



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

**DISEÑO DE UN LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS  
RESIDUALES Y LODOS DOMICILIARES E INDUSTRIALES**

**Ingrid Marilyn Aroche Mijangos**

Asesorado por el Ing. Jaime Domingo Carranza González

Guatemala, febrero de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS  
RESIDUALES Y LODOS DOMICILIARES E INDUSTRIALES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**INGRID MARILYN AROCHE MIJANGOS**

ASESORADO POR EL ING. JAIME DOMINGO CARRANZA GONZÁLEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA QUÍMICA**

GUATEMALA, FEBRERO DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Ángel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Otto Raúl de León de Paz
EXAMINADOR	Ing. Manuel Gilberto Galván Estrada
EXAMINADOR	Ing. Jorge Mario Estrada Asturias
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:

### **DISEÑO DE UN LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS RESIDUALES Y LODOS DOMICILIARES E INDUSTRIALES**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha febrero de 2012.



**Ingrid Marilyn Aroche Mijangos**



Guatemala, 26 de septiembre de 2015

Ingeniero

Víctor Manuel Monzón Valdez

Facultad de Ingeniería

Director Escuela de Ingeniería Química

De manera atenta me dirijo a usted para manifestarle que la estudiante **INGRID MARILYN AROCHE MIJANGOS**, con carnet 200512125, realizó el Informe Final de Trabajo de Graduación, titulado **“DISEÑO DE UN LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS RESIDUALES Y LODOS DOMICILIARES E INDUSTRIALES”**, el cual ha sido revisado y analizado por mi persona y cumple con los requerimientos correspondientes. De tal manera, apruebo y firmo el presente documento para todos los trámites exigidos por las leyes y estatutos de la Universidad para que pueda realizar la defensa del mismo.

Agradeciendo la atención a la presente, le saluda respetuosamente.

Ing. Jaime Domingo Carranza González  
Colegiado No. 440

Ing. Quím. Sanitarista Jaime Carranza  
Especialista Manejo de Desechos Sólidos  
No. Colegiado 440



Guatemala, 11 de noviembre de 2015.  
Ref. EIQ.TG-IF.079.2015.

Ingeniero  
**Víctor Manuel Monzón Valdez**  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **198-2011** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

**INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN**

Solicitado por la estudiante universitaria: **Ingrid Marilyn Aroche Mijangos**.  
Identificada con número de carné: **2005-12125**.  
Previo a optar al título de **INGENIERA QUÍMICA**.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

**DISEÑO DE UN LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS RESIDUALES Y  
Lodos DOMICILIARES E INDUSTRIALES**

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: **Jaime Domingo Carranza González**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



*[Handwritten Signature]*  
Dra. Casta Petrona Zeceña Zeceña  
COORDINADORA DE TERNA  
Tribunal de Revisión  
Trabajo de Graduación

Dra. MSc e Ing.  
Casta Zeceña Zeceña  
Colegiado # 624

C.c.: archivo





Ref.EIQ.TG.006.2016

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 de la estudiante, **INGRID MARILYN AROCHE MIJANGOS** titulado: **“DISEÑO DE UN LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS RESIDUALES Y LODOS DOMICILIARES E INDUSTRIALES”**.  
Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

*“Id y Enseñad a Todos”*

Ing. Carlos Salvador Wong Davi  
Director  
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, enero 2016

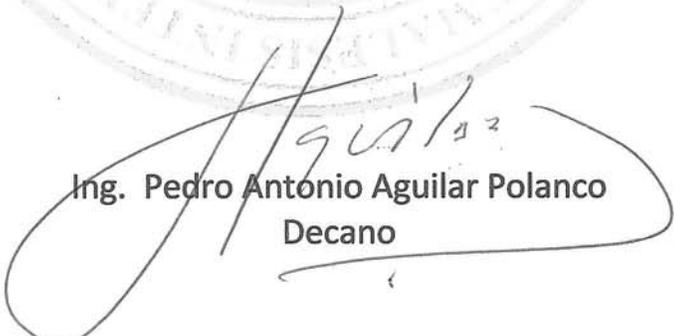
Cc: Archivo  
CSWD/de





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: **DISEÑO DE UN LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS RESIDUALES Y LODOS DOMICILIARES E INDUSTRIALES**, presentado por la estudiante universitaria: **Ingrid Marilyn Aroche Mijangos**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano

Guatemala, febrero de 2015

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

**Dios**

Nuestro creador, luz y guía.

**Mi padre y mi madre**

Carlos Aroche y Alma Mijangos, con amor.

**Mis abuelos y abuelas**

Zoila Sazo, Pablo Mijangos, Virginia Méndez e Isidro Aroche, con amor; quienes se encuentran en el cielo.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Por darme la fuerza y sabiduría para culminar esta etapa de mi vida.
<b>Mi padre y mi madre</b>	Por su amor, educación, ejemplo y apoyo incondicional y sin quienes no hubiese podido llegar a cumplir esta meta tan importante en mi vida.
<b>Mis abuelos y abuelas</b>	Quienes fueron un ejemplo de trabajo, amor, perseverancia y quienes me inspiraron durante mis años de estudio a ser una mejor persona.
<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser mi segundo hogar, fuente de sabiduría y por haberme permitido convertirme en profesional.
<b>Escuela de Ingeniería Química</b>	Por ser la esencia de mis conocimientos adquiridos.
<b>Mi asesor de trabajo de graduación</b>	Jaime Carranza, por su asesoría y apoyo en la elaboración de este trabajo de graduación.
<b>Mis amigas y amigos</b>	Por su apoyo, compañía y amistad durante toda mi carrera universitaria.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XV
GLOSARIO .....	XVII
RESUMEN .....	XXIII
OBJETIVOS.....	XXV
INTRODUCCIÓN .....	XXVII
1. ANTECEDENTES .....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Agua .....	7
2.1.1. Calidad del agua.....	7
2.2. Aguas residuales .....	8
2.2.1. Caracterización de aguas residuales.....	8
2.2.2. Caracterización física .....	9
2.2.3. Caracterización química .....	10
2.2.4. Caracterización microbiológica .....	10
2.2.5. Reuso .....	10
2.3. Lodos residuales .....	11
2.3.1. Caracterización de lodos .....	11
2.3.2. Tratamiento de lodos .....	12
2.4. Legislación de aguas residuales y lodos .....	14
2.5. Métodos de análisis de aguas residuales y lodos.....	15
2.5.1. Aguas residuales .....	15
2.5.1.1 Análisis fisicoquímicos .....	15

2.5.1.1.1.	Temperatura .....	15
2.5.1.1.2.	Color .....	15
2.5.1.1.3.	Potencial de hidrógeno (pH).....	16
2.5.1.1.4.	Demanda química de oxígeno (DQO) .....	16
2.5.1.1.5.	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).....	16
2.5.1.1.6.	Sólidos totales (ST).....	17
2.5.1.1.7.	Sólidos suspendidos totales (SST) .....	17
2.5.1.1.8.	Materia flotante.....	17
2.5.1.1.9.	Alcalinidad .....	17
2.5.1.1.10.	Acidez.....	18
2.5.1.1.11.	Cloruros.....	18
2.5.1.1.12.	Dureza total .....	18
2.5.1.1.13	Metales pesados y nutrientes .....	18
2.5.1.1.14.	Grasas y aceites .....	19
2.5.1.2.	Análisis biológicos .....	19
2.5.1.2.1.	Coliformes fecales .....	19
2.5.1.2.2.	Coliformes totales .....	19
2.5.1.3.	Análisis CRETIB .....	20
2.5.2.	Lodos residuales .....	22
2.5.2.1.	Metales pesados .....	22
2.6.	Muestreo de aguas residuales .....	22
2.6.1.	Muestreo puntual.....	22
2.6.2.	Muestreo compuesto.....	23
2.6.3.	Muestreo proporcional.....	23

2.6.4.	Preservación de muestras .....	23
2.7.	Muestreo de lodos .....	24
2.7.1.	Muestreo puntual .....	25
2.7.2.	Muestreo compuesto .....	25
2.7.3.	Muestreo proporcional .....	25
2.7.4.	Preservación de muestras .....	25
2.8.	Diseño de laboratorios.....	26
2.8.1.	Requisitos de ubicación .....	27
2.8.2.	Distribución (cantidades, dimensiones, flujos, color).....	29
2.8.2.1.	Techos.....	30
2.8.2.2.	Suelos.....	31
2.8.2.3.	Puesto de trabajo .....	32
2.8.2.4.	Ventanas .....	35
2.8.2.5.	Puertas .....	35
2.8.3.	Condiciones ambientales.....	37
2.8.3.1.	Ventilación, temperatura y humedad relativa .....	37
2.8.3.2.	Sonido acústico y conteo de partículas de polvo.....	37
2.8.3.3.	Iluminación y voltaje .....	38
2.8.3.4.	Presión del aire.....	38
2.8.4.	Servicios auxiliares .....	39
2.8.4.1.	Gas .....	39
2.8.4.2.	Agua .....	39
2.8.4.3.	Electricidad .....	39
2.8.4.4.	Vacío .....	40
2.8.5.	Almacenamiento de productos químicos .....	40
2.8.6.	Bioseguridad de laboratorio .....	41

2.8.7.	Elementos y equipos de seguridad .....	43
2.8.7.1.	Bata de laboratorio .....	43
2.8.7.2.	Guantes.....	43
2.8.7.3.	Gafas o pantallas para protección de ojos .....	44
2.8.7.4.	Duchas de seguridad y fuentes lavajos .....	44
2.8.7.5.	Extintores .....	45
2.8.7.6.	Campana extractora.....	45
2.8.8.	Señalización .....	46
2.8.8.1.	Señales de advertencia.....	46
2.8.8.2.	Señales de prohibición .....	47
2.8.8.3.	Señales de obligación .....	47
2.8.8.4.	Señales de salvamento o socorro .....	48
2.8.8.5.	Señales contra incendios .....	49
2.8.9.	Manejo de residuos en laboratorio .....	49
2.8.9.1.	Manejo de residuos sólidos .....	50
2.8.9.2.	Manejo de residuos líquidos.....	50
3.	MARCO METODOLÓGICO .....	55
3.1.	Variables .....	55
3.2.	Delimitación de campo de estudio .....	56
3.3.	Recursos humanos disponibles .....	56
3.4.	Recursos materiales disponibles.....	56
3.5.	Técnica cualitativa.....	57
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información.....	58
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	59
3.8.	Análisis estadístico.....	61

4.	RESULTADOS .....	63
4.1.	Análisis y metodologías de caracterización de aguas residuales y lodos.....	63
4.1.1.	Parámetros fisicoquímicos para aguas residuales..	63
4.1.1.1.	Temperatura .....	63
4.1.1.2.	Color .....	64
4.1.1.3.	Potencial de hidrógeno (pH) .....	64
4.1.1.4.	Demanda química de oxígeno (DQO).....	64
4.1.1.5.	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).....	65
4.1.1.6.	Sólidos totales (ST) .....	65
4.1.1.7.	Sólidos suspendidos totales (SST)....	65
4.1.1.8.	Materia flotante .....	65
4.1.1.9.	Alcalinidad .....	66
4.1.1.10.	Acidez.....	66
4.1.1.11.	Cloruro.....	66
4.1.1.12.	Dureza total .....	67
4.1.1.13.	Nitrógeno total .....	67
4.1.1.14.	Fósforo total.....	67
4.1.1.15.	Arsénico y cadmio .....	68
4.1.1.16.	Cianuro total .....	68
4.1.1.17.	Cobre, níquel, plomo y zinc .....	68
4.1.1.18.	Cromo hexavalente.....	69
4.1.1.19.	Mercurio.....	69
4.1.1.20.	Grasas y aceites .....	69
4.1.2.	Parámetros fisicoquímicos para lodos .....	69
4.1.2.1.	Arsénico, cadmio y cromo .....	70

	4.1.2.2.	Mercurio .....	70
	4.1.2.3.	Plomo .....	70
4.1.3.		Parámetros microbiológicos .....	70
	4.1.3.1.	Coliformes fecales.....	71
4.1.4.		Análisis CRETIB.....	71
	4.1.4.1.	Corrosividad .....	71
	4.1.4.2.	Reactividad.....	72
	4.1.2.3.	Explosividad .....	72
	4.1.2.4.	Toxicidad .....	72
	4.1.2.5.	Inflamabilidad .....	73
	4.1.4.6.	Biológico infeccioso.....	73
4.2.		Reactivos, equipo y cristalería .....	73
	4.2.1.	Reactivos.....	73
	4.2.2.	Cristalería y equipo .....	81
4.3.		Planos de distribución .....	120
	4.3.1.	Pisos .....	121
	4.3.2.	Techo .....	121
	4.3.3.	Flujo del proceso de análisis de muestras.....	122
	4.3.4.	Distribución de mobiliario y equipo.....	122
	4.3.5.	Sistemas auxiliares .....	124
	4.3.5.1.	Drenajes y tuberías de fluidos.....	124
	4.3.5.2.	Instalación eléctrica.....	127
	4.3.5.3.	Iluminación .....	129
	4.3.5.4.	Ventilación y aire acondicionado.....	131
4.4.		Plan de seguridad industrial .....	131
	4.4.1.	Normas generales de seguridad industrial y salud en el laboratorio .....	132
	4.4.2.	Actuaciones en caso de emergencia.....	134
	4.4.3.	Manipulación de las sustancias químicas.....	138

4.4.4.	Normas de etiquetado de sustancias químicas y equipo de seguridad y contra incendios.....	142
4.4.5.	Rutas de evacuación .....	144
4.5.	Metodología de muestreo y preservación de muestras de lodos y aguas residuales .....	145
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	150
	CONCLUSIONES .....	153
	RECOMENDACIONES .....	155
	BIBLIOGRAFÍA.....	157
	APÉNDICES .....	161



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Trabajo sentado en el laboratorio. Distancias y alcances adecuados para mujer (izquierda) y hombre (derecha).....	33
2.	Área de trabajo sobre una mesa .....	34
3.	Pictogramas de señales de advertencia.....	46
4.	Pictogramas de señales de prohibición.....	47
5.	Pictogramas de señales de obligación .....	48
6.	Pictogramas de señales de salvamento o socorro .....	48
7.	Pictogramas de señales contra incendios .....	49
8.	Ordenamiento de la información .....	58
9.	Termómetro.....	81
10.	Termómetro reversible .....	81
11.	Tubos de Nessler .....	82
12.	Potenciómetro .....	82
13.	Electrodo de plata-cloruro .....	83
14.	Electrodo de vidrio.....	83
15.	Agitador magnético .....	84
16.	Cámara de flujo.....	84
17.	Estufa.....	85
18.	Filtro de vidrio.....	85
19.	Cápsula de platino.....	86
20.	Frasco con tapón .....	86
21.	Desecadora.....	87
22.	Bomba de vacío .....	87

23.	Balón aforado .....	88
24.	Horno .....	89
25.	Matraz Erlenmeyer.....	89
26.	Refrigerante .....	90
27.	Placa caliente .....	90
28.	Botella de incubación.....	91
29.	Incubadora de aire .....	91
30.	Termostato.....	92
31.	Crisol de porcelana .....	92
32.	Horno de mufla .....	93
33.	Baño de vapor .....	93
34.	Balanza analítica.....	94
35.	Discos de filtrado de fibra de vidrio .....	94
36.	Crisol de Gooch .....	95
37.	Aparato de filtración desmontable para microfiltración con membrana.....	95
38.	Soporte universal .....	96
39.	Matraz de succión.....	96
40.	Mezclador de muestras.....	97
41.	Cono Imhoff .....	97
42.	Titulador electrométrico .....	98
43.	Vaso de precipitado .....	98
44.	Pipeta volumétrica .....	99
45.	Matraz de ebullición .....	99
46.	Bureta .....	100
47.	Botella de poliolefina.....	100
48.	Probeta .....	101
49.	Mortero .....	101
50.	Erlenmeyer .....	102

51.	Cucharilla .....	102
52.	Frasco de vidrio de borosilicato.....	103
53.	Digestor con sistema de extracción de humos.....	103
54.	Destilador con sistema de condensación.....	104
55.	Balanza granataria .....	104
56.	Matraz tipo Kjeldahl.....	105
57.	Gradilla de digestión.....	105
58.	Matraz micro-Kjeldahl.....	106
59.	Fotómetro.....	106
60.	Espectrofotómetro de absorción atómica.....	107
61.	Pipeta de microlitros.....	107
62.	Filtro de membrana .....	108
63.	Aparato de destilación para cianuro .....	108
64.	Electrodo ion-cianuro selectivo .....	109
65.	Electrodo de referencia .....	109
66.	Compresor de aire.....	110
67.	Mechero bunsen .....	110
68.	Embudo de separación Squibb .....	111
69.	Bomba de aire peristáltica.....	111
70.	Tubo desecador .....	112
71.	Analizador de mercurio .....	112
72.	Aparato de extracción Soxhlet .....	113
73.	Embudo Buchner .....	113
74.	Manta calefactora.....	114
75.	Dedal de extracción de papel.....	114
76.	Papel filtro .....	115
77.	Discos de muselina .....	115
78.	Flujómetro .....	116
79.	Tubos de fermentación.....	116

80.	Gradilla para tubos de ensayo .....	117
81.	Asa bacteriológica.....	117
82.	Baño de agua .....	118
83.	Gotero.....	118
84.	Botella de vidrio ámbar .....	119
85.	Vidrio de reloj.....	119
86.	Equipo de agitación rotatorio .....	120
87.	Diagrama del flujo del proceso de análisis de muestras .....	122
88.	Planta amueblada .....	123
89.	Plano planta: hidráulicas.....	124
90.	Plano planta: drenajes .....	126
91.	Plano: Instalación eléctrica fuerza .....	128
92.	Plano: Iluminación.....	130
93.	Etiquetas de productos químicos.....	143
94.	Plano de rutas de evacuación.....	144

## TABLAS

I.	Características del lixiviado (PECT) que hacen peligroso a un residuo por su toxicidad al ambiente.....	21
II.	Preservantes importantes para muestras de agua .....	24
III.	Ventajas e inconvenientes de la ubicación de un laboratorio .....	28
IV.	Compatibilidad de colores.....	30
V.	Clasificación de materiales respecto a su comportamiento frente al fuego .....	31
VI.	Resistencia de distintos revestimientos a agentes químicos .....	32
VII.	Niveles de iluminación .....	38
VIII.	Incompatibilidades de almacenamiento de productos peligrosos .....	41
IX.	Variables del estudio.....	55

X.	Estándares y normas para el diseño del laboratorio .....	57
XI.	Datos requeridos para el diseño general del laboratorio .....	59
XII.	Datos requeridos para la selección de parámetros a analizar en aguas residuales .....	60
XIII.	Datos requeridos para la selección de parámetros a analizar en lodos .....	61
XIV.	Reactivos necesarios en los análisis de aguas y lodos residuales ....	74
XV.	Reacciones peligrosas de los ácidos .....	141
XVI.	Sustancias incompatibles de elevada afinidad.....	141
XVII.	Lineamientos especiales para la toma y preservación de muestras de aguas y lodos residuales .....	147
XVIII.	Lineamientos especiales para la toma y preservación de muestras de lodos residuales.....	149



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>atm</b>	Atmósferas
<b>cm</b>	Centímetro
<b>dB</b>	Decibel
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>g</b>	Gramos
<b>g/l</b>	Gramos/ litros
<b>Hz</b>	Hertz
<b>h</b>	Horas
<b>kg</b>	Kilogramo
<b>L</b>	Litro
<b>LMA</b>	Límite máximo aceptable
<b>LMP</b>	Límite máximo permisible
<b>m</b>	Metro
<b>µm</b>	Micrómetro
<b>mg</b>	Miligramo
<b>mm</b>	Milímetro
<b>ml</b>	Mililitro
<b>M</b>	Molar
<b>nm</b>	Nanómetros
<b>N</b>	Normalidad
<b>NMP</b>	Número más probable
<b>Pa</b>	Pascales

<b>%</b>	Porcentaje
<b>pH</b>	Potencial de hidrógeno
<b>p/v</b>	Presión/ volumen
<b>UC</b>	Unidades de color
<b>V</b>	Voltios
<b>W</b>	Watts

## GLOSARIO

<b>APHA</b>	American Public Health Association.
<b>Antropometría</b>	Es la ciencia que entiende de las medidas de las dimensiones del cuerpo humano.
<b>Aséptico</b>	Sin microorganismos que contaminen una superficie o la salud.
<b>AWWA</b>	American Water Works Association.
<b>Bacterias coliformes</b>	Son bacterias que se localizan en el tracto intestinal humano y de animales de sangre caliente, incluye a las coliformes fecales y a las <i>E. coli</i> . Para coliformes fecales, la concentración permitida es menor de 1000 NMP (número más probable) de organismos por gramo de muestra.
<b>Biodegradabilidad</b>	Característica de una sustancia de descomponerse o desintegrarse con relativa rapidez en compuestos simples por alguna forma de vida como: bacterias, hongos, gusanos e insectos.

<b>Carcinógeno</b>	Sustancia o agente capaz de desarrollar células cancerígenas.
<b>Centrifugadora</b>	Máquina que utiliza la fuerza centrífuga para secar una sustancia o materia y separar sus componentes.
<b>Compostaje</b>	Técnica de bajo costo en la que se transforman residuos y subproductos orgánicos en materiales biológicamente estables que son utilizados como abono y sustratos para cultivos.
<b>Corrosivo</b>	Característica de desgastar lentamente una superficie.
<b>CRETIB</b>	Acrónimo de clasificación de las características a identificar en los desechos peligrosos y que significa corrosivo, reactivo, explosivo, tóxico, inflamable y biológicamente infeccioso.
<b>DBO</b>	Demanda bioquímica de oxígeno.
<b>Digestión de lodos</b>	Proceso utilizado para la estabilización de lodos, ya que propicia la degradación de la materia orgánica contenida. La digestión puede ser anaerobia, es decir, en ausencia de oxígeno molecular; o aerobia, en presencia de oxígeno.
<b>DQO</b>	Demanda química de oxígeno.

<b>EDTA</b>	Ácido etilendiaminotetraacético.
<b><i>Escherichia coli</i></b>	Es una bacteria que habita normalmente en el intestino del hombre y animales de sangre caliente, por lo que es utilizado como indicador de contaminación de materia fecal en los alimentos.
<b>Etapa termofílica</b>	Es la etapa donde la temperatura es la necesaria para producir una reducción de microorganismos patógenos.
<b>FHP</b>	Ftalato de hidrógeno de potasio.
<b>Gasificación</b>	Es la transformación a altas temperaturas de sólidos o líquidos que contienen carbono en gas combustible.
<b><i>Helmintos</i></b>	Nombre genérico de los gusanos parásitos que se encuentran en el tracto digestivo del hombre y animales vertebrados. El límite permitido de huevos viables de helmintos es menor de 5 por gramo de muestra.
<b>INSHT</b>	Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
<b>LDE</b>	Lámpara de descarga sin electrodos.

<b>Licuefacción</b>	Es el cambio del estado gaseoso al estado líquido debido a una alta reducción de temperatura, que causa el enfriamiento del gas y reducción de su volumen hasta convertirlo en líquido.
<b>Método gravimétrico</b>	Consiste en un análisis cuantitativo que se basa en la pesada y la reacción química para determinar la masa de uno o varios compuestos.
<b>NOM</b>	Norma oficial mexicana.
<b>NTC</b>	Norma técnica colombiana.
<b>NTP</b>	Nota técnica de prevención.
<b>PECT</b>	Prueba de extracción para la característica de toxicidad.
<b>Pictograma</b>	Es una imagen utilizada para transmitir un mensaje con el objetivo de informar o señalar.
<b>Polimerización</b>	Es una reacción química en la que, en presencia de calor, luz o un catalizador, se unen varias moléculas idénticas para formar otra mayor o una macromolécula.
<b>PTFE</b>	Politetrafluoroetileno.

<b>Relleno sanitario</b>	Es un lugar destinado para la disposición final de desechos o residuos sólidos con el fin de no afectar el medio ambiente y la salud pública, cubriendo los desechos con capas de tierra diariamente para reducir el volumen de los desechos.
<b>ROB</b>	Requerimiento de oxígeno químico.
<b>SAF</b>	Sulfato de amonio ferroso.
<b><i>Salmonella sp</i></b>	Bacteria producida en alimentos poco cocinados que no afectan su sabor ni olor, pero provocan salmonelosis y la fiebre paratifoidea. Su concentración debe ser menor de 100 NMP por gramo de muestra.
<b>SST</b>	Sólidos suspendidos totales.
<b>ST</b>	Sólidos totales.
<b>Sustancias inorgánicas</b>	Sustancias que carecen de carbono, oxígeno o hidrógeno o si bien existen estos compuestos, no reúnen la agrupación adecuada o el enlace correcto para ser considerada orgánica, por lo que se consideran sustancias “muertas”, como los metales, plásticos, entre otros.

<b>Sustancias orgánicas</b>	Sustancias compuestas por carbono, oxígeno o hidrógeno, por lo que se les relaciona con la vida; por ejemplo, los alimentos y la vegetación, entre otros, ya que conllevan a la vida.
<b>TFE</b>	Tetrafluoroetileno.
<b>VMC</b>	Volumen muerto cero.
<b>WPCF</b>	Water Pollution Control Federation.

## RESUMEN

El estudio consistió en el diseño de un laboratorio de análisis de aguas residuales y lodos, basado en normas nacionales e internacionales, para una empresa que brinda el servicio de asesoría en el diseño de plantas de aguas residuales y que además cuenta con una planta de tratamiento de lodos domiciliarios e industriales para brindar dicho servicio.

El propósito del presente trabajo de graduación consistió en seleccionar los análisis necesarios y sus metodologías, determinar los reactivos, equipos y cristalería, así como también realizar los planos de distribución del mobiliario, equipo y sistemas auxiliares del laboratorio. Se propuso también un plan de seguridad industrial que describe las actuaciones en caso de emergencia y una metodología de muestreo y preservación de muestras para cada análisis.

