cumplir los límites máximos permisibles de cualesquiera de las formas siguientes:

- Estableciendo sistemas de tratamiento propios.
- Pagando a la municipalidad o a las empresas encargadas del tratamiento de aguas residuales del alcantarillado público, una tasa correspondiente al servicio que se preste, siempre y cuando dichas municipalidades cuenten con sistema de tratamiento para aguas residuales en operación.

Se exceptúan de la opción de cumplimiento contenida en el inciso b) del presente artículo, las personas que descarguen aguas residuales con metales pesados cuyos límites máximos permisibles excedan de los valores establecidos en los artículos 20 y 30.

**Artículo 32. EXENCIÓN DE PAGO POR SERVICIOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.** Las personas que descargan sus aguas residuales al alcantarillado público, cumpliendo con los límites máximos permisibles de la literal b) del artículo 24 del presente Reglamento, estarán exentas de todo pago por los servicios de tratamiento de aguas residuales brindado por las Municipalidades o las concesionarias.

**Artículo 33. CRITERIOS TÉCNICOS PARA EL ESTABLECIMIENTO DE TARIFAS DE SERVICIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.** De acuerdo con lo establecido en el artículo 3 del Código Municipal, y para efectos de este Reglamento, las municipalidades coordinarán con el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales la determinación de los criterios técnicos que sirven de base para establecer las tarifas del servicio de tratamiento de aguas residuales, para lo cual se tomará en cuenta como mínimo lo siguiente:

- Los costos de operación, mantenimiento, mejoramiento de calidad y cobertura de servicios.
- Los límites máximos permisibles establecidos en este Reglamento.
- Los estudios técnicos cuyos valores y características sean concordes por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales y el que debe realizar la Municipalidad jurisdiccional.
- La tarifa será diferenciada atendiendo a las características de cada descarga.

Las Municipalidades establecerán las tarifas o tasas respectivas de conformidad con el propio Código Municipal.

### CAPÍTULO VII

#### PARÁMETROS DE AGUAS PARA REUSO

**Artículo 34. AUTORIZACIÓN DE REUSO.** El presente Reglamento autoriza los siguientes tipos de reuso de aguas residuales, que cumplen con los límites máximos permisibles que a cada uno corresponden:

**TIPO I: REUSO PARA RIEGO AGRÍCOLA EN GENERAL:** uso de un efluente que debido a los nutrientes que posee se puede utilizar en el riego adyuvante o intermitivo, a manera de fertilizante, para recuperación y mejoramiento de suelos y como fertilizante en plantaciones de cultivos que, previamente a su consumo, requieren de un proceso industrial, de conformidad con los límites máximos permisibles establecidos en el artículo 35. Se exceptúa de este reuso los cultivos considerados en el tipo II.

**TIPO II: REUSO PARA CULTIVOS COMESTIBLES:** son restricciones en el riego de áreas con cultivos comestibles que se consumen crudos o precocidos, como hortalizas y frutas. Para el caso de coliformes fecales y demanda biológica de oxígeno, deberá cumplirse de conformidad con los límites máximos permisibles del artículo 30. Adicionalmente, para otros parámetros, deberán cumplir los límites máximos permisibles presentados en el cuadro del artículo 21 del presente Reglamento, a excepción de azógeno en suspensión, nitrógeno total y Nitrógeno total.

**TIPO III: REUSO PARA ACUICULTURA:** uso de un efluente para la piscicultura y camaronicultura, de conformidad con los límites máximos permisibles establecidos en el artículo 35.

**TIPO IV: REUSO PARA PASTOS Y OTROS CULTIVOS:** con restricciones en el riego de áreas de cultivos no alimenticios para el ser humano como pastos, forrajes, forras, semillas y otros, de conformidad con los límites máximos permisibles establecidos en el artículo 35.

**TIPO V: REUSO RECREATIVO:** con restricciones en el aprovechamiento para fines recreativos en estanques artificiales donde el ser humano sólo puede tener contacto incidental, incluido el riego en áreas verdes, donde el público tenga contacto o no, de conformidad con los límites máximos permisibles establecidos en el artículo 32. Cualquier otro reuso no contemplado en el presente artículo deberá ser autorizado previamente por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

**Artículo 35. PARÁMETROS Y LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA REUSO.** El agua residual para reuso deberá cumplir con los límites máximos permisibles de siguiente modo:

Tipo de reuso	Demanda biológica de oxígeno, miligramos por litro	Coliformes fecales, número más probable por cien mililitros
Tipo I	No aplica	No aplica
Tipo II	No aplica	< 210 <sup>2</sup>
Tipo III	200	No aplica
Tipo IV	No aplica	< 10 <sup>10</sup>
Tipo V	200	< 10 <sup>10</sup>

**Artículo 36. METALES PESADOS Y CIANUROS.** Los límites máximos permisibles de metales pesados y cianuros en las aguas para reuso son los presentados en el cuadro del artículo 21 del presente Reglamento.

**Artículo 37. RECIRCULACIÓN INTERNA DE AGUAS.** Todo ente generador podrá recircular las aguas residuales antes de que las mismas se viertan al cuerpo receptor. Dicha recirculación no se considerará como reuso ni estará sujeta a las disposiciones del presente Reglamento.

### CAPÍTULO VIII

#### PARÁMETROS PARA LODOS

**Artículo 38. OBLIGATORIEDAD.** Todos los lodos producidos como consecuencia del tratamiento de aguas residuales que representan un riesgo para el ambiente y la salud y seguridad humana deben cumplir los límites máximos permisibles para su disposición final del presente Reglamento.

**Artículo 39. APLICACIÓN.** Los lodos que se regulan en el presente Reglamento son aquellos generados por el tratamiento de aguas residuales de tipo ordinario o especial.

**Artículo 40. TECNOLOGÍA Y SISTEMAS PARA EL TRATAMIENTO DE LODOS.** Se permite el tratamiento de los lodos por medio de la tecnología o los sistemas que el ente generador considere más adecuados a sus condiciones particulares, incluyendo la incineración a temperaturas mayores de noventa y cinco grados Celsius.

**Artículo 41. DISPOSICIÓN FINAL.** Se permite efectuar la disposición final de lodos por cualesquiera de las siguientes formas:

- Aplicación al suelo: acondicionado, abono o compost.
- Disposición en rellenos sanitarios.
- Confinamiento o aislamiento.
- Combinación de las antes mencionadas.

**Artículo 42. PARÁMETROS Y LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LODOS.** Para poder efectuar la disposición final de lodos de acuerdo a las formas descritas en el artículo 41 del presente Reglamento, los valores de sus propiedades físico-químicas no deben exceder los límites máximos permisibles descritos en el siguiente cuadro:

Disposición Final	Dimensiones	Aplicación al suelo	Disposición en rellenos sanitarios	Confinamiento o aislamiento
Ambiente	Miligramos por kilogramo de materia seca y dentro cuatro partes Cálculo	30	100	> 100
Cadmio	Miligramos por kilogramo de materia seca y dentro cuatro partes Cálculo	30	100	> 100
Cromo	Miligramos por kilogramo de materia seca y dentro cuatro partes Cálculo	1000	1000	> 3000
Mercurio	Miligramos por kilogramo de materia seca y dentro cuatro partes Cálculo	30	30	> 50
Plomo	Miligramos por kilogramo de materia seca y dentro cuatro partes Cálculo	500	1000	> 1000

Los expresados en el cuadro anterior son los límites máximos permisibles para suelos con potencial de hidrógeno menor que siete unidades. En los suelos que posean potencial de hidrógeno mayor o igual que siete unidades se podrán disponer lodos hasta un cincuenta por ciento más de los valores presentados como límites máximos permisibles.