Para la selección de los análisis y las metodologías se utilizó como fundamento el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 *Reglamento de las descargas y reuso de las aguas residuales y de la disposición de lodos*, la Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-1993 y el *Standard Methods for the examination of water and wastewater*.

La propuesta de muestreo y preservación de muestras se basó en la Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 5667-15 Parte 15 y el *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. Finalmente, para la selección de las especificaciones ambientales, se tomó como base las *Consideraciones ambientales para laboratorios de ensayo ISA-RP52.1-1975* y la *Guía MetAs: Condiciones Ambientales para calibración y prueba en laboratorio y campo*.



## OBJETIVOS

### General

Diseñar un laboratorio de análisis de aguas residuales y lodos domiciliarios e industriales para una empresa de asesoría en diseño de plantas de aguas residuales, recolección y tratamiento de lodos.

### Específicos

1. Seleccionar los análisis y las metodologías de caracterización de aguas residuales y de lodos según el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 *Reglamento de las descargas y reuso de las aguas residuales y de la disposición de lodos*, la Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-1993 y el *Standard Methods for the examination of water and wastewater*.
2. Determinar los reactivos, equipo y cristalería necesaria según la metodología seleccionada para cada análisis.
3. Realizar los planos de distribución del mobiliario, equipo y sistemas auxiliares del laboratorio.
4. Proponer un plan de seguridad industrial, por medio del establecimiento de normas generales de seguridad industrial y salud en el laboratorio, que describa las actuaciones en caso de emergencia, la manipulación de las sustancias químicas, rutas de evacuación, normas de etiquetado de sustancias químicas y equipo de seguridad y contra incendios.

5. Proponer la metodología de muestreo y preservación de muestras de lodos y aguas residuales para cada análisis, según la Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 5667-15 y el *Standard Methods for the examination of water and wastewater*, respectivamente.

## INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales son aquellas generadas por residencias, comercios e industrias. La descarga de estas aguas en corrientes y cuerpos superficiales de agua conduce al deterioro de las mismas, por lo que dejan de ser fuente de abastecimiento de agua para las comunidades cercanas y contribuyen al desequilibrio ecológico. La mezcla de aguas residuales con las aguas superficiales cambia las características fisicoquímicas y biológicas del agua provocando la presencia de elementos tóxicos como el plomo o el mercurio, inclusive de bacterias como la *Escherichia coli* o la *Salmonella*.

Para evitar dichas características perjudiciales para la salud y el ambiente, es necesario un sistema de tratamiento que reduzca efectivamente las concentraciones de las sustancias peligrosas hasta niveles aceptables. El objetivo del tratamiento de aguas residuales es remover sus contaminantes presentes y hacerlas aptas para otros usos o evitar daños al ambiente. Sin embargo, el tratamiento del agua tiene como consecuencia la formación de lodos residuales, subproductos indeseables y difíciles de tratar.

La selección del sistema de tratamiento a utilizar se basa en las características fisicoquímicas y biológicas del agua residual, por lo que es necesario un previo análisis de laboratorio que indique las sustancias presentes en la muestra de agua. Asimismo, el lodo residual debe someterse a un análisis para determinar sus características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad y biológico-infecciosas (análisis CRETIB) para determinar si este es un residuo peligroso y plantear las alternativas para su manejo y disposición.

Se diseñó un laboratorio de análisis de aguas residuales y lodos para la planta de tratamiento de lodos domiciliarios e industriales de una empresa que proporciona asesoría en el diseño de plantas de aguas residuales, ya que esta no cuenta con un laboratorio propio de análisis de muestras por lo que acude a laboratorios externos y a universidades para la obtención de dichos análisis. El laboratorio se diseñó en un área específica de la planta de tratamiento de lodos, ubicada en Palín, Escuintla.

Los análisis seleccionados cumplen con el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 *Reglamento de las descargas y reuso de las aguas residuales y de la disposición de lodos* para los análisis fisicoquímicos de las aguas residuales y lodos. Asimismo, cumple con la Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-1993 para la realización de los análisis seleccionados CRETIB. La propuesta de metodología de muestreo para los lodos cumple con la Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 5667-15 Parte 15 y con el *Standard Methods for the examination of water and wastewater*, para las aguas residuales. Finalmente, para la selección de las especificaciones ambientales del laboratorio, se tomaron como base las *Consideraciones Ambientales para Laboratorios de ensayo ISA-RP52.1-1975* y la *Guía Metas: condiciones ambientales para calibración y prueba en laboratorio y campo*.

## 1. ANTECEDENTES

En la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala existen pocas referencias bibliográficas referentes al diseño e implementación de laboratorios de análisis de aguas residuales y lodos en plantas de tratamientos de aguas residuales y lodos. Es por esto que se recurrió a investigar también sobre trabajos de graduación relacionados con la caracterización del agua residual y lodos.

En noviembre de 2008 se realizó un trabajo de graduación sobre: *Remodelación de las instalaciones del laboratorio de química e implantación de nuevos laboratorios de química en la Escuela de Ingeniería Química de la Usac*. Dicho estudio tuvo como objetivo formular un proyecto para la creación de nuevos laboratorios para la Escuela de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

En el desarrollo de la investigación se realizó un estudio técnico de diseño e implantación de dos nuevos laboratorios que pudieran ser construidos en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería para uso de la Escuela de Ingeniería Química. Asimismo, se elaboró un plan de seguridad industrial; se propusieron posibles fuentes de financiamiento para la realización del proyecto y se realizó una distribución de planta, tomando en cuenta factores de seguridad industrial.

Además, se establecieron normas de diseño y seguridad industrial para laboratorios de química, las cuales trataron los aspectos de las paredes, accesos, la protección de riesgo especial y de explosión y exigencias de seguridad vitalicia. Se especificaron técnicas del mobiliario (mesas murales y

centrales, superficies de trabajo, repisas, estanterías de seguridad, estanterías inferiores, fregaderos, taburetes y sillas para laboratorios). Se especificaron también técnicas de equipo de laboratorio y de equipo de seguridad (campanas extractoras, duchas de seguridad y fuentes lavaojos), así como técnicas de equipo contra incendios, el cual consistía en alarmas, extinguidores, material o tierra absorbente.

Se trató también el tema de la iluminación, en el cual se calculó la iluminación requerida, el tipo de lámparas, los lúmenes iniciales y la depreciación en las superficies del luminario, DSL. Dicho factor determina los daños ocasionados por el uso en las superficies del luminario y otros componentes como pintura, refractor, entre otros.

Se establecieron rutas de evacuación, se estableció el tipo de ventilación, lineamientos sobre el piso, drenajes, diseño de tuberías, y finalmente, se estableció el presupuesto de equipamiento de los nuevos laboratorios (reactivos, equipo y cristalería, mobiliario, drenajes y tuberías).

En febrero de 2007, en la Escuela de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, se realizó el trabajo de graduación *Diseño del proceso e implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales a nivel laboratorio, provenientes de la línea de producción de químicos para lavandería de una planta industrial*. Este trabajo de graduación tuvo como objetivo principal diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales a nivel de laboratorio, con el fin de disminuir el impacto que tienen éstas en el ambiente. Para el diseño de la planta a nivel laboratorio se realizó un diagnóstico de la caracterización de efluentes, en el cual se midió el caudal de las aguas residuales hasta obtener los resultados del muestreo de los parámetros fisicoquímicos del agua residual.

Posteriormente, se seleccionaron y propusieron las etapas del proceso del diseño, junto con la implementación de la planta a nivel laboratorio. Se estableció también un programa de monitoreo ambiental para garantizar la efectividad de las acciones en cuanto a medidas de mitigación de impacto ambiental se refiere, para la operación y mantenimiento regular del sistema de tratamiento de aguas residuales.

En mayo de 2004 se realizó en la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos, el trabajo de graduación *Evaluación de la calidad del agua potable de Guastatoya cabecera departamental, del departamento de El Progreso*. El estudio se realizó en el sistema de red municipal, efectuando análisis físicos (color, olor, pH, turbidez y conductividad eléctrica), químicos (cloruros, cloro residual libre, dureza total, magnesio, calcio y nitritos) y bacteriológicos (recuento total de heterotróficos mesófilos, coliformes generales, coliformes fecales).

El muestreo del agua se realizó en nacimientos, tanque de distribución (3 muestras), hospital y barrios (13 muestras), tomándose un total de 50 muestras en seis semanas.

Se obtuvieron los resultados de los exámenes físicos y químicos, los cuales se encontraron dentro del límite máximo aceptable (LMA) y el límite máximo permisible (LMP) establecidos por las normas Coguanor. En cuanto a los exámenes bacteriológicos se detectó la presencia de las bacterias *Enterobacter*, *Escherichia coli*, *Pseudomasa eruginosa* y *Klebsiell asp*.

Al finalizar el estudio se concluyó que el agua para consumo humano de Guastatoya tiene características físicas y químicas aceptables, caso contrario de los resultados de los exámenes bacteriológicos que demostraron

contaminación de bacterias en el agua, mostrando así que el agua de dicho sector no es potable y pone en riesgo la salud de la población.

En mayo de 2003 en la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala se realizó el trabajo de graduación *Determinación de coliformes, salmonella y helmintos en lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales, Nimajuyú I, zona 21, Guatemala*. Este estudio tuvo como objetivo realizar análisis microbiológicos a lodos secos y húmedos colectados en las épocas seca y lluviosa procedentes de la planta de tratamiento de aguas residuales, Nimajuyú I.

Para la identificación y cuantificación de coliformes totales y fecales se utilizó la técnica de fermentación en tubo múltiple (número más probable) en juego de tres tubos. Para la *salmonella sp.* Se utilizó caldo base Salmosyst y agar Rambach. Finalmente, para la identificación de los huevos de Helmintos, se utilizó la técnica de Stoll modificada, la viabilidad de los huevos se diferenció por medio de tinción con azul de metileno al 0,3 %.

Los resultados del estudio demostraron que el proceso de secado al sol es adecuado para disminuir la concentración de *salmonella* y huevos de helmintos por debajo de los límites establecidos, mas no para los coliformes fecales. También se determinó que la concentración de coliformes fecales fue generalmente mayor para las muestras húmedas respecto de las secas. La concentración de estos microorganismos también fue generalmente mayor para las muestras de la época lluviosa en comparación con la época seca.

Finalmente, se estableció que los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Nimajuyú I no pueden ser utilizados como mejoradores sin

restricción de suelos, debido a que no cumplen con el límite establecido para coliformes fecales.

En noviembre de 1999 se realizó el trabajo de graduación en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala sobre *Caracterización de efluentes de un ingenio azucarero*. En dicho estudio la caracterización del efluente consistió en análisis fisicoquímicos, como la demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, pH, temperatura, oxígeno disuelto y turbiedad. Dichos parámetros se determinaron en ocho puntos a lo largo del circuito general de agua del proceso de fabricación de azúcar en forma de muestreos periódicos, durante un periodo determinado de tiempo.

Asimismo, los resultados obtenidos se compararon con los límites máximos permisibles impuestos por las autoridades gubernamentales y se determinó que están muy por debajo de ellos.

En agosto de 2010 en la Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales de la Universidad de San Carlos de Guatemala se realizó el trabajo de graduación *El Acuerdo Gubernativo 236-2006, sus contingencias jurídicas y ambientales en nuestro país*. El objetivo de este estudio fue la problemática que existe en la falta de aplicación del Acuerdo Gubernativo 236-2006, sus contingencias jurídicas y ambientales en nuestro país, teniendo como consecuencia la contaminación, y serios problemas al medio ambiente y al equilibrio ecológico, siendo este un derecho reconocido en la Constitución Política de la República de Guatemala. El manejo, tratamiento y disposición final de lodos, generados en plantas de tratamiento de aguas residuales se encuentran regulados por dicho reglamento, a fin de mejorar las características de las aguas.

En este estudio se planteó que en Guatemala aún no se le da efecto el cumplimiento al Acuerdo Gubernativo 236-2006, *Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos*.

En el desarrollo de la investigación se realizó un estudio de la degradación ambiental y de los problemas ambientales que aquejan el planeta. Asimismo, se analizaron las medidas implementadas por el Estado de Guatemala en frenar el impacto ambiental. Se desarrolló también el tema de la protección y gestión de los recursos hídricos en Guatemala; se expuso el problema de la contaminación del agua en el país y deficiente tratamiento de las aguas residuales, evidenciando la inadecuada disposición de los lodos. Finalmente, se muestra una propuesta de soluciones a la inobservancia del Acuerdo Gubernativo 236-2006.

Se trataron temas como la composición de las aguas residuales, la producción y características de lodos, la reutilización de las aguas residuales y el proceso de tratamiento de aguas residuales y lodos.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Agua**

Es uno de los compuestos más abundantes de la naturaleza, siendo este incoloro, inodoro e insípido esencial para la vida y el más empleado de los disolventes.

#### **2.1.1. Calidad del agua**

La calidad depende del uso que se dé al agua, y por lo tanto describe las características físicas, químicas y biológicas necesarias según su uso. También afecta aspectos de los ecosistemas y del bienestar humano como la salud, los alimentos que se producen, la industria, los ecosistemas y la diversidad biológica. Por ende, la calidad del agua influye también sobre el nivel de pobreza humana y los niveles de educación.

Debido a que la calidad del agua depende del uso que se le dé, el agua con los niveles más altos de pureza es aquella destinada para la recreación, la pesca, para beber y para el hábitat de organismos acuáticos; mientras que para la producción de energía hidroeléctrica, los niveles de pureza son muchos más bajos. Después de ser utilizada, el agua suele regresar al sistema hidrológico y, si no es tratada, puede afectar gravemente al medio ambiente. Es por esto que se utilizan las plantas de tratamiento de aguas residuales.

## **2.2. Aguas residuales**

Son vertientes provenientes de procesos post-industriales, es decir, que han sido utilizadas en sistemas de fabricación, producción o manejo industrial y que para ser desechadas necesitan ser tratadas previamente, de manera tal que puedan ser adecuadas para su ubicación en las respectivas redes de vertido, depuradoras o sistemas naturales, tales como lagos, ríos, embalses, entre otros. (5) Las aguas residuales se clasifican en: domésticas, industriales y agrícolas.

- Las aguas residuales domésticas: son desechos líquidos provenientes de la actividad doméstica en residencias, edificios e instituciones.
- Las aguas residuales industriales: son desechos líquidos provenientes de establecimientos donde se realizan actividades industriales.
- Las aguas residuales agrícolas: son desechos líquidos procedentes de la erosión de las tierras de cultivo como compuestos de fósforo y nitrógeno que, en parte, proceden de los residuos animales y fertilizantes comerciales.

### **2.2.1. Caracterización de aguas residuales**

Consiste en realizar análisis físicos, químicos y microbiológicos para determinar qué compuestos inorgánicos se encuentran presentes en el agua, así como su biodegradabilidad, su posible transformación y su toxicidad. La caracterización de las aguas residuales es importante para determinar la selección y diseño del proceso de tratamiento. Según el Acuerdo Gubernativo 236-2006 *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la*

*disposición de lodos*, los parámetros de medición para determinar las características de las aguas residuales son los siguientes:

- Temperatura
- Potencial de hidrógeno
- Grasas y aceites
- Materia flotante
- Sólidos suspendidos totales
- Demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días a 20 °C
- Demanda química de oxígeno
- Nitrógeno total
- Fósforo total
- Arsénico
- Cadmio
- Cianuro total
- Cobre
- Cromo hexavalente
- Mercurio
- Níquel
- Plomo
- Zinc
- Color
- Coliformes fecales

### **2.2.2. Caracterización física**

Consiste en el análisis de parámetros físicos fácilmente detectables por medio de los sentidos, por ejemplo, el color, olor, cambios térmicos y materia flotante.

### **2.2.3. Caracterización química**

Consiste en el análisis de materiales orgánicos o inorgánicos, inclusive tóxicos, como los metales pesados y las sustancias carcinógenas. Entre las sustancias químicas de importancia para la salud destacan el cadmio, el cianuro, el cobre, el mercurio y el plomo.

### **2.2.4. Caracterización microbiológica**

Consiste en la determinación de la presencia de microorganismos dañinos para el medio ambiente y la salud, por ejemplo, la *Escherichia coli*, *salmonella*, *helminths*, entre otros, los cuales son organismos patógenos que sobreviven un tiempo suficientemente prologando para infectar a otros usuarios del agua.

### **2.2.5. Reuso**

El reuso del agua es un recurso hídrico disponible para combatir la escasez de agua y tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo, se ha incrementado en los últimos años.

El Acuerdo Gubernativo 236-2006 *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos* autoriza los siguientes tipos de reuso de aguas residuales que cumplan con los límites máximos permisibles:

- Tipo I: reuso para riego agrícola en general
- Tipo II: reuso para cultivos comestibles
- Tipo III: reuso para acuicultura
- Tipo IV: reuso para pastos y otros cultivos
- Tipo V: reuso recreativo

Cualquier otro reuso no contemplado en dicho Acuerdo, deberá ser autorizado previamente por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

### **2.3. Lodos residuales**

Los lodos o fangos son subproductos resultantes de los procesos de tratamiento de aguas residuales, los cuales consisten en basuras, arena, espumas y lodo. Estos lodos suelen ser un líquido o líquido-semisólido con gran contenido en sólidos entre el 0,25 y el 12 % en peso.

El tratamiento y evacuación del lodo es, probablemente, el problema más complejo al que se enfrentan los ingenieros sanitarios, ya que es el constituyente de mayor volumen eliminado en las plantas de aguas residuales. El Acuerdo Gubernativo 236-2006 *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos* permite efectuar la disposición final de lodos, por cualquiera de las siguientes formas:

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

#### **2.3.1. Caracterización de lodos**

Esta caracterización se realiza para determinar el contenido de metales pesados, así como su nivel de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad y biológico-infecciosas para determinar si el lodo es considerado como un residuo peligroso o como un residuo no peligroso y así determinar la forma de reutilización del mismo, en caso de resultar no peligroso. Según el Acuerdo

Gubernativo 236-2006 *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos*, la caracterización debe consistir en la determinación de los siguientes metales: arsénico, cadmio, cromo, mercurio y plomo.

### **2.3.2. Tratamiento de lodos**

El tratamiento de lodos constituye una parte fundamental de las plantas de tratamiento y supone un 50 % del costo de inversión, además de los costos de mantenimiento y control. A continuación se describe el proceso para el tratamiento de lodos:

- **Espesamiento:** permite reducir al mínimo el volumen y así facilitar su manejo, transporte y almacenamiento. Se realiza por centrifugación o flotación. Es necesario tomar en cuenta la capacidad de espesamiento, la velocidad ascensional, la altura del espesado y el tiempo de retención para el dimensionado de los espesadores.
  
- **Digestión aerobia y anaerobia:**
  - **Digestión aerobia:** es la eliminación en presencia de aire de la parte fermentable de los lodos. Los lodos en este proceso disminuyen de forma continua hasta alcanzar una estabilización o digestión del 30 al 35 % por la acción de los microorganismos existentes en el reactor biológico a la vez que se produce una mineralización de la materia orgánica. El proceso termofílico utiliza el calor metabólico producido por la biodegradación de la materia orgánica, alcanzándose temperaturas entre 45 y 65 °C, con ello se produce la destrucción de patógenos.

- Digestión anaerobia: La descomposición de la materia orgánica por las bacterias se realiza en ausencia de aire. Se utiliza para obtener un producto final aséptico. Pasa por los procesos de: licuefacción, gasificación y mineralización produciéndose un producto final inerte y con liberación de gases. Los siguientes parámetros determinan su eficacia:
  - Temperatura (rango óptimo 29-33 °C).
  - Concentración de sólidos.
  - pH (debajo de 6,2 la supervivencia de microorganismos productores de metano es imposible) y ácidos volátiles.
  
- Estabilización química: consiste en adicionar productos químicos que inactivan los lodos. Generalmente se usa cal, la cual aumenta el pH y dificulta la acción biológica de los lodos favoreciendo la liberación de amoníaco.
  
- Deshidratación: la eliminación de agua de los lodos se consigue mediante espesado, deshidratación y secado. El agua libre e intersticial se elimina con el proceso de espesado. Para la separación del agua capilar y de adhesión es necesaria una deshidratación con fuerzas mecánicas en centrifugadoras y filtros. Cuando se desea eliminar el agua de adsorción y de constitución se requieren energía térmica. La elección del método más adecuado dependerá del contenido en materia seca deseada en el lodo final, el costo del método y características del lodo.
  
- Desinfección: es el proceso mediante el cual se eliminan organismos patógenos que pueden ser un riesgo sanitario. Los métodos que se utilizan son la pasteurización que somete a los lodos a temperaturas de

70 °C y durante 30 minutos, el compostaje y la estabilización termofílica aerobia o anaerobia que provoca temperaturas de 60 °C y un pH de 8 durante 48 horas o 24 horas si el pH es diferente.

#### **2.4. Legislación de aguas residuales y lodos**

La caracterización del agua y lodos residuales debe cumplir con las normas establecidas por el Acuerdo Gubernativo 236-2006 *Reglamento de las descargas y reuso de las aguas residuales y de la disposición de lodos*.

El objeto de dicho 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. El mejoramiento de las características de dichas aguas, debe permitir:

- Proteger los cuerpos receptores de agua de los impactos provenientes de la actividad humana.
- Promover el desarrollo del recurso hídrico con visión de gestión integrada.

El Reglamento debe aplicarse a:

- Los entes generadores de aguas residuales.
- Las personas que descarguen sus aguas residuales de tipo especial al alcantarillado público.
- Las personas que produzcan aguas residuales para reuso.
- Las personas que reusen parcial o totalmente aguas residuales.
- Las personas responsables del manejo, tratamiento y disposición final de lodos.

## **2.5. Métodos de análisis de aguas residuales y lodos**

A continuación se describen los análisis de aguas residuales y lodos requeridos por el Acuerdo Gubernativo 236-2006.

### **2.5.1. Aguas residuales**

Los análisis de aguas residuales requeridos por la normativa nacional son los siguientes:

#### **2.5.1.1. Análisis fisicoquímicos**

Permiten conocer el olor, sabor, apariencia, contaminantes químicos y aceptabilidad del agua de una manera general. Entre los contaminantes químicos, los que generan especial inquietud son los que tienen propiedades tóxicas acumulativas, como los metales pesados y las sustancias carcinógenas.

##### **2.5.1.1.1. Temperatura**

El aumento de temperatura disminuye la solubilidad de gases (oxígeno) y aumenta la de las sales. La temperatura influye en las actividades metabólicas, en las tasas de transferencia de gases y características de sedimentación de sólidos biológicos.

##### **2.5.1.1.2. Color**

El color del agua se debe a la presencia de sustancias orgánicas disueltas o coloidales, sustancias inorgánicas disueltas o cuerpos vivos como algas. El color de las aguas residuales puede dar una idea de la edad de las mismas. Las

aguas residuales de menor edad son de color grisáceo; a medida que transcurre el tiempo su color va oscureciéndose hasta volverse totalmente negras. El color se determina por la comparación de la muestra con un patrón de platino y cobalto. Sus unidades son unidades de color (UC).

#### **2.5.1.1.3. Potencial de hidrógeno (pH)**

Determina si el agua es ácida (aquella que provoca la corrosión en las tuberías de hierro), neutra o básica. Una solución que tenga pH menor que 7 es ácida, la que tenga un pH equivalente a 7 es neutra y, si el pH es mayor a 7, la solución es alcalina.

#### **2.5.1.1.4. Demanda química de oxígeno (DQO)**

Es un índice de la cantidad de oxígeno que sería necesaria para oxidar mediante reacciones químicas todos los compuestos oxidables presentes en una muestra de agua. Sus unidades se dan en partes por millón o en miligramos/litros.

#### **2.5.1.1.5. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)**

Es un índice de la cantidad de oxígeno disuelto en una muestra de agua que se consume durante cinco días como consecuencia de la acción de los microorganismos presentes sobre el contenido de materia orgánica, es decir, indica la cantidad de materia biodegradable presente en la muestra y sus unidades se encuentran en partes por millón o miligramos/litros.

#### **2.5.1.1.6. Sólidos totales (ST)**

Determinación por método gravimétrico del peso del residuo sólido que queda después de evaporar una muestra a 103 o 105 °C.

#### **2.5.1.1.7. Sólidos suspendidos totales (SST)**

Es la diferencia del peso de los sólidos totales y los sólidos totales disueltos, es decir, el peso seco de los sólidos retenidos en un filtro previamente tarado o pesado.

#### **2.5.1.1.8. Materia flotante**

El material flotante en las aguas residuales se acumula en la superficie, suele ser muy visible, es susceptible de ser transportado por el viento, puede contener bacterias patógenas o virus asociados con partículas aisladas y puede concentrar cifras elevadas de metales e hidrocarburos clorados como los pesticidas.

#### **2.5.1.1.9. Alcalinidad**

Se mide mediante titulación volumétrica usando ácido sulfúrico como titulante y es reportado en términos de equivalente de carbonato de calcio. Para muestras cuyo pH sea mayor a 8,3 la titulación se hace en dos pasos: en el primero se añade a la muestra fenolftaleína y se titula hasta que pasa a incolora y posteriormente, sobre la misma muestra, se continúa la titulación, usando anaranjado de metilo como indicador, hasta llegar a coloración canela. (Se puede usar también verde de bromo cresol o un indicador combinado).

A partir de estos datos y el pH, es posible determinar la concentración de iones carbonato, bicarbonato e hidróxido presentes en el agua.

#### **2.5.1.1.10. Acidez**

Se mide por titulación con solución alcalina (NaOH 0,01 N o menor). Si se quiere conocer la acidez total se titula usando fenolftaleína como indicador. También se puede determinar la acidez al punto de vire del anaranjado de metilo.

#### **2.5.1.1.11. Cloruros**

Se utiliza el método volumétrico de Mohr, haciendo una titulación con nitrato de plata y utilizando cromato de potasio como indicador hasta una coloración amarillo rosácea.