**Artículo 43. APLICACIÓN AL SUELO.** Los lodos que presentan metales pesados y que se ajustan a los límites máximos permisibles establecidos en el artículo 42, podrán aplicarse como acondicionador del suelo, en cuyo caso se permitirá disponer hasta cincuenta mil kilogramos por hectárea por año. En caso de que la aplicación sea como abono se permitirá disponer hasta cien mil kilogramos por hectárea por año.

**Artículo 44. DISPOSICIÓN HACIA RELLENOS SANITARIOS.** Se permitirá la disposición en un relleno sanitario de los lodos que no sean biotécnicos, que no requieren confinamiento y que cumplen con los límites máximos permisibles del artículo 42 del presente Reglamento.

Los rellenos sanitarios deberán contar con autorización del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales y con anal del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.

## Continuación. Acuerdo Gubernativo 236-2006

**Artículo 45. CONFINAMIENTO O AISLAMIENTO.** Los lodos que en su estructura posean compuestos que requieran confinamiento o aislamiento para evitar el impacto adverso del viento frías, las fuentes de suministro de agua superficiales y subterráneas, el suelo subterráneo y el aire, deben disponer en recinto que posea autorización del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales y el aval de los Ministerios de Salud Pública y Asistencia Social y de Energía y Minas.

**Artículo 46. COMERCIALIZACIÓN.** La comercialización de los lodos producidos en libre, siempre que los mismos se caractericen y se cumpla con los tratados y convenios internacionales que rijan en la materia ratificados por Guatemala y con lo siguiente:

- a) No debe permitirse el contacto humano directo con los lodos.
- b) Los lodos deben cumplir las especificaciones descritas en el artículo 42.
- c) El transporte de lodos debe realizarse en recipientes y vehículos acondicionados para evitar fugas y derrames.
- d) Los recintos para su almacenamiento transitorio deben ser autorizados para el efecto por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
- e) Las empresas que presten los servicios de extracción, manejo o disposición final deben contar con la autorización del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, y si es aplicable del Ministerio de Energía y Minas.

**Artículo 47. CONTRATACIÓN DE SERVICIOS.** Las empresas que presten los servicios de extracción, manejo o disposición final de lodos deberán cumplir lo dispuesto en los artículos 41, 42, 43, 44, 45 y 46 del presente Reglamento. En el caso de la contratación de cualquiera de los servicios establecidos en este artículo, el ente generador queda exento de responsabilidad.

**Artículo 48. VIGILANCIA DE CUMPLIMIENTO.** El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales coordinará a través de sus dependencias la realización, a su costa, de muestras aleatorias de los lodos de lodos que sean dispuestos, a efecto de verificar el cumplimiento de los parámetros del artículo 42 del presente Reglamento, cuando sea aplicable.

### CAPÍTULO IX SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN

**Artículo 49. DE LA FRECUENCIA DE TOMA DE MUESTRAS.** Para el seguimiento y evaluación de aguas residuales y de aguas para reuso, los entes generadores deberán tomar a su costa, como mínimo, dos muestras al año y efectuar los análisis que correspondan de conformidad con los parámetros contenidos en el estudio técnico.

Para el seguimiento y evaluación de lodos, los entes generadores deberán tomar a su costa, como mínimo, dos muestras al año y efectuar los análisis que correspondan de conformidad con los parámetros contenidos en el estudio técnico. En el caso de las entidades contratadas para prestar los servicios de extracción, manejo y disposición final de lodos, éstas tendrán que realizar su toma de muestras de acuerdo al siguiente cuadro:

Peso promedio de lodos producidos	Periodicidad
Entre 0 y 1000 kilogramos diarios	Trimestral
Entre 1001 y 2000 kilogramos diarios	Bimensual
Más de 2000 kilogramos diarios	Mensual

Los entes generadores deberán llevar un registro de los resultados de estos análisis y conservarlos durante un plazo de cinco años posteriores a su realización, para su presentación al Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales cuando le sea requerido por razones de seguimiento y evaluación.