#### **2.5.1.1.12. Dureza total**

Se determina por titulación con EDTA en medio de pH 10, utilizando negro de eriocromo como indicador. Los resultados se reportan en miligramos de carbonato de calcio/L.

#### **2.5.1.1.13. Metales pesados y nutrientes**

Consiste en la caracterización de metales pesados como el arsénico, cadmio, cinc, cobre, mercurio, cromo hexavalente, níquel, plomo, entre otros, y nutrientes como el fósforo y el nitrógeno total.

#### **2.5.1.1.14. Grasas y aceites**

Uno de los principales problemas que producen los aceites y grasas es que forman una capa en la superficie del agua o el suelo, evitan el contacto con el aire y por ende con el oxígeno, y este es vital para los procesos de descomposición y tratamiento.

#### **2.5.1.2. Análisis biológicos**

A continuación se describen los análisis microbiológicos requeridos por la normativa nacional.

##### **2.5.1.2.1. Coliformes fecales**

Se refiere a la concentración de bacterias coliformes, es decir, de la *Escherichia coli*, el cual indica la presencia de contaminación fecal y de bacterias patógenas provenientes del tracto digestivo de seres humanos y animales de sangre caliente. Son un subgrupo de las coliformes totales y fermentan lactosa a 44 °C.

##### **2.5.1.2.2. Coliformes totales**

Se refiere a la presencia de *Enterobacteriaceae* lactosa-positivas que se encuentran principalmente en el intestino del hombre y animales y fermentan lactosa en un periodo de 48 horas a una temperatura de incubación entre 30 y 37 °C.

### 2.5.1.3. Análisis CRETIB

Las siglas CRETIB comprenden las características de peligrosidad de los desechos corrosivos, reactivos, explosivos, tóxicos, inflamables y biológicos infecciosos. A continuación se presentan los criterios CRETIB:

- Corrosivo: “en estado líquido o en solución acuosa presenta un pH menor o igual a 2,0 o mayor o igual a 12,5.
- Reactividad: bajo condiciones normales (25 °C y 1 atm):
  - Se combina o polimeriza violentamente sin detonación y es capaz de producir radicales libres.
  - Cuando se pone en contacto con agua en relación (residuo-agua) de 5:1, 5:3, 5:5 reacciona violentamente formando gases, vapores o humos.
  - Cuando se pone en contacto con soluciones de pH; ácido (HCl 1.0 N) y básico (NaOH 1,0 N), en relación (residuo-solución) de 5:1, 5:3, 5:5 reacciona violentamente formando gases, vapores o humos.
  - Posee en su constitución cianuros o sulfuros que cuando se exponen a condiciones de pH entre 2,0 y 12,5 pueden generar gases, vapores o humos tóxicos en cantidades mayores a 250 mg de HCL/kg de residuo o 500 mg de H<sub>2</sub>S/kg de residuo o 500 mg de H<sub>2</sub>S/kg de residuo.
- Explosividad: cuando tiene una constante de explosividad igual o mayor a la del dinitrobenzeno y es capaz de producir una reacción detonante o explosiva a 25 °C y a 1,03 kg/cm<sup>2</sup> de presión.
- Toxicidad: se considera tóxico al ambiente cuando al someterse a la prueba de extracción conforme a la Norma Oficial Mexicana NOM-053-ECOL-993, el extracto PECT de la muestra representativa contiene uno o más de los constituyentes de la tabla I, en una concentración igual o mayor al límite señalado.

Tabla I. **Características del lixiviado (PECT) que hacen peligroso a un residuo por su toxicidad al ambiente**

Inorgánicos	mg/l
Arsénico	5,0
Bario	100,0
Cadmio	1,0
Cromo hexavalente	5,0
Níquel	5,0
Mercurio	0,2
Plata	5,0
Plomo	5,0
Selenio	1,0

Fuente: CARDOSO, Lina; TOMASINI, Cecilia. *Serie autodidáctica de medición de la calidad del agua, segunda parte*. p. 7.

- Inflamabilidad: en solución acuosa contiene más de 24 % de alcohol en volumen, es líquido y tiene un punto de inflamación inferior a 60 °C. No es líquido, pero es capaz de provocar fuego por fricción, absorción de humedad o cambios químicos espontáneos (a 25 °C y a 1,03 kg/cm<sup>2</sup>).
- Biológico infeccioso: se da cuando contiene bacterias, virus u otros microorganismos con capacidad de infección y contiene toxinas producidas por microorganismos que causen efectos nocivos a seres vivos”.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> CARDOSO, Lina; Cecilia Tomasini, *Serie autodidáctica de medición de la calidad del agua, segunda parte: características y efectos de los residuos peligrosos*. [en línea] <[http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/residuos\\_peligrosos.pdf](http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/residuos_peligrosos.pdf)>.

## **2.5.2. Lodos residuales**

A continuación se describen los análisis de lodos residuales requeridos por la normativa nacional.

### **2.5.2.1. Metales pesados**

En los lodos, la determinación de los contenidos totales de metales requiere de una previa digestión. Existen varios tipos de digestión, pero las más usuales se realizan con ácido nítrico-ácido perclórico y digestión con ácido nítrico asistido con microondas. Se debe determinar la presencia de arsénico, cadmio, cromo, mercurio y plomo.

## **2.6. Muestreo de aguas residuales**

Las aguas residuales se muestrean y se analizan en el laboratorio para determinar sus características físicas, químicas y biológicas, usualmente la determinación del caudal también es necesaria. Las muestras deben reflejar verdaderamente las características del agua que se muestrea.

### **2.6.1. Muestreo puntual**

Es aquel que se realiza y analiza en el lugar. Solo suministra información sobre las características del agua residual muestreada en ese momento. Estos muestreos se establecen cuando se requiere conocer el comportamiento en el tiempo de las concentraciones de diferentes componentes y determinar los máximos y mínimos de estas concentraciones, conociendo además, el caudal en el punto de muestreo.

### **2.6.2. Muestreo compuesto**

Una muestra compuesta se obtiene mezclando en un frasco una serie de muestras instantáneas de volúmenes iguales o proporcionales.

Un ejemplo del muestro compuesto es tomar un volumen fijo del agua y muestrearla cada intervalo de tiempo hasta completar un volumen determinado. Por ejemplo, se puede tomar 100 mL del agua cada hora. En 24 horas esto hará un total de 2400 mL o sea 2,4 L.

### **2.6.3. Muestreo proporcional**

Para realizar este muestreo, se debe conocer el caudal medio (promedio aritmético) del sistema que se va a muestrear. El caudal de un sistema colector de aguas residuales varía en el tiempo y presenta máximos y mínimos.

### **2.6.4. Preservación de muestras**

Los métodos de preservación de las aguas residuales tienen por objetivo retardar la acción biológica, la hidrólisis de compuestos y complejos químicos y reducir la volatilidad de los constituyentes. Los métodos de preservación se limitan usualmente al control de pH, adición química, refrigeración y congelación.

Tabla II. **Preservantes importantes para muestras de agua**

<b>Preservante</b>	<b>Acción</b>	<b>Aplicable a</b>
HgCl <sub>2</sub>	Inhibidor bacteriano	Formas nitrogenadas, formas fosfóricas
Ácido (HNO <sub>3</sub> )	Solvente metálico, previene la precipitación	Metales
Ácido (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	Inhibidor bacteriano	Muestras orgánicas (DQO, aceite y grasa)
	Formación de sal con bases orgánicas	Amoníaco, aminas
Álcali (NaOH)	Formación de sal con compuestos volátiles	Cianuros, ácidos orgánicos
Refrigeración	Inhibidor bacteriano retrasa las tasas de reacción química	Acidez, alcalinidad, materiales orgánicos, DBO, color, olor, fósforo orgánico, nitrógeno orgánico, carbono, organismos biológicos.

Fuente: ESPARZA, Luisa. *Procedimientos simplificados de análisis químicos de aguas residuales*.

p. 2.

## 2.7. Muestreo de lodos

Es importante que el personal que toma y analiza las muestras de los lodos conozca completamente su naturaleza y el propósito del análisis, antes de iniciar cualquier programa de trabajo. Según el Acuerdo Gubernativo 236-2006, la toma de muestras se deberá realizar con la siguiente periodicidad:

- Entre 0 y 1,500 kg diarios de lodos producidos: trimestralmente
- Entre 1,501 y 3,000 kg diarios de lodos producidos: bimensualmente
- Más de 3,000 kg diarios de lodos producidos: mensualmente

### **2.7.1. Muestreo puntual**

Consiste en tomar la muestra aleatoriamente de un líquido o flujo de torta en un transportador o de un solo punto en la muestra, en una pila. Un mejoramiento de esta técnica consiste en una serie programada de muestras aleatorias analizadas individualmente, que pueden ser líquidas o en torta.

### **2.7.2. Muestreo compuesto**

El muestreo compuesto se compone por dos o más muestras o submuestras mezcladas en proporciones o volúmenes conocidos, de los cuales se puede obtener el valor promedio de una característica o parámetro deseado.

### **2.7.3. Muestreo proporcional**

Consiste en obtener una muestra de lodos que fluyen, en el cual la frecuencia de la recolección o el caudal de la muestra es directamente proporcional al caudal del lodo al que se realiza el muestreo.

### **2.7.4. Preservación de muestras**

Se debe de preparar previamente la muestra de lodo para homogeneizarla y ser usada en los análisis químicos y físicos. Normalmente, los lodos tienen una humedad que puede dificultar la obtención de una muestra representativa. Por lo tanto, deben secarse y molerse para reducir la variabilidad de las submuestras a usarse en los análisis. El secado se realiza a una temperatura no superior a  $40\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  y luego la muestra se muele hasta que pase por un tamiz de 2 mm de apertura. Tanto el secado como la molienda deben realizarse

usando equipos y materiales que no liberen elementos que serán analizados en las muestras.

Las muestras se deben identificar, empacar, almacenar y transportar en donde sea posible, a  $4\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  para evitar la posibilidad de pérdida de elementos volátiles y minimizar el cambio inducido biológicamente. Se deben almacenar en la oscuridad para evitar inducir actividad biológica.

Los recipientes de las muestras se deben proteger en todo momento de cualquier fuente directa de calor, incluyendo el sol, y se deben llevar al laboratorio para almacenamiento en refrigeración o un análisis rápido para eliminar el riesgo de acumulación de gas en los recipientes.

Se recomienda envolver con cinta adhesiva impermeable todos los recipientes de vidrio usados para el muestreo de los lodos en donde puede ocurrir gasificación, o mediante otras medidas equivalentes, por ejemplo envolverlos en una malla plástica. Con estas medidas se minimizará la dispersión de fragmentos del recipiente si ocurre una explosión.

## **2.8. Diseño de laboratorios**

Un laboratorio está compuesto por el conjunto de personas, local, instalaciones, aparatos y materiales necesarios para obtener productos, realizar ensayos o análisis químicos, físicos o microbiológicos.

El diseño y la organización del laboratorio deben ser analizados eficientemente para lograr que sea adecuado para prevenir accidentes o problemas hacia la salud de los/as analistas. La distribución de superficies debe tener el espacio, de forma que se puedan desarrollar todas las operaciones de

forma segura, incluida la circulación de personas y materiales. Por ejemplo, una medida de seguridad consiste en nunca colocar los equipos y aparatos en zonas de paso como en los pasillos del laboratorio.

En cada laboratorio es conveniente delimitar una zona de seguridad, que debe de cumplir una serie de condiciones, con el objeto de facilitar la puesta en práctica de medidas de emergencia.

### **2.8.1. Requisitos de ubicación**

Un requisito muy importante de la ubicación de los laboratorios es el número de plantas que tiene el edificio y en qué planta se ubicará el laboratorio, ya que los problemas en materia de ventilación, desagüe y evacuación en caso de emergencia depende de este factor.

Otro aspecto a tener en cuenta es el uso del edificio, ya que es muy distinto el hecho de que se trate de un edificio docente, un edificio sanitario o un edificio industrial.

Tabla III. **Ventajas e inconvenientes de la ubicación de un laboratorio**

Número de plantas del edificio	Situación del laboratorio	Ventajas	Inconvenientes
Más de tres plantas	Planta baja	Fácil aprovisionamiento Fácil evacuación del personal. Fácil evacuación de residuos.	Difícil evacuación de las plantas superiores. Largos y costosos sistemas de extracción. Fácil propagación del humo y del fuego a las plantas superiores.
	Planta intermedia o alta	Fácil y económico sistema de extracción. Lenta propagación del fuego en el edificio.	Difícil evacuación del personal. Difícil aprovisionamiento. Peligro de escapes incontrolados a plantas inferiores. Difícil evacuación de residuos.
Una sola planta	Fácil evacuación. Mínimas vibraciones. Facilidad de disponer de un almacén separado. Mayor capacidad de adaptación al entorno.		Ocupan mucho espacio. Redes de distribución y servicios muy costosas. Desplazamientos horizontales largos.

Fuente: GUARDINO, Xavier. *NTP 550: Prevención de riesgos en el laboratorio: ubicación y distribución*. p. 3.

### **2.8.2. Distribución (cantidades, dimensiones, flujos, color)**

Para controlar y reducir el riesgo, tanto para la salud como para el medio ambiente, se debe de diseñar una distribución del laboratorio sectorizándolo convenientemente en función de los diferentes riesgos. Considerando las zonas de mayor riesgo, junto con espacios dedicados a despachos, cuartos de balanzas o salas de reuniones. Debe de diseñarse de manera que en caso de incendio u otro tipo de incidente (fugas, emanaciones y derrames) sea difícil la propagación del fuego, de los humos o de la posible contaminación generada. Los aspectos generales a contemplar para el diseño de un laboratorio son:

- Riesgo intrínseco: es función de los materiales, los productos, los procesos en que se utilicen y la superficie del laboratorio.
- Ventilación general del laboratorio: el sistema de ventilación debe ser independiente del resto del edificio para así impedir la difusión del aire contaminado a otras áreas, manteniendo separada la circulación del aire de las áreas menos contaminadas a las más contaminadas.
- Almacén de productos: la presencia de un almacén condiciona la carga de fuego del mismo y en consecuencia su riesgo intrínseco.
- Gases a presión: es aconsejable establecer un lugar externo y bien ventilado para la instalación de los gases a presión. Si ello no es posible deberá procurarse que el área del laboratorio donde sea necesario, esté bien ventilada y, si es posible, disponga de un sistema de ventilación de emergencia.

En cuanto al color, los aspectos más importantes que deben considerarse al elegir los colores para el laboratorio es el factor de reflexión de la pintura

elegida y la armonía entre los colores. En general, se recomienda elegir el blanco o crema para las paredes y mobiliario. Es importante señalar que la elección de tonos claros tiene el efecto beneficioso de facilitar la visión de la señalización y carteles indicadores y aumentar la sensación de amplitud de los recintos pequeños.

En los despachos, cuartos de balanzas, salas de reuniones, etc., se pueden utilizar diferentes combinaciones en paredes, techos, suelo y mobiliario, para obtener un ambiente agradable. No todas las combinaciones son bien aceptadas, algunas son rechazadas. En la tabla IV se indican ejemplos de compatibilidad de colores.

Tabla IV. **Compatibilidad de colores**

<b>Mezclas consideradas incompatibles</b>	<b>Combinaciones generalmente bien aceptadas</b>			
	<b>Techo</b>	<b>Pared</b>	<b>Suelo</b>	<b>Muebles</b>
Azul-verde	Blanco	Verde pálido	Verde pálido	Gris verdoso
Rojo-verde	Blanco	Rosa pálido	Tabaco claro	Castaño
Azul-marrón	Blanco	Azul pálido	Gris	Gris

Fuente: GUARDINO, Xavier. *NTP 551: Prevención de riesgos en el laboratorio: Importancia del diseño*. p. 5.

### **2.8.2.1. Techos**

El techo debe estar construido con materiales de elevada resistencia mecánica y pintado o recubierto por superficies fácilmente lavables. Los laboratorios deben tener una altura no inferior a 3 m. Los laboratorios situados en locales de uso industrial, deben tener techo con material tipo incombustible o

ininflamable, y si están situados en un centro sanitario o docente sólo puede ser del tipo incombustible.

Tabla V. **Clasificación de materiales según su comportamiento frente al fuego**

<b>Clase</b>	<b>Comportamiento ante el fuego</b>
M0	Incombustible
M1	Combustible pero inflamable
M2	Inflamabilidad moderada
M3	Inflamabilidad media
M4	Inflamabilidad alta

Fuente: GUARDINO, Xavier. *NTP 551: Prevención de riesgos en el laboratorio: Importancia del diseño*. p. 5.

### **2.8.2.2. Suelos**

Es recomendable que tengan una base rígida y poco elástica para evitar vibraciones especialmente en tareas como el análisis instrumental. Los factores que suelen considerarse para la elección del material para el suelo son:

- Resistencia a agentes químicos y mecánica
- Posibilidad de caídas, especialmente cuando están mojados
- Facilidad de limpieza y descontaminación
- Impermeabilidad de las juntas
- Posibilidad de hacer drenajes
- Conductividad eléctrica
- Estética y comodidad (dureza, ruido, entre otros)
- Precio, duración y facilidad de mantenimiento

Tabla VI. **Resistencia de distintos revestimientos a agentes químicos**

<b>Agente químico</b>	<b>Madera dura</b>	<b>Linóleoum</b>	<b>67 % PVC</b>	<b>Cerámica variada</b>	<b>Terraza</b>	<b>Cemento</b>
Acetona, éter	R	R	M	B	B	B
Disolventes organoclorados	M	R	M	B	B	R
Agua	R	B	B	B	B	B
Alcoholes	R	B	B	B	B	B
Ácidos fuertes	R	M	B	B	M	M
Bases fuertes	M	M	B	R	M	M
Agua oxigenada 10 %	M	B	B	B	B	M
Aceites	M	B	B	B	R	R
Facilidad de contaminación	M	M	R	B	M	M
R: Regular; B: Buena; M: Mala						

Fuente: GUARDINO, Xavier. *NTP 551: Prevención de riesgos en el laboratorio: Importancia del diseño.* p. 2.

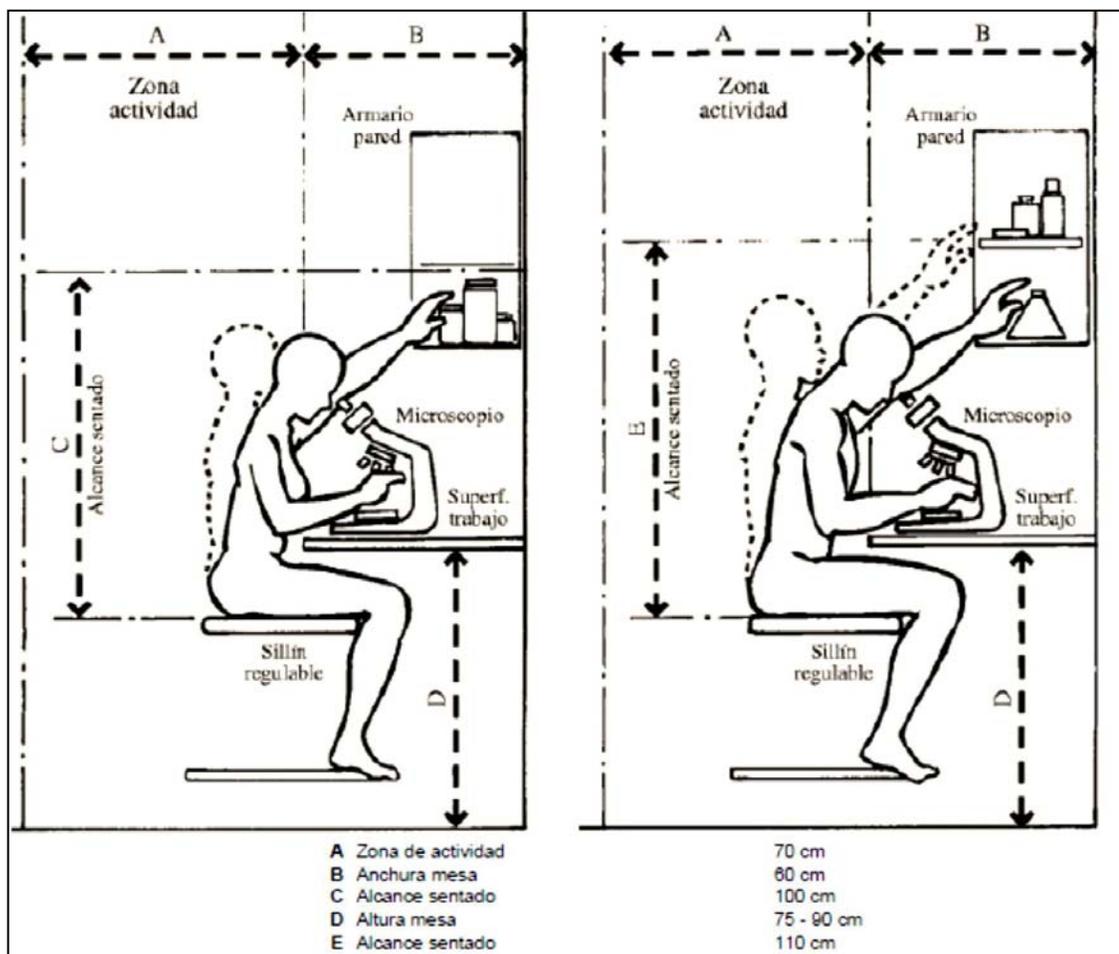
### **2.8.2.3. Puesto de trabajo**

El diseño del puesto de trabajo debe tener en cuenta las medidas antropométricas y el hecho que en el laboratorio se labora estando de pie o sentado. En el primer caso, implica que el plano de trabajo tenga una altura del orden de 95 cm, considerando que dicho plano debe estar entre 5 y 10 cm por debajo del codo. Por otro lado, para poder realizar el trabajo sentado con esta altura del plano de trabajo, se recomiendan sillas con respaldo y reposapiés.

Para los trabajos de postura sentada se deben de tomar en cuenta las medidas adecuadas para el acceso a las estanterías que contienen materiales o

productos, por ejemplo, el trabajo con microscopio. Si el trabajo es de pie, estas estanterías no deben estar situadas a más de 150 cm de altura. Las distancias óptimas para el trabajo encima de una mesa se resumen en la figura 1, que indican también el espacio necesario para cada trabajador.

Figura 1. Trabajo sentado en el laboratorio. Distancias y alcances adecuados para mujer (izquierda) y hombre (derecha)

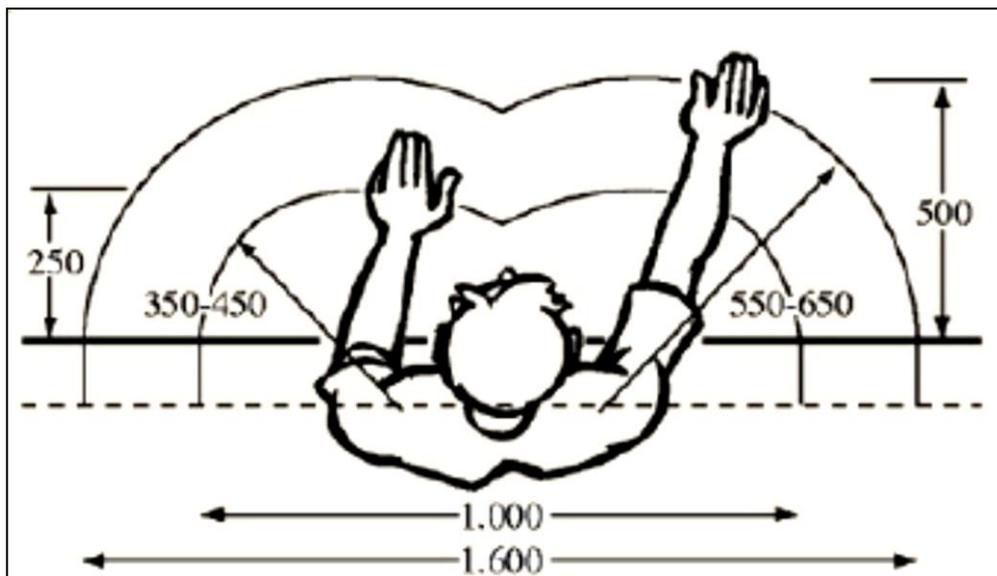


Fuente: SOLÁ, Guardino. *NTP 551: Prevención de riesgos en el laboratorio: importancia del diseño*. p. 3.

Las sillas deben proporcionar el equilibrio y confort suficientes y tener en cuenta las siguientes características de diseño:

- Anchura entre 40-45 cm.
- Profundidad entre 38-42 cm.
- Base estable provista de 5 patas con ruedas.
- Disponibilidad de margen de regulación en altura, superior al habitualmente recomendado (38-50 cm).
- Asiento acolchado (2 cm sobre base rígida con tela flexible y transpirable).
- Impermeabilidad e incombustibilidad según las características del tipo de trabajo.

Figura 2. Área de trabajo sobre una mesa



Fuente: SOLÁ, Guardino. *NTP 551: Prevención de riesgos en el laboratorio: Importancia del diseño.* p. 3.

#### **2.8.2.4. Ventanas**

Las ventanas influyen en la iluminación del recinto, permiten la ventilación del aire en caso de necesidad, reducen la sensación de claustrofobia y permiten la visión lejana, disminuyendo la fatiga visual.

El marco de las ventanas debe ser de material difícilmente combustible para impedir la propagación de un posible incendio a pisos superiores. Si están situadas en la planta baja no se deben poder abrir hacia el exterior, salvo que existan elementos que impidan que las personas que circulan por el exterior lo hagan cerca de ellas. En aquellos casos en que sea necesario situar mesas de trabajo frente a las mismas, la altura del antepecho no debe ser inferior a 1 m.

Un buen sistema es el de doble ventana, ya que amortigua el ruido exterior y reduce la pérdida de energía debida a la diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior de los locales. Otro aspecto importante a considerar es la facilidad de limpieza de la cara externa de los cristales, para ello existen dos soluciones, los marcos desmontables y la utilización de doble cristal en un sistema de volteo, lo que permite la limpieza desde el interior.

#### **2.8.2.5. Puertas**

Los principales factores a considerar en el diseño e instalación de las puertas son los siguientes:

- Número: es recomendable que los laboratorios tengan una segunda puerta de salida para emergencias, en caso que pueda bloquearse la salida, se trabaje con gases a presión o correspondan a espacios de más de 100 m<sup>2</sup>.

- Dimensiones mínimas: la altura de paso libre de las puertas debe estar comprendida entre 2,0 y 2,2 m, su anchura suele ser de 90 o 120 cm, según sea de una o doble hoja, no debiendo ser inferior a 80 cm en ningún caso. Para evitar accidentes, las puertas de acceso a los pasillos no deben ser de vaivén, mientras que las que comunican los laboratorios entre sí pueden serlo. No se deben utilizar puertas corredizas debido a las dificultades de accionamiento si se tienen las manos ocupadas o en caso de evacuación. Se recomienda que tengan un cristal de seguridad de 500 cm<sup>2</sup> situado a la altura de la vista, que permita poder observar el interior del laboratorio sin abrir la puerta, y así evitar accidentes.
- Entrada y salida del laboratorio: para facilitar la entrada y salida del laboratorio con las manos ocupadas, las puertas deben poderse abrir con el codo o el pie. Además, no deben tener sistemas de cierre de pasador para que no se dificulte su apertura en caso de emergencia. Todas las puertas deben disponer de dispositivos que permitan su apertura desde dentro en cualquier circunstancia, (si es necesario, sistemas antipánico) a fin de evitar que el personal pueda quedar atrapado en el laboratorio en caso de incendio.
- Sentido de apertura: las puertas utilizadas para evacuar a más de 100 personas deben abrirse siempre en el sentido de la evacuación. Se considera conveniente que las puertas de los laboratorios se abran favoreciendo el sentido de la marcha (de salida) para evitar que queden encajadas en caso de accidente.

### **2.8.3. Condiciones ambientales**

A continuación se describen las recomendaciones generales para las condiciones ambientales de los laboratorios con fines industriales, universidades y laboratorios de calibración comercial:

#### **2.8.3.1. Ventilación, temperatura y humedad relativa**

La ventilación debe ser adecuada a través de ventanas, puertas, extractores y campanas de gases para evitar asfixias por CO u otros gases. La temperatura del laboratorio se debe encontrar en  $20 \pm 0,3$  °C, la cual se puede controlar con un sistema de aire acondicionado. Las mediciones no se verán afectadas si la habitación se encuentra entre los límites establecidos. Asimismo, el requerimiento de la humedad relativa es del 45 % como máximo a una temperatura regulada de aproximadamente 20 °C. Para lograr regular la humedad relativa, se puede hacer uso de un deshumidificador.

#### **2.8.3.2. Sonido acústico y conteo de partículas de polvo**

El límite máximo de sonido es de 45 dB, el cual se logra con un recubrimiento de caucho en las paredes de 2 cm de ancho y tabla de yeso de 1 pulgada de ancho. En cuanto a las partículas de polvo, se requieren menos de  $7 \times 10^6$  partículas mayores de 1  $\mu\text{m}$  por  $\text{m}^3$ , menos de  $4 \times 10^7$  partículas mayores de 0,5  $\mu\text{m}$  por  $\text{m}^3$  y la inexistencia de partículas más grandes de 50  $\mu\text{m}$ . Para su cumplimiento se utilizará un contador de partículas de polvo y un filtro HEPA (*High Efficiency Particle Arresting*), los cuales eliminan hasta un 99,7 % de partículas de 0,3  $\mu\text{m}$  y son más eficaces para partículas de mayor tamaño.

### 2.8.3.3. Iluminación y voltaje

Se recomienda la iluminación natural complementada con iluminación artificial para garantizar las condiciones de visibilidad adecuadas. El requerimiento es de 1000 lux (lumen por metro cuadrado), a un nivel de mesa o superficie de lectura. En cuanto al voltaje, no debe haber variación por más de 0,1 % a una frecuencia de 60 Hz. Deberá contar con entradas de 110 V, para aparatos simples, y entradas de 220 V para equipo complejo.

Tabla VII. Niveles de iluminación

R.D.486/97		NORMAS UNE 72163:84 y 72112:85	
Exigencias de la tarea	Nivel mínimo requerido (lux)	Categoría de la tarea	Nivel mínimo recomendado
Bajas	100	D (fácil)	200
Moderadas	200	E (normal)	500
Altas	500	F (difícil)	1000
Muy altas	1000	G (muy difícil)	2000
		H (complicada)	5000

Fuente: GUARDINO, Xavier. *NTP 551: Prevención de riesgos en el laboratorio: Importancia del diseño*. p. 6.

### 2.8.3.4. Presión del aire

La presión del aire en el laboratorio se deberá controlar con manómetros que provean el valor del diferencial de presión entre habitaciones. Se debe de mantener una presión positiva de 10 Pa.

## **2.8.4. Servicios auxiliares**

A continuación se describen las recomendaciones en cuanto a servicios auxiliares del laboratorio:

### **2.8.4.1. Gas**

Consiste en una instalación de tubos de cobre, separados de la conducción eléctrica en un mínimo de 30 cm. La tubería debe ser pintada de amarillo y se debe contar con un interruptor general de laboratorio y otro en cada mesa de trabajo. Los tanques de gas central se deben instalar en el exterior para evitar accidentes.

### **2.8.4.2. Agua**

Las tuberías deben ser resistentes a la corrosión. Generalmente son de hierro o PVC. Deben ser pintadas de verde. Los grifos permiten instalar trompas de agua para vacío o gomas de refrigerantes.

### **2.8.4.3. Electricidad**

Debe existir un cuadro general a la entrada del laboratorio con distintos diferenciales o magnetotérmicos para iluminación, enchufes, aparatos específicos. Las bases y clavijas llevan un sistema de protección y un código de colores: negro 220 V, rojo 380 V, amarillo 110 V.

#### **2.8.4.4. Vacío**

Se habla de vacío cuando se obtienen presiones inferiores a la presión atmosférica. Generalmente se usa la trompa de agua o una bomba de vacío para conseguirlo. Si el vacío está centralizado, las tuberías y tomas deben ir pintadas de gris.

#### **2.8.5. Almacenamiento de productos químicos**

Los principios básicos para conseguir un almacenamiento adecuado y seguro de los reactivos en los laboratorios en general son los siguientes:

- Reducir las existencias al mínimo
- Establecer separaciones
- Aislar o confinar ciertos productos
- Disponer de instalaciones adecuadas

Se debe de tomar en cuenta la incompatibilidad química entre ellos, el calor, humedad, entre otros. En el caso de materiales inflamables, se deberá disponer de las medidas de prevención y protección contra incendios. A continuación se presentan aspectos que se deben de considerar respecto del almacenamiento de productos químicos:

- Se debe de tener etiquetadas todas las sustancias químicas presentes en el laboratorio llevando un registro detallado.
- Los productos químicos deben ser catalogados y situados en zonas fijas de los estantes.
- Los productos químicos deben ordenarse en las estanterías por grupos homogéneos de características, evitando que productos incompatibles

químicamente se hallen juntos. Por su naturaleza y propiedades, algunas sustancias son incompatibles entre sí, porque pueden reaccionar de forma violenta. A continuación se muestra una tabla sobre incompatibilidades de productos químicos:

Tabla VIII. **Incompatibilidades de almacenamiento de productos peligrosos**

<b>Propiedad</b>	<b>Inflamables</b>	<b>Explosivas</b>	<b>Tóxicas</b>	<b>Comburentes</b>	<b>Nocivas</b>
<b>Inflamables</b>	+	-	-	-	+
<b>Explosivas</b>	-	+	-	-	-
<b>Tóxicas</b>	-	-	+	-	+
<b>Comburentes</b>	-	-	-	+	0
<b>Nocivas</b>	+	-	+	0	+

(+: se pueden almacenar juntos, - : no deben almacenarse juntos, 0:sólo se pueden almacenar juntos si se adoptan algunas medidas)

Fuente: VÁSQUEZ, Carlos. *Equipación de un laboratorio escolar*. p.6.

### 2.8.6. Bioseguridad de laboratorio

Bioseguridad o “seguridad biológica” se refiere a los principios, técnicas y prácticas aplicadas con el fin de evitar la exposición no intencional a patógenos y toxinas, o su liberación accidental. Las medidas que recomienda la OMS en cuanto a bioseguridad son las siguientes:

- Usar en todo momento batas, cofias o uniformes especiales para el trabajo en el laboratorio.

- Usar guantes especiales apropiados para todos los procedimientos que puedan entrañar contacto directo o accidental con sangre, líquidos corporales y otros materiales potencialmente infecciosos o animales infectados. Una vez utilizados, los guantes se retirarán de forma aséptica y a continuación se lavarán las manos.
- Lavarse las manos después de manipular materiales y animales infecciosos, así como antes de abandonar las zonas de trabajo del laboratorio.
- Usar gafas de seguridad, viseras u otros dispositivos de protección cuando sea necesario proteger los ojos y el rostro de salpicaduras, impactos y fuentes de radiación ultravioleta artificial.
- No usar las prendas protectoras fuera del laboratorio, por ejemplo en cafeterías, oficinas, bibliotecas, salas para el personal y baños.
- No usar calzado destapado.
- No comer, beber, fumar, aplicar cosméticos o manipular lentes de contacto en las zonas de trabajo.
- No almacenar alimentos o bebidas para consumo humano en las zonas de trabajo del laboratorio.
- No guardar la ropa protectora de laboratorio en los mismos armarios o taquillas que la ropa de calle.
- No pipetear con la boca.
- Todos los derrames, accidentes y exposiciones reales o potenciales a materiales infecciosos se comunicarán al supervisor del laboratorio. Se debe mantener un registro escrito de esos accidentes e incidentes.
- Elaborar y seguir un procedimiento escrito para la limpieza de todos los derrames.

Las características de diseño para la bioseguridad en un laboratorio, según la OMS, son las siguientes:

- El laboratorio debe contar con espacio suficiente para realizar el trabajo de laboratorio en condiciones de seguridad y para la limpieza y el mantenimiento.
- Las paredes, los techos y los suelos deben ser lisos, fáciles de limpiar, impermeables a los líquidos y resistentes a los productos químicos y desinfectantes normalmente utilizados en el laboratorio. Los suelos deben ser antideslizantes.
- Las superficies de trabajo deben ser impermeables y resistentes a desinfectantes, ácidos, álcalis, disolventes orgánicos y calor moderado.
- La iluminación debe ser adecuada para todas las actividades, evitando los reflejos y brillos molestos.

### **2.8.7. Elementos y equipos de seguridad**

A continuación se describen los elementos y equipos de seguridad que se debe de utilizar en todo laboratorio de análisis fisicoquímico y microbiológico.

#### **2.8.7.1. Bata de laboratorio**

Minimiza el riesgo de contacto con productos químicos y de incendio. Debe permanecer abrochada y utilizar calzado cerrado, que proteja todo el pie.

#### **2.8.7.2. Guantes**

Se deben usar guantes protectores según las tareas que se vayan a realizar y los productos que se van a manipular tales como:

- Sustancias corrosivas, irritantes, de elevada toxicidad o de elevado poder de penetración en la piel.

- Elementos calientes o fríos.
- Objetos de vidrio cuando hay peligro de rotura.

### **2.8.7.3. Gafas o pantallas para protección de ojos**

Se debe usar de gafas de protección para evitar riesgos de salpicaduras, proyección o explosión. Se desaconseja además el uso de lentes de contacto en el laboratorio. Si no se puede prescindir de ellas, se deben usar gafas de seguridad cerradas.

### **2.8.7.4. Duchas de seguridad y fuentes lavaojos**

Las duchas de seguridad y fuentes lavaojos son equipos de emergencia para los casos de proyecciones, derrames o salpicaduras de productos químicos sobre las personas con riesgo de contaminación o quemadura química.

Están alimentados con agua potable a temperatura media. Deben proporcionar el suficiente caudal de agua para empapar de inmediato y completamente a una persona (duchas) o a los ojos (lavaojos). Se recomienda un caudal mínimo de 114 litros por minuto de agua corriente durante al menos 15 minutos. El sistema de accionamiento debe ser fácil, rápido y lo más accesible posible, preferiblemente un tirador triangular unido a una barra fija en las duchas y un accionador de pie o de codo para las fuentes lavaojos.

Las duchas deben disponer de un cabezal de al menos 20 cm de diámetro con orificios grandes para evitar que se obstruyan fácilmente con depósitos de cal o de óxido. Debe poder acomodar a dos personas en caso necesario. El

chorro de las boquillas de los lavaojos debe ser de baja presión y el tiempo de aplicación del agua en los ojos estará entre 10 y 20 minutos.

#### **2.8.7.5. Extintores**

El laboratorio debe de tener extintores portátiles señalizados y colocados a una distancia de los puestos de trabajo que los haga rápidamente accesibles. A continuación se describen los tipos de extintores que existen:

- Extintores de agua: útiles para fuegos con combustibles ordinarios como lana, papel o tela.
- Extintores químicos secos: útiles contra la mayoría de los fuegos, pero sobre todo para apagar los producidos por líquidos y metales inflamables y los fuegos eléctricos.
- Extintores de dióxido de carbono: útiles para fuegos pequeños producidos por líquidos inflamables, y con una eficacia limitada al aplicarse sobre instrumentos y equipos electrónicos.
- Mantas ignífugas: se utiliza para apagar fuegos pequeños y sobre todo, cuando se prende fuego en la ropa. Se utiliza como alternativa a las duchas de seguridad.

#### **2.8.7.6. Campana extractora**

Las campanas extractoras capturan las emisiones generadas por las sustancias químicas peligrosas, por lo que se recomienda realizar todos los experimentos químicos de sustancias volátiles o tóxicas en la campana extractora para prevenir accidentes o problemas con la salud de los o las analistas. Se debe trabajar siempre al menos a 15 cm de la campana.

## 2.8.8. Señalización

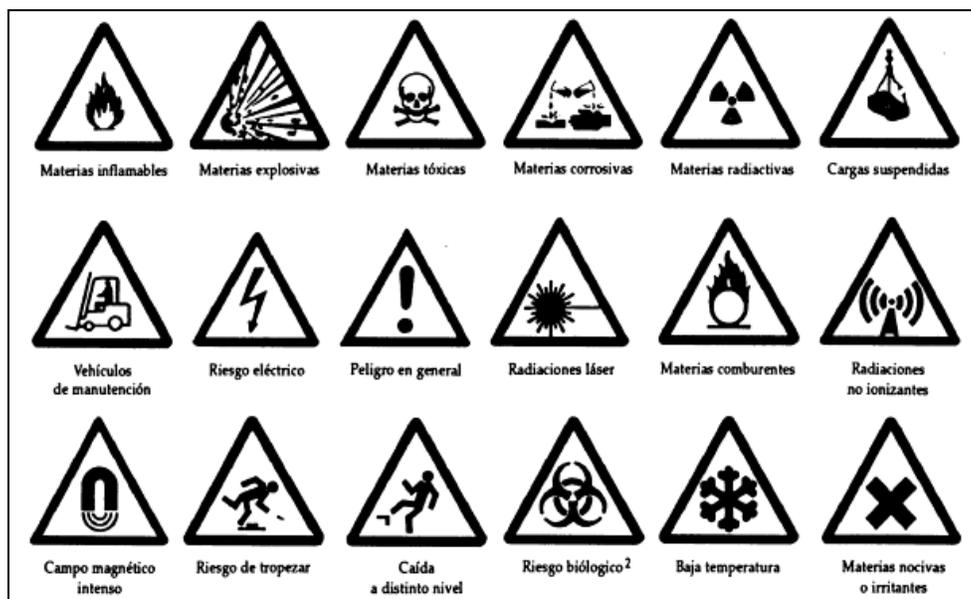
A continuación se describen las señalizaciones que se deben tomar en cuenta para la seguridad del personal del laboratorio:

### 2.8.8.1. Señales de advertencia

Son de forma triangular y debe tener un pictograma negro sobre fondo amarillo (el amarillo deberá cubrir como mínimo el 50 por 100 de la superficie de la señal) y bordes negros.

Como excepción, el fondo de la señal sobre "materias nocivas o irritantes" será de color naranja, en lugar de amarillo, para evitar confusiones con las señales similares utilizadas para la regulación del tráfico en carretera.

Figura 3. Pictogramas de señales de advertencia



Fuente: Universidad Politécnica de Valencia. <http://www.sprl.upv.es/Guiapracalumquim.htm#anexo1>. Consulta: abril de 2011.

### 2.8.8.2. Señales de prohibición

Son de forma redonda y con un pictograma negro sobre fondo blanco, bordes y banda (transversal descendente de izquierda a derecha atravesando el pictograma a 45° respecto de la horizontal) rojos (el rojo deberá cubrir como mínimo el 35 por 100 de la superficie de la señal).

Figura 4. Pictogramas de señales de prohibición



Fuente: Universidad Politécnica de Valencia. <http://www.sprl.upv.es/Guiapracalumquim.htm#anexo1>. Consulta: abril de 2011.

### 2.8.8.3. Señales de obligación

Son de forma redonda y con un pictograma blanco sobre fondo azul (el azul deberá cubrir como mínimo el 50 por 100 de la superficie de la señal).

Figura 5. Pictogramas de señales de obligación

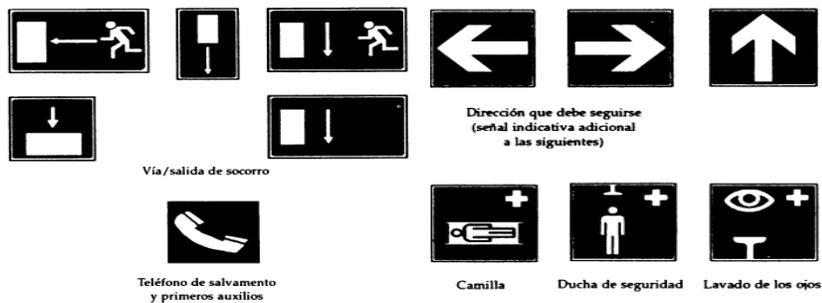


Fuente: Universidad Politécnica de Valencia. <http://www.sprl.upv.es/Guiapracalumquim.htm#anexo1>. Consulta: abril de 2011.

#### 2.8.8.4. Señales de salvamento o socorro

Son de forma rectangular o cuadrada y con un pictograma blanco sobre fondo verde (el verde deberá cubrir como mínimo el 50 por 100 de la superficie de la señal).

Figura 6. Pictogramas de señales de salvamento o socorro

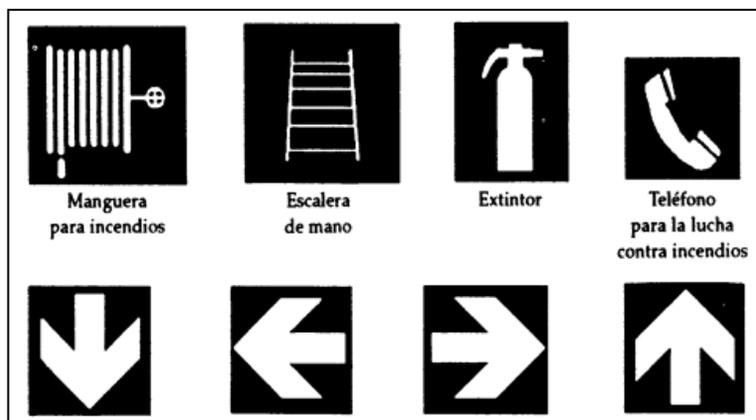


Fuente: Universidad Politécnica de Valencia. <http://www.sprl.upv.es/Guiapracalumquim.htm#anexo1>. Consulta: abril de 2011.

### 2.8.8.5. Señales contra incendios

Son de forma rectangular o cuadrada y con pictograma blanco sobre fondo rojo (el rojo deberá cubrir como mínimo el 50 por 100 de la superficie de la señal).

Figura 7. Pictogramas de señales contra incendios



Fuente: Universidad Politécnica de Valencia. <http://www.sprl.upv.es/Guiapracalumquim.htm#anexo1>. Consulta: abril de 2011.

### 2.8.9. Manejo de residuos en laboratorio

Los residuos generados en el laboratorio tienen su origen en dos procesos: análisis químico de muestras y efectos de tipo incidental durante la manipulación de muestras. Luego de ser generado el residuo se debe iniciar el proceso a partir de la segregación, de manera que no tenga contacto con otros residuos que dificulten el tratamiento y disposición final.

El residuo separado debe ser manipulado y etiquetado, de manera que pueda contenerse en un recipiente y a su vez identificarse y transportarse hasta

un almacenamiento temporal mientras es enviado a tratamiento o disposición final.

#### **2.8.9.1. Manejo de residuos sólidos**

En el laboratorio, los desechos químicos suelen ser almacenados en lugares apropiados para dicho uso. Posteriormente son transportados en garrafones de gran tamaño por una compañía encargada y especializada en residuos químicos de modo que el transporte se realice con todas las garantías exigidas por la ley.

Los desechos de disolventes orgánicos son separados en clorados y no clorados de entre los disolventes. Los residuos de disolventes clorados por lo general son incinerados a altas temperaturas para reducir al mínimo impacto posible en la formación de dioxinas. Los desechos químicos no clorados pueden ser quemados y utilizados para la recuperación de energía eléctrica.

Los desechos que contienen mercurio elemental, pueden ser recogidos selectivamente para su reciclado. Los trozos de vidrio o cristales procedentes de las botellas de los productos son generalmente recogidos y forrados en plástico junto con sus cajas de cartón para el depósito en vertederos.

#### **2.8.9.2. Manejo de residuos líquidos**

A continuación se muestran los procedimientos generales de tratamiento y eliminación para sustancias que por su volumen o facilidad de tratamiento pueden ser efectuados en el laboratorio:

- Tratamiento y vertido:
  - Ácidos orgánicos sustituidos: añadir  $\text{NaHCO}_3$  y agua. Verter al desagüe.
  - Sales inorgánicas: añadir un exceso de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  y agua. Dejar en reposo (24 h). Neutralizar (HCl 6 M). Verter al desagüe.
  - Oxidantes: tratar con un reductor (disolución concentrada). Neutralizar. Verter al desagüe.
  - Reductores: añadir  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  y agua (hasta suspensión). Dejar en reposo (2 h). Neutralizar. Verter al desagüe.
  - Cianuros: tratar con  $(\text{ClO})_2\text{Ca}$  (disolución alcalina). Dejar en reposo (24 h). Verter al desagüe.
  - Nitrilos: tratar con una disolución alcohólica de NaOH (conversión en cianato soluble), evaporar el alcohol y añadir hipoclorito cálcico. Dejar en reposo (24 h). Verter al desagüe.
  - Alcalis cáusticos y amoníaco: neutralizar. Verter al desagüe.
  - Hidruros: mezclar con arena seca, pulverizar con alcohol butílico y añadir agua (hasta destrucción del hidruro). Neutralizar (HCl 6 M) y decantar. Verter al desagüe. Residuo de arena: enterrarlo.
  - Peróxidos inorgánicos: diluir. Verter al desagüe.
  - Sulfuros inorgánicos: añadir una disolución de  $\text{FeCl}_3$  con agitación. Neutralizar ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ). Verter al desagüe.
  - Carburos: Adicionar sobre agua en un recipiente grande, quemar el hidrocarburo que se desprende. Dejar en reposo (24 h). Verter el líquido por el desagüe. Precipitado sólido: tirarlo a un vertedero.

- Incineración:
  - Aldehídos: absorber en vermiculita o mezclar con un disolvente inflamable. Incinerar.
  - Alcalinos, alcalinotérreos, alquilos, alcóxidos: mezclar con  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , cubrir con virutas. Incinerar.
  - Ácidos orgánicos sustituidos: absorber sobre vermiculita y añadir alcohol, o bien disolver directamente en alcohol. Incinerar.
  - Fosfatos orgánicos y compuestos: mezclar con papel, o arena y cal apagada. Incinerar.
  - Disulfuro de carbono: absorber sobre vermiculita y cubrir con agua. Incinerar. (Quemar con virutas a distancia).
  - Éteres: mezclar con un disolvente inflamable. Incinerar. Si hay peróxidos llevarlos a lugar seguro (canteras, etc.) y explosionarlos.
  - Hidrocarburos, alcoholes, cetonas, ésteres: mezclar con un disolvente inflamable. Incinerar.
  - Ácidos orgánicos: mezclar con papel o con un disolvente inflamable. Incinerar.
  
- Recuperación:
  - Desechos metálicos: recuperar y almacenar (según costos).
  - Mercurio metal: aspirar, cubrir con polisulfuro cálcico y recuperar.
  - Mercurio compuestos: disolver y convertirlos en nitratos solubles. Precipitarlos como sulfuros. Recuperar.
  - Arsénico, bismuto, antimonio: disolver en HCL y diluir hasta aparición de un precipitado blanco ( $\text{SbOCl}$  y  $\text{BiOCl}$ ). Añadir HCl 6 M hasta redisolución. Saturar con sulfhídrico. Filtrar, lavar y secar.

- Plomo, cadmio: añadir  $\text{HNO}_3$  (se producen nitratos). Evaporar, añadir agua y saturar con  $\text{H}_2\text{S}$ . Filtrar y secar.
- Estroncio, bario: disolver en  $\text{HCl}$  6 M, filtrar. Neutralizar ( $\text{NH}_4\text{OH}$  6 M). Precipitar ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ). Filtrar, lavar y secar.
- Otros metales (talio, osmio, deuterio, erbio, entre otros): recuperación



### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Variables

A continuación se muestran las variables independientes y dependientes del presente trabajo de graduación:

Tabla IX. **Variables del estudio**

<b>Variable</b>	<b>Variable independiente</b>	<b>Variable dependiente</b>	<b>Controlable</b>	<b>No controlable</b>	<b>Respuesta</b>
Métodos de análisis fisicoquímicos	X			X	X
Métodos de análisis microbiológicos	X			X	X
Métodos de análisis CRETIB	X		X		X
Área destinada para el laboratorio		X	X		X
Consideraciones ambientales para laboratorios		X	X		X
Diseño y estructura de las instalaciones de la Planta de Tratamiento	X			X	X

Fuente: elaboración propia.