El número de muestras simples requeridas para conformar una muestra, se indica en el cuadro siguiente:

Número de muestras simples para conformar una muestra compuesta e intervalos por muestra	Número mínimo de muestras simples para conformar una muestra compuesta	Intervalo, mínimo en horas entre tomas de muestras simples
Entre 0 y 12	2	2
De 13 a 24	3	3
Más de 24	4	3

**Artículo 50. MEDICIÓN DE CAUDAL.** En la toma de cada muestra simple se hará una medición de caudal, para poder relacionarla con la concentración y así determinar la carga.

**Artículo 51. VIGILANCIA DE CUMPLIMIENTO.** El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales vigilará que se cumplan con todos los requisitos y procedimientos, establecidos en el presente Reglamento para los entes generadores y para las personas que descargan aguas residuales al alcantarillado público. Asimismo,

coordinará a través de sus dependencias competentes, la realización de muestras aleatorias en los cuerpos receptores y en los dispositivos para toma de muestras, para evaluar el mejoramiento de la calidad del recurso hídrico y el cumplimiento del presente Reglamento.

**Artículo 52. CONSTRUCCIÓN DE DISPOSITIVOS PARA TOMA DE MUESTRAS.** Los entes generadores deberán contar, en todos los puntos de descarga, con un dispositivo para facilitar la toma de muestras y la medición de caudales; dichos dispositivos deberán estar ubicados en lugares accesibles para la inspección. En el caso de los entes generadores a los cuales se aplique el artículo 22 y 23 contarán con el dispositivo para la toma de muestras del siguiente:

**Artículo 53. LUGARES EXCLUSIVOS PARA TOMA DE MUESTRAS.** El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales y otras entidades de gobierno, incluidas las descentralizadas y autónomas, de acuerdo con las competencias asignadas por la Ley, a través de sus dependencias respectivas, coordinarán las acciones para la toma de muestras, exclusivamente en lugares donde se encuentren ubicados los dispositivos de descarga mencionados en el artículo 52.

**Artículo 54. MÉTODOS DE ANÁLISIS Y MUESTREO.** Para los efectos de lo previsto en el presente Reglamento, los laboratorios estatales, universitarios, privados legalmente constituidos, o los laboratorios establecidos por los entes generadores, emplearán los métodos de análisis y muestreo establecidos por la Comisión Guatemalteca de Normas; o en su defecto por entidades como:

- a) Asociación Americana de Salud Pública, Asociación Americana de Obras de Agua y Federación de Ambientes Acuáticos en los Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales;
- b) Organizaciones técnicas reconocidas en el ámbito nacional e internacional; y
- c) Especificaciones del fabricante de los equipos que se utilicen.

Los informes de los resultados de los análisis de laboratorio, deberán ser firmados por profesional colegiado activo especializado en la materia.

### CAPÍTULO X

#### PROHIBICIONES Y SANCIONES

**Artículo 55. PROHIBICIÓN DE DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES.** Se prohíbe permanentemente la disposición de aguas residuales de tipo ordinario a for de tierra, en canchales abiertos y en alcantarillado público.

**Artículo 56. PROHIBICIÓN DE DESCARGA DIRECTA.** Se prohíbe descargar directamente aguas residuales no tratadas al manantial frías.

**Artículo 57. PROHIBICIÓN DE DILUIR.** Se prohíbe el uso de cualquier tipo de agua apta al ente generador, con el propósito de diluir las aguas residuales. Ninguna meta contemplada en el presente Reglamento se puede alcanzar haciendo:

**Artículo 58. PROHIBICIÓN DE REUSO.** Se prohíbe el reuso de aguas residuales en los siguientes casos:

- a) En las zonas núcleo de las áreas protegidas siguientes: parque nacional, reserva biológica, biotopo protegido, monumento natural, área recreativa natural, manantial y refugio de vida silvestre;
- b) En las zonas núcleo de los sitios Ramsar, declarados en el marco de la Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas;
- c) En otras áreas donde se ponga en riesgo la biodiversidad y la salud y seguridad humana;
- d) Para el uso con fines recreacionales exceptuando el tipo V, indicado en el artículo 34.