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

- Industria: tratamiento de aguas residuales
- Proceso: diseño de laboratorio de análisis de aguas residuales y lodos domiciliarios e industriales.
- Etapa del proceso: determinación de medidas de seguridad, muestreo, reactivos, cristalería, condiciones ambientales y distribución de mobiliario y equipos necesarios por medio del establecimiento de análisis de caracterización de aguas residuales y lodos.
- Ubicación: instalaciones de una planta de tratamiento de aguas residuales y lodos domiciliarios e industriales, ubicada en Palín, Escuintla, Guatemala.

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

- Investigador: Ingrid Marilyn Aroche Mijangos
- Asesor: Ing. Qco. Jaime Domingo Carranza
- Colaboradora de diseño: Lesly Gramajo Porras

### **3.4. Recursos materiales disponibles**

- Áreas disponibles para diseñar el laboratorio de aguas residuales y lodos domiciliarios e industriales: área 1: 10,47 m x 11,79 m; área 2: 7,83 m x 3,80 m.
- Acuerdo Gubernativo número 236-2006 *Reglamento de las descargas y reuso de las aguas residuales y de la disposición de lodos.*
- Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 5667-15 parte 15.
- *Standard Methods for the examination of water and wastewater.*
- Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-1993.

- Reglamento general sobre higiene y seguridad en el trabajo.
- Software de diseño: AutoCAD 2015.

### 3.5. Técnica cualitativa

El presente trabajo de graduación se basa en razonamientos y deducciones de estándares y normas nacionales e internacionales para el diseño del laboratorio de análisis de aguas residuales y lodos. A continuación se presentan las normas en las que gira el trabajo de investigación:

Tabla X. **Estándares y normas para el diseño del laboratorio**

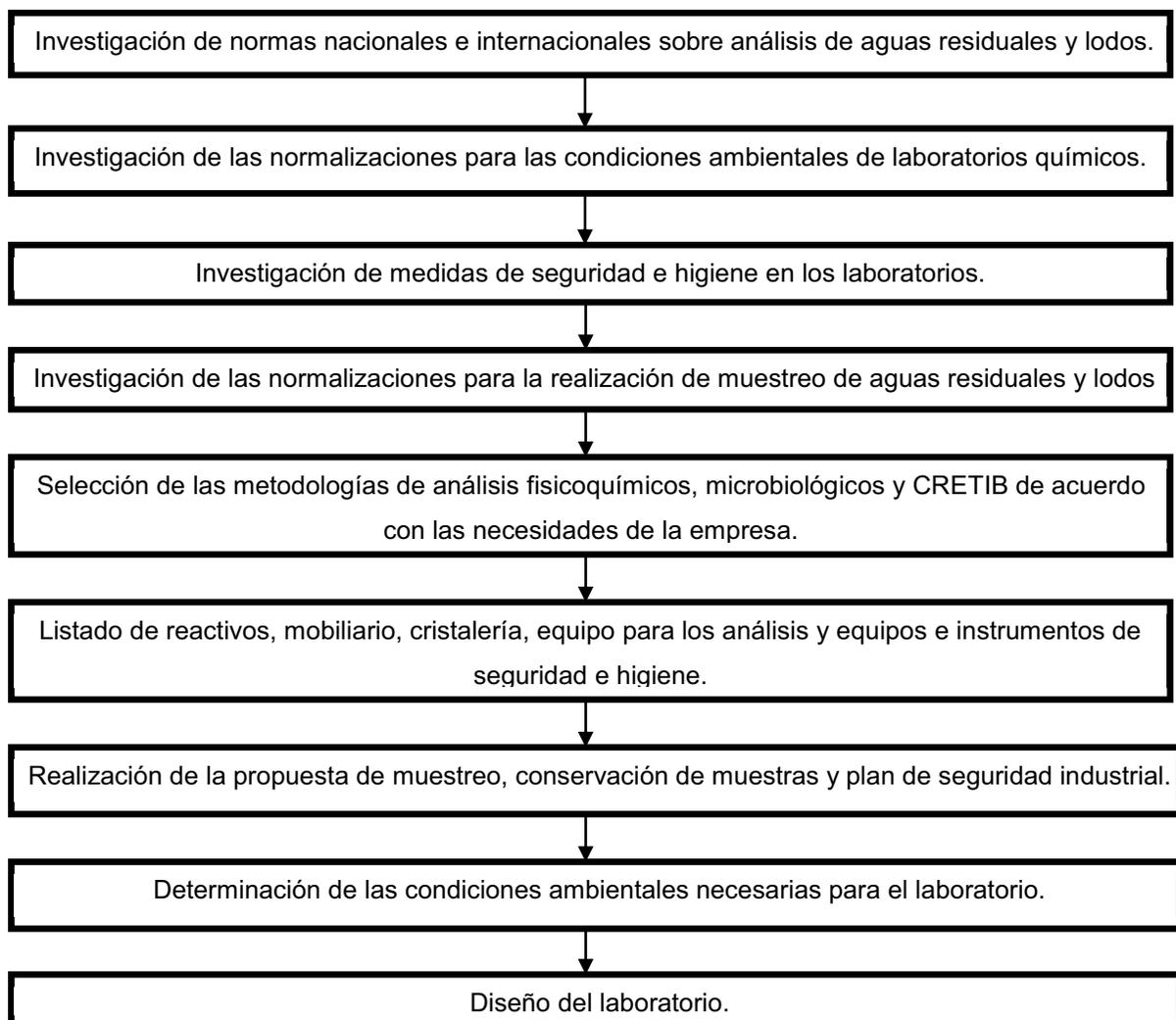
<b>Parámetro</b>	<b>Estándar o norma</b>
Metodologías de caracterización de aguas residuales y lodos	Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 <i>Reglamento de las descargas y reuso de las aguas residuales y de la disposición de lodos</i>
	<i>Standard Methods for the examination of water and wastewater</i>
Metodologías de análisis CRETIB	Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-1993
Condiciones ambientales	<i>Consideraciones Ambientales para Laboratorios de ensayo ISA-RP52.1-1975</i>
Condiciones de seguridad industrial	<i>Reglamento general sobre higiene y seguridad en el trabajo</i>
Muestreo de aguas residuales y lodos	Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 5667-15
	<i>Standard Methods for the examination of water and wastewater.</i>

Fuente: elaboración propia.

### 3.6. Recolección y ordenamiento de la información

A continuación se muestra el proceso de recolección y ordenamiento de la información para llevar a cabo la investigación:

Figura 8. Ordenamiento de la información



Fuente: elaboración propia.

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

A continuación se muestran las tablas de control donde se anotaron los datos necesarios para seleccionar las metodologías de análisis necesarias y para el diseño en general del laboratorio:

Tabla XI. Datos requeridos para el diseño general del laboratorio

Dato requerido	Respuesta
Número de entradas y salidas del área destinada para el laboratorio.	Existen dos entradas y salidas
¿Existen sistemas auxiliares instalados actualmente (agua, electricidad, entre otros)? ¿Cuáles?	Ninguna
Número de ventanas del área para el laboratorio.	10 ventanas
Dimensiones del área disponible para el laboratorio.	Se cuenta con disponibilidad de dos áreas: <ul style="list-style-type: none"><li>• Área 1: 10,47 m x 11,79 m</li><li>• Área 2: 7,83 m x 3,80 m</li></ul>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Datos requeridos para la selección de parámetros a analizar en aguas residuales**

Parámetros analizados actualmente	Origen del agua residual	Institución que realiza los análisis	Frecuencia del análisis	Unidades
Potencial de hidrógeno pH (laboratorio)	Desechos sólidos industriales	Laboratorios nacionales privados	Depende de la demanda del servicio	Unidades
Temperatura ( <i>in situ</i> )				°C
Aceites y grasas				mg/l
Materia flotante				-
DBO				mg/l
Sólidos suspendidos				mg/l
Sólidos sedimentables				ml/l
Fósforo total				mg/l
Arsénico, As				mg/l
Cadmio, Cd				mg/l
Cianuros				mg/l
Cobre, Cu				mg/l
Cromo hexavalente Cr(VI)				mg/l
Mercurio, Hg				mg/l
Níquel, Ni				mg/l
Plomo, Pb				mg/l
Zinc, Zn				mg/l
Color real				Unidad Pt-Co
Coliformes fecales				NMP/100ml
Método de muestreo: no especificado y realizado por personal ajeno a los laboratorios. Metodología: espectrofotométricos/ Standard Methods for the examination of water and wastewater APHA, AWWA, WEF 21 Ed.				

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Datos requeridos para la selección de parámetros a analizar en lodos**

<b>Parámetros analizados actualmente</b>	<b>Origen del lodo</b>	<b>Institución que realiza los análisis</b>	<b>Frecuencia del análisis</b>	<b>Unidades</b>
Arsénico, As	Desechos sólidos hospitalarios e industriales	Laboratorios nacionales privados	Depende de la demanda del servicio	mg/kg
Cadmio, Cd				mg/kg
Mercurio, Hg				mg/kg
Plomo, Pb				mg/kg
Cromo, Cr				mg/kg
Método de muestreo: no especificado y realizado por personal ajeno a los laboratorios. Metodología base de análisis: espectrofotometría de absorción atómica. Standard Methods for the examination of water and wastewater APHA, AWWA, WEF 21 Ed.				

Fuente: elaboración propia.

### 3.8. Análisis estadístico

No se realizó análisis estadístico, debido a que la investigación fue cualitativa.



## **4. RESULTADOS**

### **4.1. Análisis y metodologías de caracterización de aguas residuales y lodos**

A continuación se presentan las metodologías seleccionadas que son principales para el laboratorio diseñado, tomando en consideración que se trata de un laboratorio nuevo que debe cumplir primordialmente con el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 *Reglamento de las descargas y reuso de las aguas residuales y de la disposición de lodos*. Dichos análisis y metodologías seleccionadas se basaron en el *Standard Methods for the examination of water and wastewater*.

#### **4.1.1. Parámetros fisicoquímicos para aguas residuales**

A continuación se presentan los parámetros fisicoquímicos que se analizarán en las aguas residuales:

##### **4.1.1.1. Temperatura**

- **Objetivo:** determinar la temperatura de una muestra de agua para establecer el impacto ecológico de la descarga de agua calentada y utilizar este dato en diversos cálculos de alcalinidad, saturación y estabilidad.
- **Método a utilizar:** 2550 temperatura.

#### **4.1.1.2. Color**

- Objetivo: determinar el color de una muestra de agua mediante comparación visual de la muestra con concentraciones conocidas de soluciones coloreadas. El método patrón de medida de color es el de cobalto-platino, siendo la unidad de color el producido por 1 mg de platino/l en forma de ion cloroplatinato.
- Método a utilizar: 2120 B, método de comparación visual.

#### **4.1.1.3. Potencial de hidrógeno (pH)**

- Objetivo: determinar el pH de una muestra de agua residual para establecer la intensidad del carácter ácido o básico de la misma, dada por la actividad del ion hidrógeno o pH.
- Método a utilizar: 4500-H<sup>+</sup> B, método electrométrico.

#### **4.1.1.4. Demanda química de oxígeno (DQO)**

- Objetivo: medir la demanda o requerimiento de oxígeno químico como medida del equivalente de oxígeno del contenido de materia orgánica en una muestra susceptible de oxidación por un oxidante químico fuerte.
- Método a utilizar: 5220 B, método de reflujo abierto.

#### **4.1.1.5. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)**

- Objetivo: medir el oxígeno utilizado, durante un período de incubación especificado, para la degradación bioquímica de materia orgánica y el oxígeno utilizado para oxidar materia orgánica.
- Método a utilizar: 5210 B, prueba ROB de 5 días.

#### **4.1.1.6. Sólidos totales (ST)**

- Objetivo: determinar la cantidad de sólidos o residuos de material presentes en una muestra de agua por medio de su evaporación y secado en una estufa a una temperatura determinada.
- Método a utilizar: 2540 B, sólidos totales secados a 103-105 °C.

#### **4.1.1.7. Sólidos suspendidos totales (SST)**

- Objetivo: determinar los sólidos suspendidos totales o porción de sólidos totales retenidos por un filtro de una muestra de agua.
- Método a utilizar: 2540 D, sólidos totales en suspensión secados a 103-105 °C.

#### **4.1.1.8. Materia flotante**

- Objetivo: determinar la cantidad de partículas presentes sobre la superficie de una muestra de agua utilizando un método que se basa en

la diferencia de gravedad de las partículas que tienen una densidad menor que la del agua circundante.

- Método a utilizar: 2530 B, partículas flotables.

#### **4.1.1.9. Alcalinidad**

- Objetivo: determinar la alcalinidad de una muestra de agua por medio de la titulación de la misma a temperatura ambiente con un medidor de pH calibrado o utilizando un indicador de color.
- Método a utilizar: 2320 B, método de titulación.

#### **4.1.1.10. Acidez**

- Objetivo: medir la capacidad cuantitativa de la muestra para reaccionar con una base fuerte hasta un pH designado.
- Método a utilizar: 2310 B, método de titulación.

#### **4.1.1.11. Cloruro**

- Objetivo: determinar la concentración de cloruro, en forma de ion ( $\text{Cl}^-$ ), presente en una muestra de agua residual.
- Método a utilizar: 4500  $\text{Cl}^-$  B, método argentométrico

#### **4.1.1.12. Dureza total**

- Objetivo: determinar la dureza de una muestra de agua por medio del método de titulación de EDTA y así conocer la concentración de calcio y magnesio en miligramos por litro.
- Método a utilizar: 2340 C, método titulométrico de EDTA.

#### **4.1.1.13. Nitrógeno total**

- Objetivo: determinar la concentración de nitrógeno total en una muestra de agua residual mediante la suma del nitrógeno orgánico y el nitrógeno amoniacal.
- Método a utilizar: 4500-N<sub>org</sub> B, método macro-Kjeldahl.

#### **4.1.1.14. Fósforo total**

- Objetivo: determinar la concentración de fósforo total presente en una muestra de agua residual utilizando molibdato amónico y tartrato antimonílico potásico en medio ácido.
- Método a utilizar: 4500-P E, método del ácido ascórbico y 4500-P B, preparación de muestras.

#### **4.1.1.15. Arsénico y cadmio**

- Objetivo: determinar la cantidad de arsénico y cadmio presente por medio de la técnica de absorción atómica electrotérmica con horno de grafito.
- Método a utilizar: 3113 B, método espectrométrico de absorción atómica electrotérmica.

#### **4.1.1.16. Cianuro total**

- Objetivo: determinar la concentración de cianuro total presente en una muestra de agua por medio del método potenciométrico después de destilación.
- Método a utilizar: 4500-CN C, cianuro total después de destilación y 4500-CN F, método del electrodo cianuro-selectivo.

#### **4.1.1.17. Cobre, níquel, plomo y zinc**

- Objetivo: determinar la cantidad de cobre, níquel, plomo y zinc presente en una muestra de agua residual por medio del método directo de absorción atómica de llama de aire-acetileno.
- Método a utilizar: 3111 B, método directo de llama de aire-acetileno.

#### **4.1.1.18. Cromo hexavalente**

- Objetivo: determinar la cantidad de cromo hexavalente colorimétricamente por una reacción con difenilcarbazida en solución ácida.
- Método a utilizar: 3500- Cr D, método colorimétrico.

#### **4.1.1.19. Mercurio**

- Objetivo: determinar la cantidad de mercurio presente en una muestra de agua residual por medio del método de absorción atómica de vapor frío.
- Método a utilizar: 3112 B, método espectrométrico de absorción atómica de vapor frío.

#### **4.1.1.20. Grasas y aceites**

- Objetivo: determinar el contenido de grasa y aceite por medio de un aparato Soxhlet con triclorotrifluoroetano.
- Método a utilizar: 5520 D, método de extracción de Soxhlet.

#### **4.1.2. Parámetros fisicoquímicos para lodos**

A continuación se presentan las metodologías seleccionadas según el *Standard Methods for the examination of water and wastewater*.

#### **4.1.2.1. Arsénico, cadmio y cromo**

- Objetivo: determinar la cantidad de arsénico, cadmio y cromo total presente por medio de la técnica de absorción atómica electrotrémica con horno de grafito.
- Método a utilizar: 3113 B, método espectrométrico de absorción atómica electrotrémica.

#### **4.1.2.2. Mercurio**

- Objetivo: determinar la cantidad de mercurio presente en una muestra de agua residual por medio del método de absorción atómica de vapor frío.
- Método a utilizar: 3112 B, método espectrométrico de absorción atómica de vapor frío.

#### **4.1.2.3. Plomo**

- Objetivo: determinar la cantidad de plomo presente en una muestra de agua residual por medio del método directo de absorción atómica de llama de aire-acetileno.
- Método a utilizar: 3111 B, método directo de llama de aire-acetileno.

#### **4.1.3. Parámetros microbiológicos**

A continuación se presentan las metodologías seleccionadas según el *Standard Methods for the examination of water and wastewater*.

#### **4.1.3.1. Coliformes fecales**

- Objetivo: determinar la presencia de coliformes fecales por medio de la técnica de fermentación en tubos múltiples para determinar el número más probable de microorganismos presentes.
- Método a utilizar: 9221 B, técnicas estandarizadas de fermentación en tubo múltiple (NMP) de coliformes totales, 9221 C, procedimiento de NMP para coliformes fecales y 9221 D, estimación de la densidad bacteriana.

#### **4.1.4. Análisis CRETIB**

A continuación se describen los análisis CRETIB seleccionados según las condiciones del laboratorio, la accesibilidad y disponibilidad de los equipos necesarios para la realización de los análisis:

##### **4.1.4.1. Corrosividad**

- Objetivo: determinar el pH de una muestra de agua residual para establecer la intensidad del carácter ácido o básico de la misma, dada por la actividad del ion hidrógeno o pH.
- Método a utilizar: 4500-H<sup>+</sup> B, método electrométrico del Standard Methods.

#### **4.1.4.2. Reactividad**

- Objetivo: determinar si una sustancia es reactiva bajo condiciones normales (25 °C y 1 atm).
- Método a utilizar: NOM-052-SEMARNAT-1993 Criterio de reacción violenta con el agua y soluciones de pH ácido (HCl) y básico (NaOH).

#### **4.1.4.3. Explosividad**

No es necesaria esta medición debido a que de acuerdo a los criterios de la Norma Oficial Mexicana, NOM-053-SEMARNAT-1993, una sustancia es explosiva cuando es capaz de producir una reacción o descomposición detonante o explosiva a 25 °C y a 1,03 kg/cm<sup>3</sup> de presión, lo que implicaría que la sustancia sea detonante en condiciones ambientales, lo cual puede observarse sin realizar ningún tipo de análisis específico.

#### **4.1.4.4. Toxicidad**

- Objetivo: determinar los constituyentes no volátiles que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.
- Método a utilizar: NOM-053-SEMARNAT-1993 Norma Oficial Mexicana, que establece el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.

#### **4.1.4.5. Inflamabilidad**

- Objetivo: determinar si una solución es inflamable a un punto de ignición inferior a 60 °C.
- Método a utilizar: NOM-052-SEMARNAT-1993 criterio para líquidos con punto de inflamación inferior a 60 °C.

#### **4.1.4.6. Biológico infeccioso**

- Objetivo: determinar la presencia de microorganismos que causen efectos nocivos como los coliformes fecales y totales.
- Método a utilizar para coliformes fecales y totales: 9221 B técnicas estandarizadas de fermentación en tubo múltiple (NMP) de coliformes totales, 9221 C procedimiento de NMP para coliformes fecales y 9221 D estimación de la densidad bacteriana.

### **4.2. Reactivos, equipo y cristalería**

A continuación se describen los reactivos, equipo y cristalería necesaria para el análisis de cada parámetro a determinar en las aguas residuales y lodos:

#### **4.2.1. Reactivos**

A continuación se describen los reactivos necesarios para la realización de cada análisis de aguas residuales, lodos residuales, análisis microbiológicos y análisis CRETIB seleccionados:

Tabla XIV. **Reactivos necesarios en los análisis de aguas y lodos residuales**

Reactivo	Análisis
Cloroplatinato potásico, $K_2PtCl_6$	Aguas residuales: dolor.
Cloruro de cobalto cristalizado, $CoCl_2 \cdot 6 H_2O$	
Ácido clorhídrico concentrado, HCl	Aguas residuales: color, pH, alcalinidad, dureza total, arsénico y cadmio, cobre, níquel, plomo, zinc, mercurio, grasas y aceite. Lodos residuales: arsénico, cadmio, cromo, plomo. CRETIB: corrosividad, reactividad y toxicidad.
Tetraoxalato de potasio hidratado, $KH_2PO_4$	Aguas residuales: pH. CRETIB: corrosividad.
Tartrato ácido de potasio, $KHC_4H_4O_6$	
Cristal de timol de 8 mm de diámetro	
Fluoruro ácido de potasio, KF	
Hidróxido de calcio, $Ca(OH)_2$	Aguas residuales: pH, acidez y corrosividad.
Carbonato de calcio, $CaCO_3$	Aguas residuales: pH, dureza total, cobre, níquel, plomo y zinc. Lodos residuales: plomo. CRETIB: corrosividad.

Continuación de la tabla XIV.

Reactivo	Análisis
Hidróxido de sodio, NaOH	<p>Aguas residuales: pH, DBO, cloruro, dureza total, nitrógeno total, fósforo total, arsénico, cadmio y cianuro total.</p> <p>Lodos residuales: arsénico, cadmio y cromo.</p> <p>CRETIB: corrosividad, reactividad y toxicidad.</p>
Ácido Sulfúrico, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	<p>Aguas residuales: pH, DBO, DQO, cloruro, nitrógeno total, fósforo total, cianuro total, cromo hexavalente y mercurio.</p> <p>Lodos residuales: mercurio.</p> <p>CRETIB: corrosividad.</p>
Cloruro de potasio, KCl	Aguas residuales: pH.
Dicromato de potasio, K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	Aguas residuales: DQO.
Sulfato de plata, Ag <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	
Solución indicadora de ferroína: 1, 10-fenantrolina monohidratado y sulfato de hierro, FeSO <sub>4</sub> * 7H <sub>2</sub> O	
Sulfato mercúrico en cristales o polvo, HgSO <sub>4</sub>	
Ftalato de hidrógeno de potasio (FHP), HOCC <sub>6</sub> H <sub>4</sub> COOK	
Sulfato de amonio ferroso (SAF), Fe(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	

Continuación de la tabla XIV.

Reactivo	Análisis
Solución tampón fosfato a pH 7,2	Aguas residuales: DBO.
Sulfato de magnesio, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$	
Cloruro de calcio, $CaCl_2$	
Cloruro férrico, $FeCl_3 \cdot 6H_2O$	
Sulfito sódico, $Na_2SO_3$	
2-cloro-6- (triclorometil) piridina	
Solución de glucosa-ácido glutámico	
Ácido sulfámico, $H_3NSO_3$	Aguas residuales: DQO y cianuro total.
Cloruro de amonio, $NH_4Cl$	Aguas residuales: DBO, dureza total y nitrógeno total.
Carbonato sódico, $Na_2CO_3$	Aguas residuales: alcalinidad.
Indicador de verde de bromocresol	
Indicador de púrpura de metacresol	Aguas residuales: alcalinidad y acidez.
Tiosulfato sódico, $Na_2S_2O_3$	
Indicador de fenolftaleína	Aguas residuales: alcalinidad, acidez, cloruro y fósforo total.
Dióxido de carbono anhidro	Aguas residuales: acidez.
Ftalato ácido de potasio, $C_8H_5KO_4$	
Indicador azul de bromofenol	
Peróxido de hidrógeno, $H_2O_2$	Aguas residuales: acidez, cloruro, cobre, níquel, plomo, zinc y cromo hexavalente. Lodos residuales: plomo.
Nitrato de plata, $AgNO_3$	Aguas residuales: cloruro.
Indicador cromato de sodio, $K_2CrO_4$	
Ácido aluminico potásico, $AlK(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$	

Continuación de la tabla XIV.

Reactivo	Análisis
Cloruro de sodio, NaCl	Aguas residuales: cloruro Lodos residuales: mercurio Microbiología: coliformes totales CRETIB: biológico infeccioso.
Hidróxido de amonio, NH <sub>4</sub> OH	Aguas residuales: cloruro y dureza total.
Amoniaco concentrado, NH <sub>3</sub>	Aguas residuales: cloruro.
Sal de magnesio de EDTA	Aguas residuales: dureza total.
Cianuro sódico en polvo, NaCN	
Sulfuro sódico no anhidro, Na <sub>2</sub> S* 9 H <sub>2</sub> O	
Indicador de negro de Ericromo T	
EDTA	
Indicador rojo de metilo	Aguas residuales: dureza total y nitrógeno total.
Tetraborato de sodio decahidratado, Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> * 10H <sub>2</sub> O	Aguas residuales: nitrógeno total.
Ácido bórico, H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	
Indicador de azul de metileno	
Sulfato de cobre (II) anhidro, CuSO <sub>4</sub>	
Sulfato de potasio	
Tiosulfato de sodio pentahidratado, Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> * 5 H <sub>2</sub> O	
Carbonato de sodio anhidro, Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	
Solución indicadora de ácido bórico	

Continuación de la tabla XIV.