**Artículo 59. PROHIBICIÓN DE DISPOSICIÓN DE LODOS.** Se prohíbe permanentemente efectuar la disposición final de lodos en alcantarillado o cuerpos de agua superficiales o subterráneos.

Además, se prohíbe la disposición de lodos como abono para cultivos comerciales que se pueden consumir crudos o precocidos, hortalizas y frutas, sin haber efectuado su estabilización y desinfección respectiva ni haber determinado la ausencia de metales pesados y que no excedan las dos mil unidades formadoras de colonia por kilogramo de coliformes fecales.

**Artículo 60. APLICACIÓN DE SANCIONES.** Las infracciones a este Reglamento serán lugar a la aplicación de cualquiera de las sanciones establecidas en la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, según el grado de incumplimiento o límites máximos permitidos observado.

## Continuación. Acuerdo Gubernativo 236-2006

- a) La mayor o menor gravedad del impacto ambiental, según el tipo de insujunamiento de que se trate.
- b) La trascendencia del perjuicio a la población.
- c) Las condiciones en que se produce, y
- d) La incidencia del infractor.

La omisión del cumplimiento de alguno de los requerimientos establecidos en el artículo 4 del presente reglamento, dará lugar a que el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, de conformidad con lo establecido en el artículo 23, 24 y 24 de la Ley de la Protección y Mejoramiento de Medio Ambiente, inicie el proceso administrativo correspondiente.

### CAPÍTULO XI

#### DISPOSICIONES FINALES

**Artículo 81. EXCEPCIÓN DE LA PREPARACIÓN DEL ESTUDIO TÉCNICO.** Se exceptúan de la preparación del estudio técnico contemplado en el artículo 6 tanto el ente generador de la actividad o aquellas edificaciones, públicas y privadas, que generen solamente aguas residuales de tipo ordinario y que cuenten con sometida autorizada hacia el alcantarillado público o de entes administradores de servicios de tratamiento de aguas residuales.

Esta excepción no aplica para las municipalidades ni las empresas que tienen concesionados los servicios de recolección, transporte, manejo o disposición de aguas residuales; ni las plantas de tratamiento de urbanizaciones que no estén conectadas a una acomoda municipal; porque de conformidad con lo establecido en el artículo 5 del presente Reglamento, son generadores de aguas residuales.

**Artículo 82. LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE DE FÓSFORO.** Quienes efectúen descargas hacia cuencas de lagos, lagunas o embalses naturales, tendrán obligación de cumplir con cinco miligramos por litro de fósforo total al finalizar la cuarta etapa. Asimismo, en el caso de los entes generadores nuevos deberán cumplir con cinco miligramos por litro de fósforo total al inicio de sus operaciones.

**Artículo 83. INCUMPLIMIENTO DE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES Y SUS ETAPAS CORRESPONDIENTES.** Se entenderá que hay contaminación cuando los entes generadores existentes y las personas existentes que descargan aguas residuales al alcantarillado público, incumplan con los límites máximos permisibles establecidos en las etapas correspondientes del artículo 17 y, también, cuando incumplan con las consideraciones de los artículos 18, 20, 22, 25, 27 y 28.

Se entenderá que existe contaminación cuando los entes generadores nuevos y las personas nuevas que descargan aguas residuales al alcantarillado público, incumplan con los límites máximos permisibles en las etapas de cumplimiento correspondientes y las consideraciones contempladas en los artículos 17, 18, 20, 22, 25, 27 y 28, siempre y cuando los valores de sus descargas excedan los límites máximos permisibles que en el momento tengan autorizados los entes generadores existentes.

El incumplimiento de los límites máximos permisibles por parte de los entes generadores nuevos y las personas nuevas que descargan aguas residuales al alcantarillado público, de conformidad con los artículos 21 y 22, y 30, respectivamente, con valores que no excedan los límites máximos permisibles autorizados para los entes generadores existentes, conforme a los artículos 17, 19, 20 y 22 y las personas existentes que descargan aguas residuales al alcantarillado público, conforme a los artículos 25, 27 y 28, en las etapas de cumplimiento uno, dos y tres, dará lugar a la aplicación de las sanciones administrativas que contempla la ley.

Para todos los efectos legales, el período de estabilización otorgado por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales a un ente generador nuevo o a una persona nueva que descargue aguas residuales al alcantarillado público, se considerará como una situación de caso fortuito o de fuerza mayor, y en consecuencia cualquier incumplimiento dentro de dicho período estará exento de responsabilidad penal o administrativa.

**Artículo 84. REVISIÓN DEL REGLAMENTO DE DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES.** La revisión del presente Reglamento deberá hacerse cada cuatro años, recordando el principio de gradualidad en las etapas de cumplimiento y considerando el grado de cumplimiento de los entes generadores y de las personas que descargan al alcantarillado público.

**Artículo 85. CUMPLIMIENTO DE LAS MUNICIPALIDADES.** Las Municipalidades que aún por cumplir lo prescrito en el literal b) del artículo 24 de este Reglamento, iniciarán el cumplimiento de los límites máximos permisibles de la etapa uno para entes generadores existentes, el día de mayo de dos mil once. A partir de dicho fecha aplicarán las reducciones en los plazos y etapas establecidos, hasta al final de los diecho años.

Esta disposición no aplica a las Municipalidades del cumplimiento de los demás aspectos que contempla el presente Reglamento.

**Artículo 86. CUMPLIMIENTO DE PERSONAS PRIVADAS QUE DESCARGAN A SISTEMAS DE TRATAMIENTO PRIVADOS.** Las personas individuales o jurídicas privadas que descargan aguas residuales de tipo especial a un sistema de alcantarillado privado para conducir dichas aguas a la planta de tratamiento de aguas residuales privada en operación no se consideran entes generadores de aguas residuales o personas que descargan aguas residuales de tipo especial al alcantarillado

público, porque para los efectos de aplicación del presente Reglamento, la persona individual o jurídica responsable de administrar la planta de tratamiento será considerada el ente generador o la persona que descarga aguas residuales de tipo especial al alcantarillado público para todos los efectos del presente Reglamento. El único punto de referencia para el control de la descarga en estos casos es el efluente de la planta de tratamiento.

**Artículo 87. EPÍGRAFES.** Los epígrafes que preceden a los artículos del presente Reglamento, no tienen validez retrospectiva y no pueden ser citados con respecto al contenido y alcance de esta norma.

### CAPÍTULO XII

#### DISPOSICIONES TRANSITORIAS

**Artículo 88. PLAZO PARA LA REALIZACIÓN DEL ESTUDIO TÉCNICO.** La persona individual o jurídica, pública o privada, responsable de generar o administrar aguas residuales de tipo especial, ordinario o mezcla de ambas, que vierten esas o no a un cuerpo receptor o al alcantarillado público deberá realizar el estudio técnico estipulado en el presente Reglamento, en el plazo de un año, contado a partir de la vigencia del mismo.

**Artículo 89. EXPEDIENTES EN TRÁMITE.** Las personas individuales o jurídicas, públicas o privadas que vierten las aguas residuales a cuerpos receptores o a sistemas de aprobación de instrumentos de evaluación ambiental se encuentren en trámite antes de la vigencia del presente Reglamento, se considerarán entes generadores existentes para todos los efectos de su aplicación, de acuerdo a los artículos 17, 18, 19, 20 y 22.