Reactivo	Análisis
Alcohol etílico, CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH	Aguas residuales: nitrógeno total. Microbiología: coliformes totales CRETIB: biológicos infecciosos.
Ácido nítrico, HNO <sub>3</sub>	Aguas residuales: fósforo total, arsénico, cadmio, cobre, níquel, plomo, zinc, cromo hexavalente y mercurio. Lodos residuales: arsénico, cadmio, cromo, mercurio y plomo. CRETIB: toxicidad.
Tartrato antimonílico potásico, K(SbO)C <sub>4</sub> H <sub>4</sub> O <sub>6</sub> * 1/2 H <sub>2</sub> O	Aguas residuales: fósforo total.
Molibdato amónico, (NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> * 4H <sub>2</sub> O	
Ácido ascórbico, C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>6</sub>	
Fosfato de potasio monobásico anhidro, KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	
Solución madre de fosfato	
Nitrato de amonio, NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	Aguas residuales: arsénico y cadmio. Lodos residuales: arsénico, cadmio y cromo.
Fosfato de amonio, (NH <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	
Nitrato de calcio, Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	
Nitrato de níquel, Ni(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	
Cadmio	
Trióxido de arsénico, As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
Resina quelante	
Salmuera	

Continuación de la tabla XIV.

Reactivo	Análisis
Ácido fosfórico, $H_3PO_4$	Aguas residuales: arsénico, cadmio y cromo hexavalente. Lodos residuales: arsénico, cadmio y cromo.
Cloruro de magnesio, $MgCl_2 \cdot 6H_2O$	Aguas residuales: cianuro total.
Carbonato de plomo en polvo, $PbCO_3$	
Cianuro de potasio, KCN	
Nitrato de plata, $AgNO_3$	
Nitrato de potasio, $KNO_3$	
Hidróxido de potasio, KOH	
Acetileno, $C_2H_2$	Aguas residuales: cobre, níquel, plomo y zinc. Lodos residuales: plomo.
Óxido de lantano, $La_2O_3$	
Agua regia	
Nitrato de plomo, $Pb(NO_3)_2$	
Agua desionizada	Aguas residuales: cobre, níquel, plomo, zinc y mercurio. Lodos residuales: mercurio y plomo. CRETIB: toxicidad.
Solución de cromo de reserva, $K_2Cr_2O_2$	Aguas residuales: cromo hexavalente.
Indicador naranja de metilo	
Hidróxido amónico, $NH_4OH$	
Solución de ácido sódico, $NaNO_2$	
Solución de fenilcarbazona, 1,5-difenilcarbazona (1,5-difenilcarbohidrazida)	
Cloroformo, $CHCl_3$	
Solución de cupferrón, $C_6H_5N(NO)ONH_4$	

Continuación de la tabla XIV.

Reactivo	Análisis
Permanganato potásico, $\text{KMnO}_4$	Aguas residuales: cromo hexavalente y mercurio. Lodos residuales: mercurio.
Acetona, $\text{CH}_3(\text{CO})\text{CH}_3$	Aguas residuales: cromo hexavalente. Microbiología: coliformes totales CRETIB: biológico infeccioso.
Cloruro de mercurio, $\text{HgCl}_2$	Aguas residuales: mercurio. Lodos residuales: mercurio.
Persulfato potásico, $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$	
Sulfato de hidroxilamina $(\text{NH}_2\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4$	
Cloruro estannoso, $\text{SnCl}_2$	
Triclorotrifluoretano	Aguas residuales: grasas y aceites.
Extracto de buey	Microbiología: coliformes totales. CRETIB: biológico infeccioso.
Peptona	
Lactosa	
Triptosa	
Mezcla de sales biliares o isales biliares Número 3	
Fosfato de hidrógeno dipotasio, $\text{K}_2\text{HPO}_4$	
Fosfato de dihidrógeno potasio, $\text{KH}_2\text{PO}_4$	
Agar endo	
Oxalato de amonio	
Cristal violeta	
Cristales de yodo	
Yoduro de potasio, $\text{KI}$	
Safranina	
Ácido acético glacial, $\text{CH}_3\text{-COOH}$	

Fuente: elaboración propia con base en el documento *Standard Methods for the examination of water and wastewater*, p. 2-88 a 9-93.

#### 4.2.2. Cristalería y equipo

En seguida se muestra la cristalería y equipo que se deberá de utilizar para la realización de cada análisis de aguas residuales, lodos residuales, análisis microbiológicos y análisis CRETIB.

Figura 9. **Termómetro**



Fuente: Neetescuela. <http://neetescuela.com/funcionamiento-de-un-termometro/>. Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: termómetro de mercurio Celsius. Debe de tener una escala mínima con marcas cada 0,1 °C.
- Análisis en el que se utiliza: medición de temperatura en aguas residuales.

Figura 10. **Termómetro reversible**



Fuente: SURISA. <http://www.sensores-temperatura.com/es/12-termometros-reversibles>.

Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: termómetro LCD elaborado de cristal líquido y que consiste en una tira flexible y adhesiva que se coloca sobre el producto o superficie para determinar su temperatura real.
- Análisis en el que se utiliza: medición de temperatura en aguas residuales.

Figura 11. **Tubos de Nessler**



Fuente: VIDRAFOC. <http://www.vidrafoc.com/vidrafoc/Store/Product.aspx?LanguageID=es&ProductID=747-A/2>. Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: tubos de vidrio de volumen de 50 ml con fondo plano utilizado para realizar comparaciones de color.
- Análisis en el que se utiliza: medición de color en aguas residuales.

Figura 12. **Potenciómetro**



Fuente: HUALIX. <http://www.hualix.com.pe/wpcproduct/medidores-hi991300-hi991301/>.  
Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: se utiliza para medir el pH de una solución.
- Análisis en los que se utiliza: medición de pH, alcalinidad, nitrógeno total, cianuro total y cromo hexavalente en aguas residuales. En el caso de los análisis CRETIB, se utiliza en el análisis de corrosividad y toxicidad.

Figura 13. **Electrodo de plata-cloruro**



Fuente: CRISON. <http://www.crisoninstruments.com/es/laboratorio/electrodos-de-referencia/electrodos-br-de-referencia/electrodo-de-plata-cloruro-de-plata>. Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: es un electrodo de referencia de cristales  $\text{Ag}/\text{AgCl}$  encapsulados que se utiliza para medir pH.
- Análisis en el que se utiliza: medición de pH en aguas residuales y de corrosividad en los análisis CRETIB.

Figura 14. **Electrodo de vidrio**



Fuente: HANNA Instruments. <http://www.hannachile.com/productos/instrumentacion-de-procesos/electrodos-industriales/electrodo-combinado-de-ph-cuerpo-de-vidrio-presion-maxima-3-bar-435-psi-bar>. Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: electrodo formado por una membrana de vidrio y se utiliza para medir el pH.
- Análisis en el que se utiliza: medición de pH en aguas residuales y análisis CRETIB de corrosividad.

Figura 15. **Agitador magnético**



Fuente: PROINCA. <http://proinca.com.gt/?p=256>. Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: agitador magnético con barrita recubierta de TFE. Cuenta con un motor que gira en revoluciones por minuto (rpm). Se utilizan para homogenizar soluciones mediante movimiento giratorio.
- Análisis en el que se utiliza: medición de pH, alcalinidad, acidez y cianuro total en aguas residuales. En análisis CRETIB: corrosividad y toxicidad.

Figura 16. **Cámara de flujo**



Fuente: MEDIBAC. <http://www.medibac.com/producto/cabina-de-flujo-laminar-biobase/>.

Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: se utilizan para mantener un área de trabajo libre de gases tóxicos de los químicos que se manipulan para los diferentes análisis mediante un flujo de aire. Ayudan a proteger la muestra, el analista y el ambiente del laboratorio.
- Análisis en el que se utiliza: medición de pH en aguas residuales y de corrosividad en análisis CRETIB.

Figura 17. **Estufa**



Fuente: ALIBABA. <http://spanish.alibaba.com/product-gs/electric-stove-1500w-for-school-laboratory-548960047.html>. Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: es un aparato de calefacción que se utiliza para recipientes con líquidos.
- Análisis en el que se utiliza: medición de pH, acidez y dureza total en aguas residuales y medición de corrosividad en análisis CRETIB.

Figura 18. **Filtro de vidrio**



Fuente: RYE. <http://www.reactivosyequipos.com.mx/producto/19799-embudo-de-vidrio-tallo-corto-35-mm-pk6>. Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: es un filtro de vidrio de borosilicato resistente a solventes orgánicos fuertes, así como a condiciones de alta temperatura.
- Análisis en el que se utiliza: medición de pH y fósforo total en aguas residuales. Medición de corrosividad en análisis CRETIB.

Figura 19. **Cápsula de platino**



Fuente: LAVAL LAB. <http://lavallab.com/es/products/crisoles-y-moldes-de-platino/crisoles-platino/>. Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: se utiliza para separar y evaporar mezclas, así como para calentar a altas temperaturas sustancias que lo requieran.
- Análisis en el que se utiliza: medición de pH en aguas residuales y de corrosividad en análisis CRETIB.

Figura 20. **Frasco con tapón**



Fuente: *Direct Industry*. <http://www.directindustry.es/prod/dixon-glass-ltd/product-98155-1053683.html>. Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: frasco de cristal para contener reactivos de 300 ml.
- Análisis en el que se utiliza: medición de pH en aguas residuales y de corrosividad en análisis CRETIB.

Figura 21. **Desecadora**



Fuente: *Direct Industry*. [http://www.directindustry.es/prod/dixon-glass-ltd/product-98155-1053683.html#product-item\\_1054655](http://www.directindustry.es/prod/dixon-glass-ltd/product-98155-1053683.html#product-item_1054655). Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: construida de vidrio de borosilicato se utiliza para deshidratar una muestra por medio del vacío.
- Análisis en el que se utiliza: medición de pH, sólidos totales, sólidos suspendidos, alcalinidad y nitrógeno total en análisis de aguas residuales. Medición de corrosividad en análisis CRETIB.

Figura 22. **Bomba de vacío**



Fuente: TELSTAR. <http://www.telstar-lifesciences.com/tecnologias/bombas%20de%20laboratorio/bombas%20de%20vacio%20para%20laboratorio.htm?language=es>.  
Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: se utiliza para extraer aire a alta velocidad y crear un vacío parcial de presión inferior a la atmósfera.
- Análisis en el que se utiliza: medición de pH, sólidos totales, grasas y aceites en aguas residuales. Medición de corrosividad en análisis CRETIB.

Figura 23. **Balón aforado**



Fuente: BIMAR LOGA CIENTÍFICA. [http://www.bimarloga.com.ar/site/index.php?page=shop.product\\_details&flypage=shop.flypage&product\\_id=827&category\\_id=105&manufacturer\\_id=0&option=com\\_virtuemart&Itemid=1&vmcchk=1&Itemid=1](http://www.bimarloga.com.ar/site/index.php?page=shop.product_details&flypage=shop.flypage&product_id=827&category_id=105&manufacturer_id=0&option=com_virtuemart&Itemid=1&vmcchk=1&Itemid=1). Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: instrumento de vidrio que se utiliza para medir un volumen determinado (100, 200, 250 y 1.000 ml). El volumen o la capacidad del balón aparece marcada con una línea en el cuello del mismo.
- Análisis en el que se utiliza: medición de pH en aguas residuales y de corrosividad en análisis CRETIB.

Figura 24. **Horno**



Fuente: IFOP. <http://www.ifop.cl/eyc/hornosecado.html>. Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: horno de secado de sobremesa para operaciones a 103-105 °C que se utiliza para deshidratar muestras o secar instrumentos.
- Análisis en el que se utiliza: análisis de DQO en aguas residuales e Inflamabilidad en análisis CRETIB.

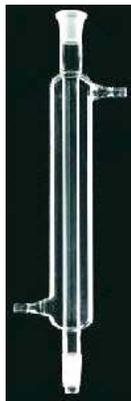
Figura 25. **Matraz Erlenmeyer**



Fuente: AUXILAB S.L. [http://www.auxilab.es/es/catalogo/vidrio-glassco\\_matraces-erlenmeyer.aspx](http://www.auxilab.es/es/catalogo/vidrio-glassco_matraces-erlenmeyer.aspx). Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: matraz de vidrio de borosilicato de 500 ml con cuello 24/40 de vidrio esmerilado.
- Análisis en el que se utiliza: análisis de DQO en aguas residuales. Determinación de inflamabilidad y reactividad en análisis CRETIB.

Figura 26. **Refrigerante**



Fuente: ICT, S.L. <http://www.ictsl.net/productos/vidrio/0000009d620c39eb6.html>. Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: refrigerante de 300 mm Liebig-West con junta de cristal esmerilado 24/40.
- Análisis en el que se utiliza: medición de DQO en aguas residuales.

Figura 27. **Placa caliente**



Fuente: Huanghua Faithful Instrument Co., Ltd. [http://es.made-in-china.com/co\\_faithful/product\\_CE-Hot-Plate-Sh-5A-Lab-Hot-Plate\\_housyssy.html](http://es.made-in-china.com/co_faithful/product_CE-Hot-Plate-Sh-5A-Lab-Hot-Plate_housyssy.html). Consulta: agosto de 2015

- Descripción: placa caliente con capacidad de al menos 1,4 W/cm<sup>2</sup>.
- Análisis en el que se utiliza: análisis de DQO en aguas residuales.

Figura 28. **Botella de incubación**



Fuente: HACH. <http://www.hach.vn/chi-tiet-san-pham.aspx?id=58>. Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: botellas de incubación de vidrio de borosilicato de 250 a 300 ml.
- Análisis en el que se utiliza: análisis de DBO en aguas residuales.

Figura 29. **Incubadora de aire**



Fuente: *Direct Industry*. <http://www.directindustry.es/prod/thermo-scientific-laboratory-equipment/product-21327-1244359.html>. Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: incubadora de convección forzada, temperatura mínima 15 °C, temperatura máxima 40 °C.
- Análisis en el que se utiliza: medición de DBO y coliformes totales en aguas residuales. Análisis biológico infeccioso en análisis CRETIB.

Figura 30. **Termostato**



Fuente: PROSISA S.L. <http://www.prosisa.es/67-termostato-de-inmersi%C3%B3n-digitem-100.html>. Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: termostato de inmersión con temperatura controlada por microprocesador.
- Análisis en el que se utiliza: medición de DBO en aguas residuales.

Figura 31. **Crisol de porcelana**



Fuente: HACH. <http://latam.hach.com/placa-evaporacion-porcelana-120-ml/product?id=16076390151>. Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: crisol de porcelana de 100 ml de capacidad utilizado para evaporación.
- Análisis en el que se utiliza: medición de sólidos totales en aguas residuales y determinación de inflamabilidad en análisis CRETIB.

Figura 32. **Horno de mufla**



Fuente: Equipos Labquim. <http://cbtis165equiposlabquim.blogspot.com/2011/07/texto-diferencia-entre-horno-estufa-y.html>. Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: horno de mufla para operar a 550 °C.
- Análisis en el que se utiliza: medición de sólidos totales y sólidos suspendidos en aguas residuales.

Figura 33. **Baño de vapor**



Fuente: ZELIAN. [http://www.zelian.com.ar/index.php/catalogo/equipos\\_de\\_laboratorio/banos\\_termostatizados/banos\\_maria/?page=3](http://www.zelian.com.ar/index.php/catalogo/equipos_de_laboratorio/banos_termostatizados/banos_maria/?page=3). Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: baño termostático de 18 L con agitación lineal. Velocidad de 40 a 400 movimientos/minuto.
- Análisis en el que se utiliza: medición de sólidos totales en aguas residuales.

Figura 34. **Balanza analítica**



Fuente: Femto Instruments. <http://www.femto.es/balanza-analitica-para-laboratorio--resolucion-01-mg--plato-o80-mm--funciones-de-formulacion-para-laboratorio-quimico-9668serie-absabj9658-p-1-50-1588/>. Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: balanza analítica capaz de pesar hasta 0,1 mg.
- Análisis en el que se utiliza: medición de sólidos totales, sólidos suspendidos, acidez, nitrógeno total y cromo hexavalente en aguas residuales. Medición de toxicidad en análisis CRETIB.

Figura 35. **Discos de filtrado de fibra de vidrio**



Fuente: Hahnemühle. <http://www.hahnemuehle.com/es/filtracion/filtracion/filtros-de-fibra-de-vidrio-y-de-cuarzo/filtros-de-fibra-de-vidrio-sin-ligantes.html>. Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: discos de filtrado de fibra de vidrio sin aglutinante orgánico.
- Análisis en el que se utiliza: medición de sólidos suspendidos en aguas residuales.

Figura 36. **Crisol de Gooch**



Fuente: HACH. <http://latam.hach.com/crisol-gooch-capacidad-de-25ml/product?id=16076389298>. Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: crisol de fondo perforado con capacidad de 25 ml.
- Análisis en el que se utiliza: medición de sólidos suspendidos en aguas residuales.

Figura 37. **Aparato de filtración desmontable para microfiltración con membrana**



Fuente: SEV-PREND0. <http://www.sevmexico.com/categorias/productos/?pr=238>. Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: aparato de filtración desmontable para microfiltración con membrana de 47 mm de diámetro.
- Análisis en el que se utiliza: medición de sólidos suspendidos en aguas residuales.

Figura 38. **Soporte universal**



Fuente: TP- Laboratorio Químico <http://www.tplaboratorioquimico.com/laboratorio-quimico/materiales-e-instrumentos-de-un-laboratorio-quimico/soporte-universal-de-laboratorio.html>.

Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: se utiliza para sostener cristalería o montar equipos.
- Análisis en el que se utiliza: medición de sólidos suspendidos, dureza total y nitrógeno total en aguas residuales.

Figura 39. **Matraz de succión**



Fuente: EMAZE. <http://app.emaze.com/1751464/instlab#1>. Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: se utiliza para filtrar sustancias sólidas al vacío.
- Análisis en el que se utiliza: medición de sólidos suspendidos en aguas residuales.

Figura 40. **Mezclador de muestras**



Fuente: VELP Scientica. [http://www.velp.com/es/productos/aplicaciones/18/family/33/mezclador\\_rotativo/39/rotax\\_6\\_8](http://www.velp.com/es/productos/aplicaciones/18/family/33/mezclador_rotativo/39/rotax_6_8). Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: mezclador rotativo que se utiliza para evaluar la solubilidad en agua de residuos sólidos.
- Análisis en el que se utiliza: medición de materia flotante en aguas residuales.

Figura 41. **Cono Imhoff**



Fuente: BRAND. <http://www.brand.de/es/productos/medicion-de-densidad/conos-de-sedimentacion/>. Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: cono Imhoff con espita de TFE en el fondo, para volumen de 3,5 L.
- Análisis en el que se utiliza: medición de materia flotante en aguas residuales.

Figura 42. **Titulador electrométrico**



Fuente: HANNA. <http://www.hannachile.com/productos/titulacion/244-sistema-automatico-de-titulacion>. Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: se utiliza para realizar análisis rápidos de valoraciones ácido/base, potenciométricas y amperométricas.
- Análisis en el que se utiliza: medición de alcalinidad y acidez en aguas residuales.

Figura 43. **Vaso de precipitado**



Fuente: HACH. <http://latam.hach.com/vaso-de-precipitado-griffin-perfil-bajo-250-ml/product?id=16076393464>. Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: vaso de vidrio de borosilicato de 250 ml.
- Análisis en el que se utiliza: medición de alcalinidad y acidez en aguas residuales.

Figura 44. **Pipeta volumétrica**



Fuente: PROINCA. <http://proinca.com.gt/?p=221>. Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: se utiliza para medir una cantidad determinada de volumen (1, 5 y 50 ml).
- Análisis en el que se utiliza: medición de dureza total, alcalinidad y acidez en aguas residuales. Análisis de coliformes totales en microbiología. Medición de toxicidad, reactividad y biológico infecciosos en análisis CRETIB.

Figura 45. **Matraz de ebullición**



Fuente: RYE. <http://www.reactivosyequipos.com.mx/producto/2812-matriz-de-ebullicion-fondo-redondo-2942-250-ml-4321-250>. Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: matraz de ebullición de 1 L.
- Análisis en el que se utiliza: medición de cianuro total en aguas residuales.

Figura 46. **Bureta**



Fuente: TECNOTEST. <http://www.tecnotest.it/f/it/Prod/d-657-agitatore-da-laboratorio>. Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: medición de volúmenes determinados de líquidos (10, 25, 50 y 100 ml).
- Análisis en el que se utiliza: medición de alcalinidad, acidez, cloruro, dureza total y nitrógeno total en aguas residuales. Medición de toxicidad en análisis CRETIB.

Figura 47. **Botella de poliolefina**



Fuente: Interempresas. <http://www.interempresas.net/Envase/FeriaVirtual/Producto-Botellas-Standard-C-y-R-79387.html>. Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: botella de poliolefina de 1 L de capacidad.
- Análisis en el que se utiliza: medición de alcalinidad y acidez en aguas residuales.

Figura 48. **Probeta**



Fuente: Marienfeld. <http://www.marienfeld-superior.com/index.php/349/articles/probetas-graduadas-de-vidrio.html>. Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: probeta graduada de 100 ml de capacidad.
- Análisis en el que se utiliza: medición de alcalinidad en aguas residuales y reactividad en análisis CRETIB.

Figura 49. **Mortero**



Fuente: Auxilab. [http://www.auxilab.es/es/catalogo/porcelana-jipo\\_morteros.aspx](http://www.auxilab.es/es/catalogo/porcelana-jipo_morteros.aspx). Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: se utiliza para moler o machacar sustancias sólidas.
- Análisis en el que se utiliza: medición de acidez en aguas residuales y coliformes totales en análisis microbiológicos.

Figura 50. **Erlenmeyer**



Fuente: ALIBABA. <http://spanish.alibaba.com/product-gs/narrow-neck-iso-1773-erlenmeyer-flask-242110121.html>. Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: utilizado para contener sustancias líquidas o para producir reacciones en él. Se requiere Erlenmeyer de 250 y 500 ml.
- Análisis en el que se utiliza: medición de cloruro y dureza total en aguas residuales.

Figura 51. **Cucharilla**



Fuente: Auxilab. [http://www.auxilab.es/es/catalogo/instrumental\\_labware\\_espatulas\\_Espatula-cuchara-plana-150-mm.aspx](http://www.auxilab.es/es/catalogo/instrumental_labware_espatulas_Espatula-cuchara-plana-150-mm.aspx). Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: cucharilla utilizada para medir de 0,2 a 0,3 g.
- Análisis en el que se utiliza: medición de dureza total en aguas residuales.

Figura 52. **Frasco de vidrio de borosilicato**



Fuente: Marienfeld. <http://www.marienfeld-superior.com/index.php/363/articles/frascos-cuadrados-para-laboratorios-gl-80.html>. Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: frasco cuadrado de vidrio de borosilicato.
- Análisis en el que se utiliza: medición de dureza total en aguas residuales y de toxicidad en análisis CRETIB.

Figura 53. **Digestor con sistema de extracción de humos**



Fuente: FOSS. <http://www.foss.com.mx/industry-solution/products/tecolor-digestion-systems/>. Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: sistema de digestión para análisis Kjeldahl con capacidad de veinte tubos de 250 ml.
- Análisis en el que se utiliza: medición de nitrógeno total en aguas residuales.

Figura 54. **Destilador con sistema de condensación**



Fuente: INSBAL. <http://insbal.com/productos.php?categoria=Destiladores>. Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: destilador de Kjeldahl semiautomático con una velocidad de destilación de 25 ml/min.
- Análisis en el que se utiliza: medición de nitrógeno total en aguas residuales.

Figura 55. **Balanza granataria**



Fuente: Mercalab. <http://mercalab.com/-balanzas/741-balanza-triple-brazo-adam.html>. Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: balanza con capacidad de 2.610 g y precisión de 0,1 g.
- Análisis en el que se utiliza: medición de nitrógeno total en aguas residuales.

Figura 56. **Matraz tipo Kjeldahl**



Fuente: RYE. <http://www.reactivosyequipos.com.mx/producto/2484-matriz-kjeldahl-800-ml--5420-800>. Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: balón de cuello largo que se utiliza para los análisis que implican digestión.
- Análisis en el que se utiliza: medición de nitrógeno total en aguas residuales.

Figura 57. **Gradilla de digestión**



Fuente: Raypa. [http://www2.raypa.com/products/gradilla-de-tubos-con-soporte?taxon\\_id=71](http://www2.raypa.com/products/gradilla-de-tubos-con-soporte?taxon_id=71). Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: gradilla que se utiliza como soporte para los tubos de ensayo que se utilizarán durante el proceso de digestión.
- Análisis en el que se utiliza: medición de fósforo total en aguas residuales.

Figura 58. **Matraz micro-Kjeldahl**



Fuente: EMYR. <http://www.emyr.com.mx/producto-detalle.php?n=25&s=84&p=368>. Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: matraz Kjeldahl de 100 ml de volumen utilizado para el proceso de digestión.
- Análisis en el que se utiliza: medición de fósforo total en aguas residuales.

Figura 59. **Fotómetro**



Fuente: HANNA. <http://www.hannachile.com/productos/fotometros/fotometros-multiparametro/fotometro-multiparametrico-para-laboratorios>. Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: se utiliza para medir la intensidad de la luz en una muestra.
- Análisis en el que se utiliza: medición de fósforo total y cromo hexavalente en aguas residuales.

Figura 60. **Espectrofotómetro de absorción atómica**



Fuente: INSITU. <http://www.insitu.com.py/espectrofotometro-absorcion-atmica-aas.php>.

Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: equipo que determina la presencia de elementos metálicos en una sustancia mediante la medición de la absorbancia de la radiación electromagnética en una longitud de onda del elemento que se desea analizar.
- Análisis en el que se utiliza: medición de arsénico, cadmio, cobre, níquel, plomo, zinc y mercurio en aguas residuales. Medición de arsénico, cadmio, cromo, mercurio y plomo en lodos residuales.

Figura 61. **Pipeta de microlitros**

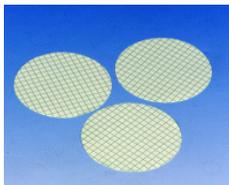


Fuente: DCL Metrología. [http://www.instrumentacion-metrologia.es/Pipeta-de-Microlitros-PA0-](http://www.instrumentacion-metrologia.es/Pipeta-de-Microlitros-PA0-Sauter)

Sauter. Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: se utiliza para medir volúmenes pequeños con mayor precisión.
- Análisis en el que se utiliza: medición de arsénico y cadmio en aguas residuales. Medición de arsénico, cadmio y cromo en lodos residuales.

Figura 62. **Filtro de membrana**



Fuente: ACQUA, S.A. <http://www.acquasv.com/Inicio/PRODUCTOS/03.FILTRACION/4.FMembrana.html>. Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: filtro de membrana de 0,45  $\mu\text{m}$ .
- Análisis en el que se utiliza: medición de arsénico y cadmio en aguas residuales. Medición de arsénico, cadmio y cromo en lodos residuales.

Figura 63. **Aparato de destilación para cianuro**



Fuente: RYE. <http://www.reactivosyequipos.com.mx/producto/3251-aparato-de-destilacion.-para-cianuro-completo-3350-c>. Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: aparato para destilación compuesto de un matraz de destilación con capacidad para 1 L, un condensador y adaptadores.
- Análisis en el que se utiliza: medición de cianuro total en aguas residuales.

Figura 64. **Electrodo ion-cianuro selectivo**



Fuente: HANNA. <http://www.hannacolombia.com/productos/electrodos-y-sondas/electrodos-de-ion-selectivo/677-electrodo-ise-cianuro-media-celula>. Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: electrodo que se utiliza para determinar la concentración del ion cianuro en una sustancia.
- Análisis en el que se utiliza: medición de cianuro total en aguas residuales.

Figura 65. **Electrodo de referencia**



Fuente: HI-TECH. <http://hi-techautomatizacion.com/accesorios-gamry/>.  
Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: electrodo que se utiliza como referencia para medir el potencial de otros electrodos.
- Análisis en el que se utiliza: medición de cianuro total en aguas residuales.

Figura 66. **Compresor de aire**



Fuente: LAMBDA. <http://www.lambda-instruments.com/?pages=spanish-compresor-de-aire-sin-aceite>. Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: se utiliza para aumentar la presión y producir energía cinética con la cual se desplazan líquidos.
- Análisis en el que se utiliza: medición de cobre, níquel, plomo y zinc en aguas residuales.

Figura 67. **Mechero bunsen**



Fuente: LABOTIENDA. [http://labotienda.com/es/catalogo/instrumental\\_labware\\_otros\\_Mechero-Bunsen-GLP.aspx](http://labotienda.com/es/catalogo/instrumental_labware_otros_Mechero-Bunsen-GLP.aspx). Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: mechero con llaves de regulación de paso de gas y aire.
- Análisis en el que se utiliza: medición de cobre, níquel, plomo y zinc en aguas residuales.

Figura 68. **Embudo de separación Squibb**



Fuente: RYE. <http://www.reactivosyequipos.com.mx/producto/2576-embudo-de-separacion-squibb-250-ml-6400-250>. Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: embudo de separación Squibb con espita y tapón de vidrio o TFE de 250 ml.
- Análisis en el que se utiliza: medición de cromo hexavalente en aguas residuales.

Figura 69. **Bomba de aire peristáltica**



Fuente: LAMBDA. <http://www.lambda-instruments.com/?pages=spanish-bombas-peristalticas>.  
Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: bomba de aire peristáltica con control electrónico capaz de suministrar 2 L de aire/min.
- Análisis en el que se utiliza: medición de mercurio en aguas residuales y lodos residuales.

Figura 70. **Tubo desecador**



Fuente: DLC. [http://dlc.net/recordlist.php?-action=ID&-max=1&search\\_term\\_1=9282&-lang=ES](http://dlc.net/recordlist.php?-action=ID&-max=1&search_term_1=9282&-lang=ES).  
Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: tubo desecador de 150 mm x 18 mm de diámetro.
- Análisis en el que se utiliza: medición de mercurio en aguas residuales y lodos residuales.

Figura 71. **Analizador de mercurio**



Fuente: Mercury Instruments. [http://www.mercury-instruments.de/es-Mercury\\_Instruments\\_Products\\_LabAnalyzer\\_254.html](http://www.mercury-instruments.de/es-Mercury_Instruments_Products_LabAnalyzer_254.html). Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: equipo para la determinación de cuantitativa de mercurio en muestras líquidas y digestiones de muestras.
- Análisis en el que se utiliza: medición de mercurio en aguas residuales y lodos residuales.

Figura 72. **Aparato de extracción Soxhlet**



Fuente: ICT S.L. <http://www.ictsl.net/productos/01d63694a80f79304/02e34699d40a01833.html>.

Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: equipo utilizado para extracción de compuestos lípidos, compuesto por un refrigerante, un cuerpo extractor de 250 ml y un matraz de fondo plano de 500 ml.
- Análisis en el que se utiliza: medición de grasas y aceites en aguas residuales.

Figura 73. **Embudo Buchner**



Fuente: ICT S.L. <http://www.ictsl.net/productos/01d636958f0b1ef51/>

[embudobuechnerdeporcelanalbg.html](http://www.ictsl.net/productos/01d636958f0b1ef51/embudobuechnerdeporcelanalbg.html). Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: embudo Buchner de porcelana de 12 cm utilizado para realizar filtraciones por medio de una bomba de vacío.
- Análisis en el que se utiliza: medición de grasas y aceites en aguas residuales.

Figura 74. **Manta calefactora**



Fuente: Medical Expo. <http://www.medicalexpo.es/prod/electrothermal/product-80796-510112.html>. Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: manta calefactora de 250 a 1 000 ml con capacidad hasta de 450 °C.
- Análisis en el que se utiliza: medición de grasas y aceites en aguas residuales.

Figura 75. **Dedal de extracción de papel**



Fuente: PROINCA. <http://proinca.com.gt/?p=352>. Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: dedal de microfibra de vidrio y celulosa utilizado para la extracción de solventes sólidos y semisólidos.
- Análisis en el que se utiliza: medición de grasas y aceites en aguas residuales.

Figura 76. **Papel filtro**



Fuente: PROINCA. <http://proinca.com.gt/?p=337>. Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: papel filtro circular de 11 cm de diámetro.
- Análisis en el que se utiliza: medición de grasas y aceites en aguas residuales. Asimismo, medición de coliformes totales como análisis microbiológicos. Determinación de parámetros biológicos infecciosos en análisis CRETIB.

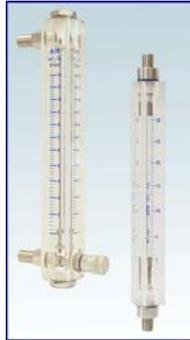
Figura 77. **Discos de muselina**



Fuente: Aliexpress. [http://es.aliexpress.com/store/product/2yds-Fine-Gauze-Cheesecloth-Fabric-Cheese-Cloth-Butter-Muslin90cm-x-180cm/716354\\_741411036.html](http://es.aliexpress.com/store/product/2yds-Fine-Gauze-Cheesecloth-Fabric-Cheese-Cloth-Butter-Muslin90cm-x-180cm/716354_741411036.html). Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: discos de muselina de 11 cm de diámetro.
- Análisis en el que se utiliza: medición de grasas y aceites en aguas residuales.

Figura 78. **Flujómetro**



Fuente: La técnica fluido. [http://www.latecnicafluidi.it/prodotti\\_scheda.asp?lingua=003&id\\_scheda=349&](http://www.latecnicafluidi.it/prodotti_scheda.asp?lingua=003&id_scheda=349&). Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: flujómetro capaz de medir un flujo de aire de 2 L/ min
- Análisis en el que se utiliza: medición de mercurio en lodos residuales

Figura 79. **Tubos de fermentación**



Fuente: PROINCA. [www.proinca.com.gt/?cat=4](http://www.proinca.com.gt/?cat=4). Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: tubo de cristal cerrado de uno de los extremos y cóncavo utilizado para contener o preparar soluciones.
- Análisis en el que se utiliza: determinación de coliformes totales como análisis microbiológicos y biológicos infecciosos.

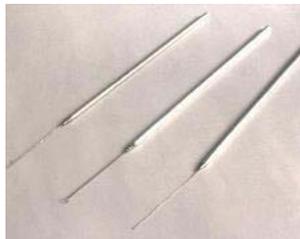
Figura 80. **Gradilla para tubos de ensayo**



Fuente: Lab Logistics Group GmbH. [http://shop.llg.de/info3694\\_lang\\_ES.htm](http://shop.llg.de/info3694_lang_ES.htm). Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: gradilla de metal utilizada para sostener tubos de ensayo.
- Análisis en el que se utiliza: determinación de coliformes totales como análisis microbiológicos y biológicos infecciosos.

Figura 81. **Asa bacteriológica**



Fuente: PROINCA. <http://proinca.com.gt/?p=49>. Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: asa de platino utilizada para transportar inóculos al medio de cultivo. Asimismo, se utiliza para realizar frotés.
- Análisis en el que se utiliza: determinación de coliformes totales como análisis microbiológicos y biológicos infecciosos.

Figura 82. **Baño de agua**



Fuente: Equipos y laboratorio de Colombia. [http://www.equiposylaboratorio.com/sitio/productos\\_mo.php?it=13248](http://www.equiposylaboratorio.com/sitio/productos_mo.php?it=13248). Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: equipo que se utiliza para calentamiento indirecto con agua con temperatura de 35 a 45.5 °C.
- Análisis en el que se utiliza: determinación de coliformes totales como análisis microbiológicos y biológicos infecciosos.

Figura 83. **Gotero**



Fuente: Recor. <http://recordq.com/tienda/frasco-gotero-vidrio-claro-con-pipeta/>.  
Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: utilizado para contar gotas de una solución.
- Análisis en el que se utiliza: determinación de coliformes totales como análisis microbiológicos y biológicos infecciosos.

Figura 84. **Botella de vidrio ámbar**



Fuente: PROINCA. <http://proinca.com.gt/?p=265>. Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: botella de color ámbar que se utiliza para protección contra la luz y así evitar la descomposición de soluciones.
- Análisis en el que se utiliza: determinación de coliformes totales como análisis microbiológicos y biológicos infecciosos.

Figura 85. **Vidrio de reloj**



Fuente: Direct Industry. <http://www.directindustry.es/prod/paul-marienfeld-gmbh-co-kg/product-98151-900803.html>. Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: vidrio circular cóncavo que se utiliza para pesar sólidos, evaporar líquidos o contener sustancias corrosivas.
- Análisis en el que se utiliza: determinación de toxicidad en análisis CRETIB.

Figura 86. **Equipo de agitación rotatorio**



Fuente: PROINCA. <http://proinca.com.gt/?p=253>. Consulta: agosto de 2015.

- Descripción: agitador orbital con plataforma utilizado para homogenizar sustancias.
- Análisis en el que se utiliza: determinación de toxicidad en análisis CRETIB.

#### **4.3. Planos de distribución**

A continuación se describen las especificaciones en cuanto al diseño del laboratorio referente a: piso, techo, distribución de mobiliario y equipo, distribución de sistemas auxiliares (drenajes, tuberías de fluidos, instalación eléctrica, iluminación, ventilación y aire acondicionado) y flujo del proceso de análisis de muestras. Dichos planos fueron elaborados con el programa AutoCAD 2015 y a escala 1:100.

En el caso de las condiciones ambientales, como la instalación eléctrica, iluminación, ventilación y aire acondicionado, se tomaron como base los parámetros establecidos en la Norma ISA-TR52-.00.01.2006 *Consideraciones ambientales para laboratorios de ensayo*.

#### **4.3.1. Pisos**

El piso del laboratorio deberá ser cerámico de color blanco o claro y antideslizante. No deberá tener juntas (espacio entre baldosas) o tener la menor cantidad posible y de color blanco. Además, el piso debe ser fácil de limpiar y descontaminar, resistente a la abrasión y a los agentes químicos, y con los declives apropiados para el fácil desagüe en caso de derrames.

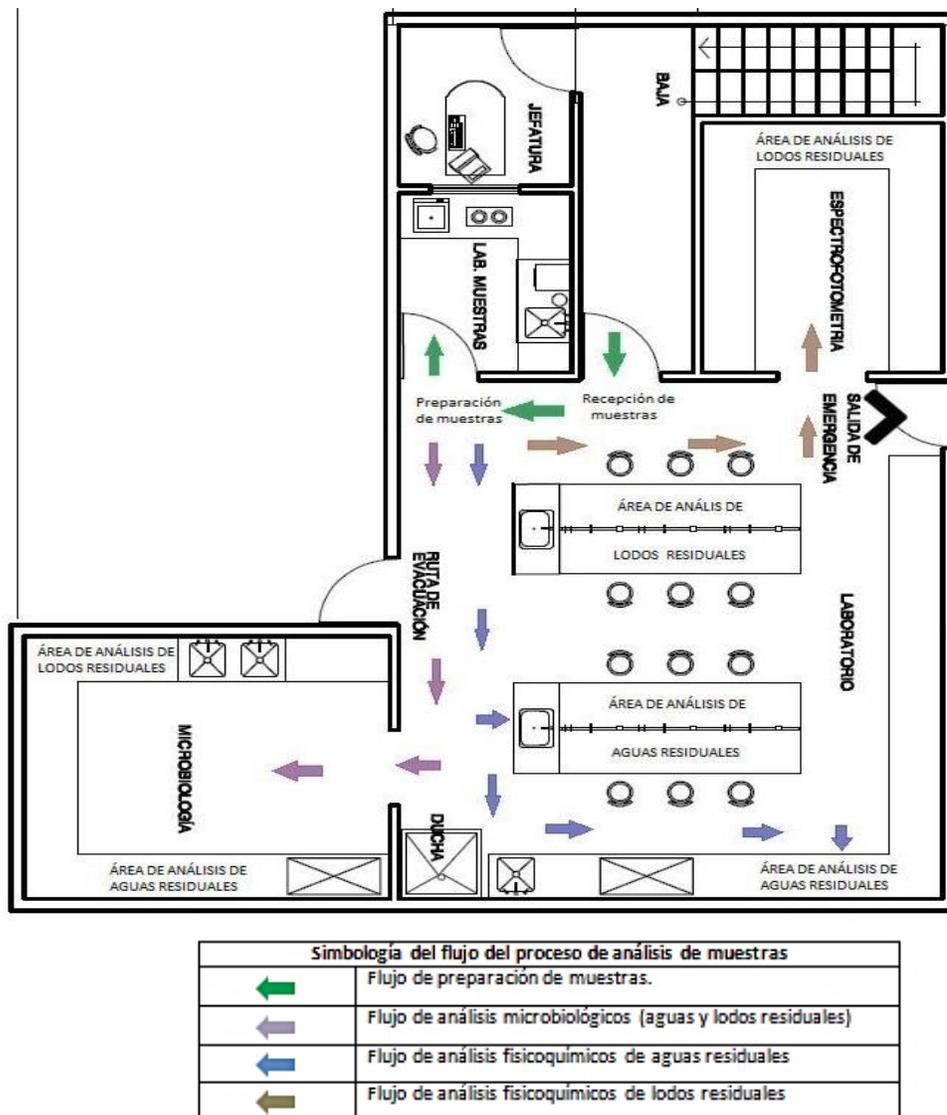
#### **4.3.2. Techo**

El techo debe ser liso, no de cielo falso, de color mate para evitar reflejos.

### 4.3.3. Flujo del proceso de análisis de muestras

A continuación se muestra el flujo del proceso de análisis, desde la recepción de las muestras hasta la realización de los análisis.

Figura 87. Diagrama del flujo del proceso de análisis de muestras

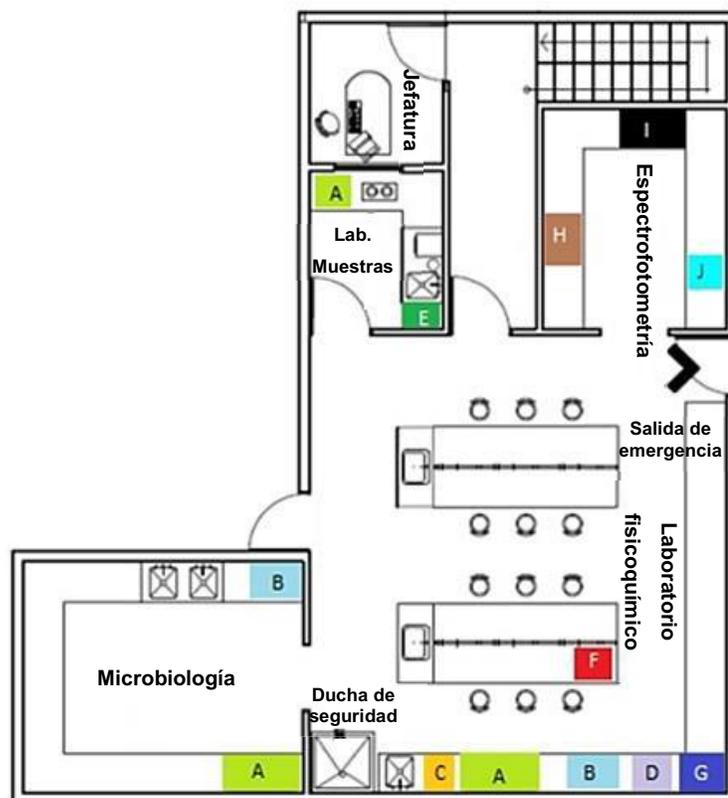


Fuente: elaboración propia, utilizando el programa AutoCAD.

#### 4.3.4. Distribución de mobiliario y equipo

A continuación se muestra el plano propuesto de la distribución del mobiliario y equipo del laboratorio:

Figura 88. Planta amueblada



Letra	Equipo
A	Cámara de Reflujo
B	Incubadora
C	Horno de mufla
D	Horno de secado para operaciones a 103-105 °C
E	Mezclador de muestras
F	Digestor con sistema de extracción de humos
G	Destilador con sistema de condensación
H	Fotómetro
I	Espectrofotómetro de absorción atómica
J	Analizador de mercurio

Fuente: elaboración propia, utilizando el programa AutoCAD.

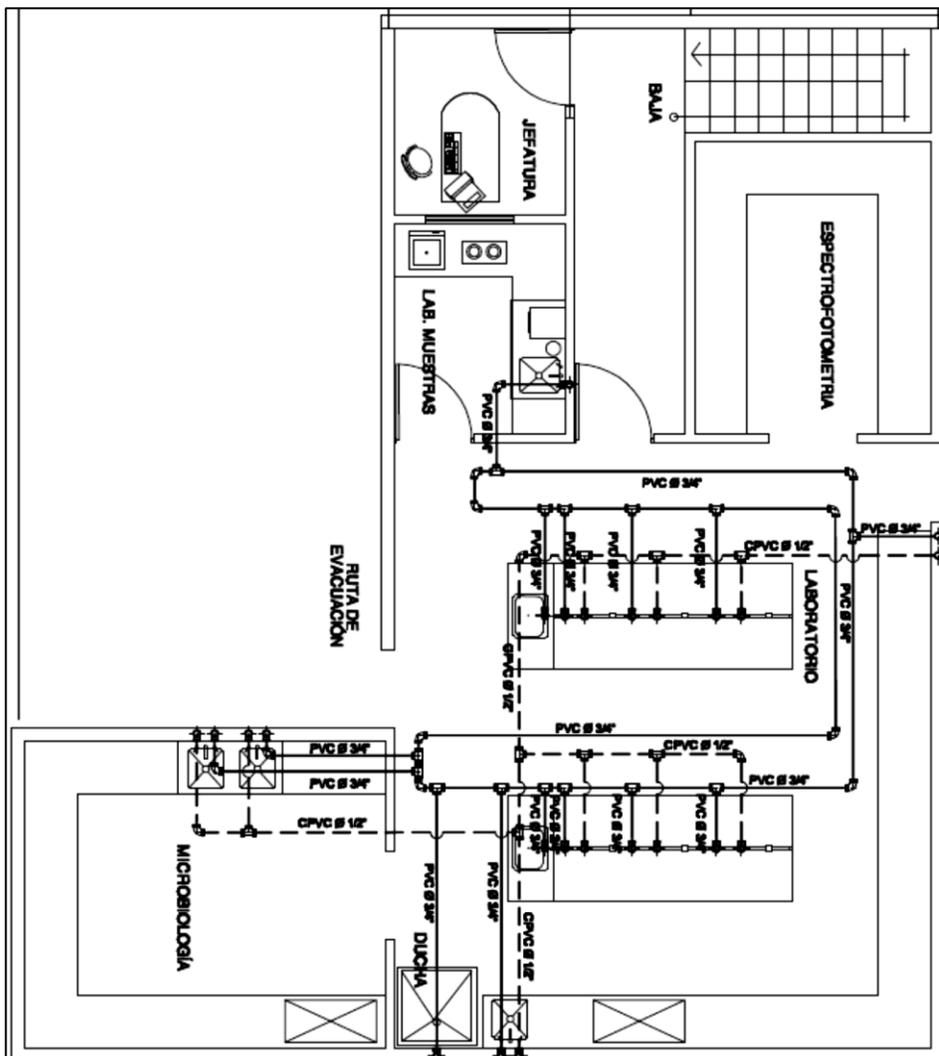
#### 4.3.5. Sistemas auxiliares

A continuación se muestra el plano de los sistemas auxiliares necesarios.

##### 4.3.5.1. Drenajes y tuberías de fluidos

Se presenta el plano del sistema de drenajes y tuberías de fluidos.

Figura 89. Plano planta: hidráulicas

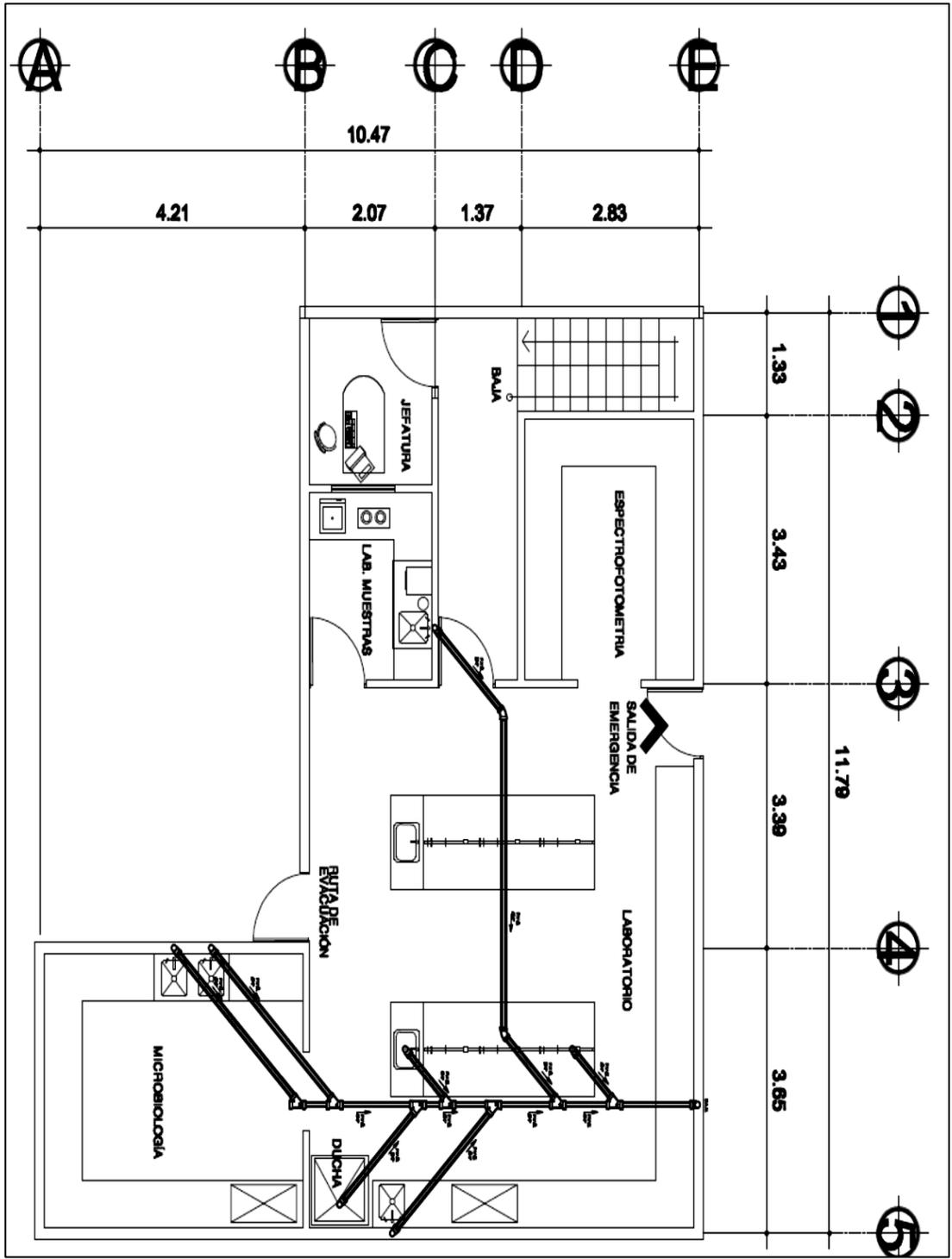


Continuación de la figura 89.