Asimismo a las personas individuales o jurídicas, públicas o privadas que vierten sus descargas al alcantarillado público y cuyas solicitudes de aprobación de instrumentos de evaluación ambiental se encuentren en trámite antes de la vigencia del presente Reglamento, les será aplicable lo prescrito en los artículos 25, 27, 28 y 29 del mismo.

**Artículo 90. LÍMITES APROBADOS EN ESTUDIOS DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL.** Cuando en la resolución del Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental se hayan aprobado límites con valores menores que los contenidos en el presente Reglamento, dichos límites continuarán siendo aplicables a ese ente generador existente. En caso de que los valores de los límites aprobados en la resolución del Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental sean mayores o los establecidos en los artículos 17, 19, 20, 22, 25, 27 y 28, ese ente generador o persona que descargue aguas residuales al alcantarillado público, deberá cumplir con lo dispuesto en las etapas y las fechas máximas de cumplimiento que corresponde a los artículos mencionados.

**Artículo 91. MODELO DE REDUCCIÓN PROGRESIVA DE CARGAS DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO.** Los resultados que se obtengan en los Estudios Técnicos servirán de base para elaborar, en un plazo no mayor de dieciocho meses a partir de la vigencia del presente Reglamento, el modelo de reducción progresiva de cargas correspondiente a la demanda química de oxígeno.

**Artículo 92. OTROS PARÁMETROS.** Otros parámetros que en el futuro se identifiquen como materia de este Reglamento serán agregados al presente cuerpo normativo, si determinarse los mismos.

**Artículo 93. MANUALES.** El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales queda facultado para que, en el plazo de un año a partir de la vigencia del presente Reglamento, elabore el Manual General que contenga, entre otros temas, los siguientes:

- a) Toma de muestras de aguas residuales, aguas para reúso y todo;
- b) Cálculo de cargas;
- c) Aplicación del modelo de reducción progresiva de cargas;
- d) Deducción especial de valores en parámetros.

**Artículo 94. DEROGATORIA.** Se deroga el Acuerdo Gubernativo número 95-2005 de fecha 17 de febrero de 2005, que contiene el Reglamento de Descargas de Aguas Residuales a Cuerpos Receptores y cualquier otra disposición que se oponga al presente Reglamento.

**Artículo 95. VIGENCIA.** El presente Acuerdo empezará a regir el día siguiente de su publicación en el Diario de Centro América.

COMUNIQUESE

  
CARLOS RODRÍGUEZ



## ANEXO 2

### t de Student

$1-\alpha$

$r$	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	0.975	0.99	0.995
1	1.000	1.376	1.963	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657
2	0.816	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925
3	0.765	0.978	1.250	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841
4	0.741	0.941	1.190	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604
5	0.727	0.920	1.156	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032
6	0.718	0.906	1.134	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707
7	0.711	0.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499
8	0.706	0.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355
9	0.703	0.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250
10	0.700	0.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169
11	0.697	0.876	1.088	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106
12	0.695	0.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055
13	0.694	0.870	1.079	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012
14	0.692	0.868	1.076	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977
15	0.691	0.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947
16	0.690	0.865	1.071	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921
17	0.689	0.863	1.069	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898
18	0.688	0.862	1.067	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878
19	0.688	0.861	1.066	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861
20	0.687	0.860	1.064	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845
21	0.686	0.859	1.063	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831
22	0.686	0.858	1.061	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819
23	0.685	0.858	1.060	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807
24	0.685	0.857	1.059	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797
25	0.684	0.856	1.058	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787
26	0.684	0.856	1.058	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779
27	0.684	0.855	1.057	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771
28	0.683	0.855	1.056	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763
29	0.683	0.854	1.055	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756
30	0.683	0.854	1.055	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750

Fuente: ROBERT, Johonson. *Estadística Elemental*. Página 350.