	<b>CODO DE PVC A 90°</b> Ø INDICADO -VERTICAL.		<b>VALVULA CIERRE MUNI.</b>
	<b>CODO DE PVC A 90°</b> Ø INDICADO -HORIZONTAL.		<b>VALVULA CONTROL HORIZ.</b>
	<b>CODO DE PVC A 45°</b> Ø INDICADO -HORIZONTAL.		<b>VALVULA DE CHEQUE.</b>
	<b>TEE DE PVC</b> Ø INDICADO -HORIZONTAL.		<b>CONTADOR-MED. CONSUMO</b>
	<b>CRUZ DE PVC</b> Ø INDICADO -HORIZONTAL.		<b>VÁLVULA DE BOLA</b>
	<b>YEE DOBLE PVC 45°</b> Ø INDICADO -HORIZONTAL.		<b>UNIÓN DE EXPANSIÓN</b>
	<b>YEE PVC 45° Ø INDICADO</b> <b>-HORIZONTAL</b>		<b>LLAVE CONTROL MANUAL HORIZ.</b> <b>ARTEFACTOS SANITARIOS</b>
	<b>REDUCIDOR PVC Ø3/4" @ 1/2"</b>		<b>LLAVE CONTROL MANUAL VERT.</b> <b>ARTEFACTOS SANITARIOS</b>
	<b>TUBERIA PVC AGUA POT.</b> <b>AGUA FRIA Ø INDICADO</b>		<b>VÁLVULA DE COMPUERTA</b>
	<b>TUBERIA PVC AGUA POT.</b> <b>AGUA CALIENTE</b>		<b>TUBERIA COBRE TCu Ø1/2"</b> <b>PARA AGUA CALIENTE</b>
	<b>CALENTADOR ELECTRICO</b>		<b>CALENTADOR DE GAS</b>
			<b>GRIFO BRONCE CON NARIZ</b> <b>ROSCA Ø1/2" A H=0.40 SNPT.</b>

Fuente: elaboración propia, utilizando el programa AutoCAD.

Figura 90. Plano planta: drenajes



Continuación de la figura 90.

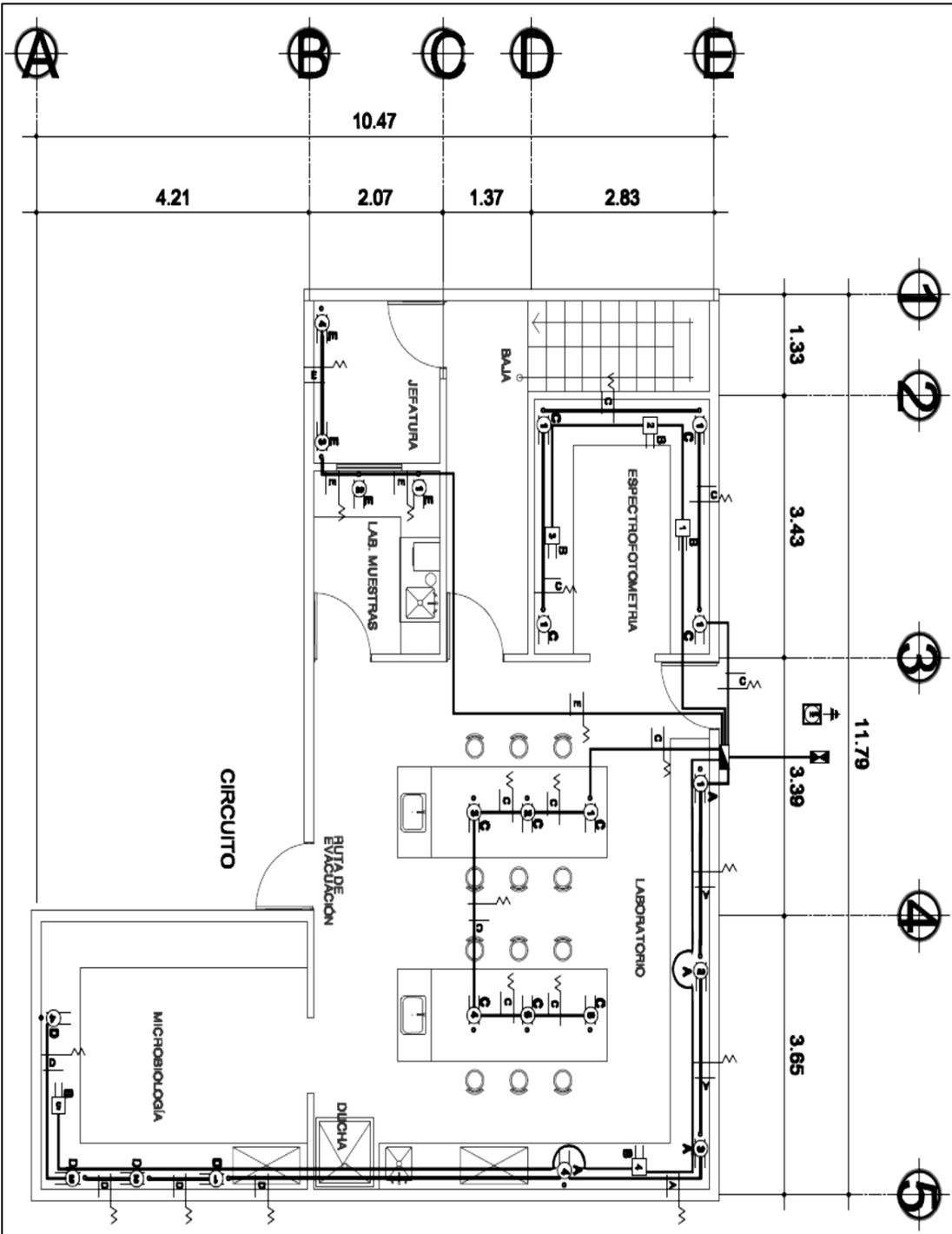
	∅ CODO VERTICAL 90° PVC INDICADO -HORIZONTAL.		∅ CODO HORIZONTAL 45° PVC INDICADO -HORIZONTAL.
	∅ CODO VERTICAL 90° PVC INDICADO -HORIZONTAL.		∅ YEE SANITARIA 45° PVC INDICADO -HORIZONTAL.
	∅ TEE SANIT. VERT. PVC INDICADO -HORIZONTAL.		∅ YEE DOBLE SANIT. 45° PVC INDICADO -HORIZONTAL.
	∅ TEE SANITARIA 90° PVC INDICADO -HORIZONTAL.		∅ SIFON TERM.L VERT.PVC Ø2" INDICADO -HORIZONTAL.
	∅ CODO HORIZONTAL 90° PVC INDICADO -HORIZONTAL.		∅ SIFON TERM. HOR.PVC Ø2" INDICADO - VERTICAL.
	∅ TUBERIA AGUAS NEGRAS INDICADO -HORIZONTAL.		∅ TUBERIA AGUA PLUVIAL INDICADO -HORIZONTAL.
	IND. CONTINUIDAD DE LA TUBERIA AGUAS NEGRAS		INDICA CONTINUIDAD TUBERIA AGUAS PLUV.
	● B.A.N. BAJADA AGUAS NEGRAS		○ B.A.P. BAJADA AGUAS PLUV.
	→ SENTIDO DE LA PENDIENTE		REPOSADERA CONC. 8"X8"
	REDUCTOR DE 3" A 2"		REDUCTOR DE 4" A 3"
	CAJA PARA PILA		

Fuente: elaboración propia, utilizando el programa AutoCAD.

#### 4.3.5.2. Instalación eléctrica

Según la Norma ISA-TR52-.00.01.2006 *Consideraciones ambientales para laboratorios de ensayo*, sección 4,9 Regulación de voltaje, en la instalación eléctrica no debe existir una variación en el voltaje mayor a 0,1 %.

Figura 91. Plano: Instalación eléctrica fuerza



Continuación de la figura 91.

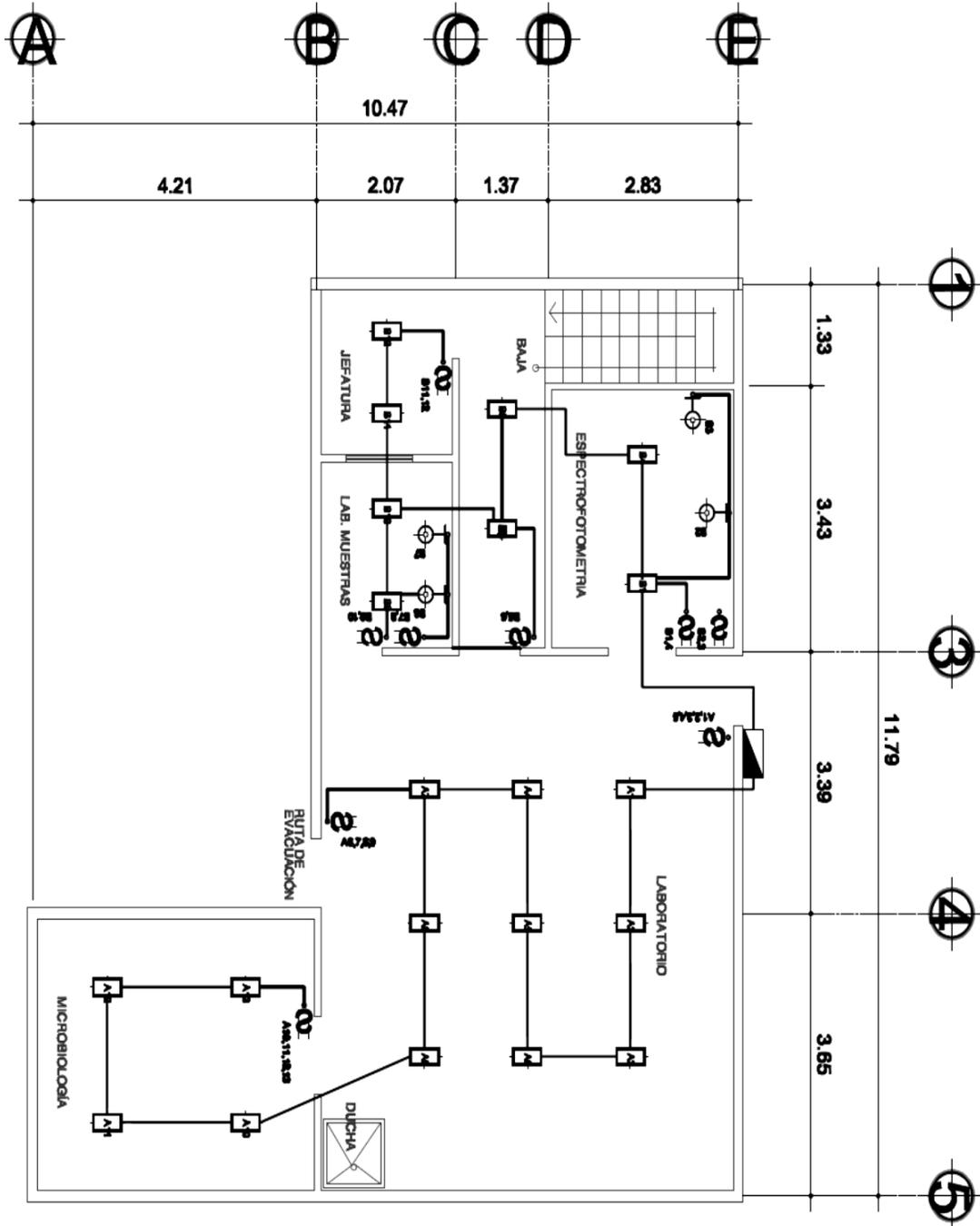
	<b>CONTADOR</b>		<b>FLIPON PRINCIPAL DE 2 X 60 AMPERIOS</b>
	<b>VARILLA DE COBRE PARA TIERRA FISICA Ø5/8" X8'</b>		<b>TABLERO DE DISTRIBUCION</b>
	<b>POLIDUCTO Ø3/4" O IND. EMPOTRADO EN PARED</b>		<b>POLIDUCTO Ø3/4" O IND. EMPOTRADO EN PISO</b>
	<b>POLIDUCTO Ø3/4" O IND. EMPOTRADO EN LOSA</b>		<b>LÍNEA NEUTRAL CAL. 12 TW O INDICADO</b>
	<b>LÍNEA VIVA CAL. 12 TW O INDICADO</b>		<b>TOMACORRIENTE SIMPLE 240 V, H=0.30 S.N.P.T.</b>
	<b>TOMACORRIENTE DOBLE 120 V, H=0.30 S.N.P.T.</b>		<b>TOMACORRIENTE DOBLE 120 V. H=1.20 S.N.P.T.</b>
	<b>TOMACORRIENTE TRIPLE 120 V, H=0.30 S.N.P.T.</b>		<b>EXTRACTOR DE OLORES 120 V. H=2.00 S.N.P.T.</b>

Fuente: elaboración propia, utilizando el programa AutoCAD.

#### 4.3.5.3. Iluminación

Según la Norma ISA, sección 4,5. Iluminación, se debe cumplir con 1 000 lux (lumen por metro cuadrado) a un nivel de mesa o superficie de lectura.

Figura 92. Plano: Iluminación



Continuación de la figura 92.

	TABLERO DE DISTRIBUCION		POLIDUCTO Ø3/4" O INDIC. EMPOTRADO EN PARED
	POLIDUCTO Ø3/4" O INDIC. EMPOTRADO EN LOSA		POLIDUCTO Ø3/4" O INDIC. EMPOTRADO EN PISO
	LÍNEA NEUTRAL CAL. 12 TW O INDICADO		LÍNEA PUENTE CALIBRE 12 TW O INDICADO
	LÍNEA VIVA CAL. 12 TW O INDICADO		LÍNEA RETORNO CAL. 14 TW O INDICADO
	INTERRUPTOR SIMPLE H=1.20 S.N.P.T.		INTERRUPTOR DOBLE H=1.20 S.N.P.T.
	INTERRUPTOR TRIPLE H=1.20 S.N.P.T.		INTERRUPTOR THREE WAY (3 VÍAS) H=1.20 S.N.P.T.
	ILUMINACIÓN EN CIELO TIPO LAMPARA LEED		ILUMINACIÓN EN PARED TIPO PLAFONERO H=1.80 S.N.P.T.
	OJO DE BUEY TIPO PLAFONERO		PROYECTORES (REFLECTOR) TIPO PLAFONERO
	INTERRUPTOR CON TOMACORRIENTE h=1.20 snpt		

Fuente: elaboración propia, utilizando el programa AutoCAD.

#### 4.3.5.4. Ventilación y aire acondicionado

En cuanto a la ventilación, la Norma ISA establece en las secciones 4,6 que se refiere a humedad y 4,7 a temperatura, una humedad relativa máxima de 45 % a una temperatura regulada de aproximadamente 20 °C y una temperatura permanente y regulada de 20 ± 0,3 °C.

#### 4.4. Plan de seguridad industrial

En el siguiente plan de seguridad industrial propuesto para el laboratorio se proporcionan normas de seguridad y salud en el laboratorio, actuaciones en caso de emergencias, normas de etiquetado de sustancias químicas y equipo de seguridad contra incendios, manipulación de sustancias químicas y un diagrama de las rutas de evacuación en caso de emergencia:

#### **4.4.1. Normas generales de seguridad industrial y salud en el laboratorio**

A continuación se proporcionan normas de seguridad en el laboratorio como medidas de precaución en el momento de manipular sustancias peligrosas:

- Siempre utilizar bata, guantes, gafas de seguridad y/o mascarillas para proteger las manos, ojos, la ropa y otras partes del cuerpo según el tipo de análisis a realizar.
- Utilizar la campana de extracción siempre que se realicen operaciones que desprendan gases tóxicos o inflamables o que se esté manipulando sustancias volátiles.
- Nunca pipetear por succión directa, se deben utilizar peras de goma o de succión.
- No arrojar al lavadero sólidos que puedan obstruir desagües.
- En caso que se produzca un derrame sobre las mesas de trabajo, éste se debe neutralizar, diluir y limpiar inmediatamente de la siguiente manera:
  - Ácidos: neutralizar con bicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3$ ) o hidróxido de amonio ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) diluido y diluir con agua abundante.
  - Bases: neutralizar con ácido clorhídrico diluido ( $\text{HCl}$ ) rápidamente y diluir con agua abundante.
- El personal debe lavarse las manos antes y después de entrar al laboratorio.
- La ropa de trabajo debe estar abrochada en todo momento y no se deben utilizar mangas anchas o colgantes.
- Se debe utilizar el cabello recogido en todo momento.

- No comer, beber, fumar, hacer celebraciones o guardar alimentos y bebidas en el laboratorio, se debe de proveer de un casillero localizado afuera del laboratorio para este propósito.
- En caso que una persona utilice lentes de contacto es obligatorio el uso de gafas de seguridad.
- Antes de utilizar un producto o material, se debe de comprobar que este se encuentre en buen estado y etiquetado.
- Todas las soluciones preparadas deben estar etiquetadas correctamente y se debe prohibir la reutilización de los envases vacíos sin retirar previamente la etiqueta original.
- Utilizar encendedores piezoeléctricos cuando se requiera el uso de mecheros Bunsen.
- En caso que se requiera limpiar materia grasa y/o inorgánica, utilizar una solución de detergente.
- Para limpiar materia orgánica, utilizar disolventes orgánicos, como acetona o alcohol y enjuagar con agua; para disolver sales inorgánicas y metales, añadir HCl diluido o  $\text{HNO}_3$  al 5-10 % en caso que queden residuos.
- Mantener ordenada el área de trabajo y únicamente con los aparatos o utensilios necesarios para la labor que se está realizando. Las campanas extractoras se deben mantener siempre limpias y libres de cualquier derrame. En caso que esto ocurra, debe ser eliminado inmediatamente.
- No utilizar o limpiar cualquier fresco o cristalería con reactivos sin etiquetar.
- Al momento de manipular un tubo de ensayo, no forzarlo, y en caso que este se encuentra a una alta temperatura, se debe enfriar dejándolo apoyado en una plancha o similar.
- No mantener el mechero Bunsen cerca de los botes con los reactivos.
- Nunca calentar líquidos inflamables con un mechero.

#### **4.4.2. Actuaciones en caso de emergencia**

A continuación se describen las actuaciones que se deben tomar en caso que se presente una emergencia en el laboratorio, ya sea debido a un incendio, quemaduras térmicas, salpicaduras, ingestión, electrocución, vertidos, fuga de gases, mareos o pérdida de conocimiento debido a una fuga tóxica o persistente:

- Incendios: se debe avisar inmediatamente, evacuar el laboratorio con la mayor calma posible y cerrar todas las puertas para evitar la propagación del fuego a otras áreas. El laboratorio debe contar con extintores portátiles, adecuados a todos los posibles fuegos que se puedan generar. Se recomienda mantener mantas ignífugas, ya que son eficaces en caso de fuegos pequeños, especialmente cuando el incendio se produce en la ropa. Como alternativa a las mantas ignífugas se pueden utilizar prendas o textiles poco combustibles o previamente humedecidos. Se debe de capacitar a todo el personal en el laboratorio sobre el funcionamiento de estos equipos y practicar de forma periódica con ellos.
- Quemaduras térmicas: enfriar la zona afectada lavándola con abundante agua, y en caso se encuentre ropa pegada a la quemadura, esta no se debe quitar ni se deben romper las ampollas que se puedan formar. Tapar la parte quemada con ropa limpia y no aplicar ninguna pomada, grasa o desinfectante en la zona afectada. No se le debe suministrar bebidas ni alimentos y nunca se debe dejar solo al herido. Acudir siempre al médico, independientemente del grado de la quemadura.
- Salpicaduras: lavar con abundante agua durante 10 o 15 minutos, empleando siempre que sea necesario la ducha de seguridad. En caso

que la salpicadura se produzca en los ojos, lavar con un lavaojos durante 15 o 20 minutos. Se debe eliminar la ropa salpicada por el químico y no se debe intentar neutralizar dicho químico. Finalmente, se debe acudir al médico con la etiqueta o la ficha de seguridad del químico.

- **Ingestión:** se debe acudir inmediatamente al doctor y recopilar la información sobre la etiqueta o ficha de seguridad del químico ingerido. Dependiendo de la naturaleza del químico se debe neutralizar o evitar que el organismo absorba dicho químico. Por ejemplo, en caso de haber ingerido una solución ácida, beber solución de bicarbonato; en caso de una solución base, tomar bebidas ácidas como los refrescos de cola. Nunca se debe provocar el vómito al menos que el médico lo indique.
- **Electrocución:** en caso que se produzca una electrocución, se debe cortar inmediatamente la fuente eléctrica del aparato causante de la electrocución antes de poder acercarse a la víctima y retirarla. Se debe practicar una reanimación cardiopulmonar solo si es necesario y esta debe ser realizada por personal calificado. No suministrar productos, alimentos o bebidas para activar la respiración.
- **Vertidos:** para vertidos gaseosos se debe abrir todas las ventanas y encender todas las campanas extractoras con las pantallas completamente abiertas. Asimismo, se debe cerrar todos los aparatos con llama. En caso de vertidos de gran magnitud, evacuar el laboratorio y dar aviso. Ninguna persona debe entrar al laboratorio hasta asegurarse que la concentración del vertido gaseoso no presenta riesgo alguno. En caso de vertidos de productos líquidos, estos se deben neutralizar, absorber y eliminar inmediatamente de la siguiente manera:

- Líquidos inflamables: deben absorberse con carbón activado u otros absorbentes específicos.
- Ácidos: eliminar inmediatamente debido a que el desprendimiento de gases que producen y su contacto directo causa daño tanto a las personas como a los equipos y a las instalaciones. Para la neutralización se puede utilizar un equipo básico de neutralizadores, ya que estos contienen agentes específicos para ácidos, bases, disolventes orgánicos y mercurio. En caso de no contar con este equipo, se puede neutralizar con bicarbonato sódico y, posteriormente, lavar con abundante agua y detergente.
- Bases: se pueden utilizar también los equipos básicos neutralizadores. En su ausencia, neutralizar con abundante agua a pH ligeramente ácido y lavar con abundante agua y detergente.
- En el caso de otros líquidos no inflamables ni tóxicos ni corrosivos, estos se pueden absorber con aserrín.
- Mercurio: absorber con polisulfuro cálcico, azufre o amalgamantes.
- Fuga de gases: se debe cerrar los grifos de los recipientes conectados a los mismos y proceder según lo indicado en el inciso de vertidos. Si la fuga de gas se produce en un recipiente y el gas no está encendido, se debe proceder a lo siguiente:
  - Aproximarse al recipiente con la fuga, siempre con el viento a favor.
  - Si es posible, cerrar el grifo.

- Si la fuga es de un gas no inerte o distinto al oxígeno, avisar inmediatamente a los bomberos.
- Trasladar el recipiente a un espacio abierto, utilizando el equipo de protección adecuado y señalizar las zonas afectadas para impedir el acceso a las mismas.
- Vaciar totalmente el recipiente una vez este se encuentre en el exterior donde no produzca daño a las personas y las instalaciones.

Si la fuga de gas se produce en un recipiente y el gas está encendido, proceder con lo siguiente:

- Cerrar el grifo si es posible.
  - Utilizar un extintor, preferiblemente de polvo.
  - Debido a la fuga del gas, se debe proceder con las indicaciones del inciso de vertidos.
  - En caso de una fuga de gran magnitud o de un gas altamente peligroso, avisar inmediatamente a los bomberos.
- 
- Mareos o pérdida de conocimiento debido a una fuga tóxica persistente: verificar que es seguro acercarse a la persona que perdió el conocimiento debido a la fuga de gas. También debe comprobarse la concentración del oxígeno presente.
  - En caso de intoxicación, utilizar un equipo de protección respiratorio adecuado al gas contaminante. Siempre debe permanecer una persona fuera del lugar donde ocurrió la fuga de gas en caso que la persona que realice el auxilio pierda el conocimiento.
  - Trasladar al afectado a un lugar seguro y realizar lo siguiente:

- Recostar al afectado sobre el lado izquierdo (posición de seguridad).
- Aflojar toda prenda que pueda oprimirlo.
- Verificar su respiración, el pulso y si se encuentra consciente.
- En caso de ser necesario, practicar la reanimación cardiopulmonar (siempre por personal cualificado).
- No se debe proporcionar ningún tipo de alimento, bebida o producto para la activación respiratoria.

#### **4.4.3. Manipulación de las sustancias químicas**

Las sustancias químicas peligrosas son aquellas que pueden dañar directa o indirectamente a las personas, las instalaciones, objetos o el medio ambiente.

Si no se generan las condiciones apropiadas o se manipulan incorrectamente, las sustancias químicas pueden potenciar su peligrosidad, por lo que a continuación se presenta la forma en que son clasificadas según su nivel de peligrosidad. Asimismo, se enlistan los compuestos que reaccionan fuertemente con el agua y que pueden generar gases tóxicos, se describen las reacciones peligrosas entre ácidos y la incompatibilidad entre sustancias. Según su nivel de peligrosidad, las sustancias químicas pueden ser:

- Explosivas: sustancias muy sensibles a los choques y roces y que pueden detonar por el efecto de una llama o del calor.
- Comburentes: sustancias que en contacto con otras sustancias, particularmente con los inflamables, originan una reacción fuertemente exotérmica.

- Inflamables: sustancias cuyo punto de ignición es bajo. En función de su nivel inflamabilidad, estas sustancias se pueden clasificar en: Extremadamente Inflamables, fácilmente Inflamables e inflamables.
- Tóxicas: sustancias que por inhalación, ingestión o penetración cutánea pueden alterar la salud de las personas y se clasifican en: muy tóxicas, tóxicas y nocivas.
- Corrosivas: sustancias que pueden destruir a un tejido vivo al estar en contacto con el mismo.
- Irritantes: sustancias que por contacto inmediato, prolongado o repetido con la piel o las mucosas provocan una reacción inflamatoria.
- Peligrosas para el medio ambiente: sustancias que, al estar en contacto con el medio ambiente, son un peligro inmediato o futuro para el mismo.
- Cancerígenas: sustancias que, por inhalación o penetración cutánea, pueden producir cáncer o aumentar su frecuencia.
- Teratogénicas: sustancias que, por inhalación, ingestión o penetración cutánea, pueden producir alteraciones en el feto durante su desarrollo intrauterino.
- Mutagénicas: sustancias que, por inhalación, ingestión o penetración cutánea, pueden producir defectos genéticos hereditarios o aumentar su frecuencia.

- Alergénicas: sustancias que, por inhalación o penetración cutánea, pueden ocasionar una reacción en el sistema inmunitario causando efectos negativos característicos.

A continuación se presentan los compuestos que reaccionan fuertemente con el agua y que generan gases dañinos para la salud:

- Ácidos fuertes anhidros
- Alquilmetales y metaloides
- Amiduros
- Anhídridos
- Carburos
- Flúor
- Halogenuros de ácido y de acilo
- Halogenuros inorgánicos anhídridos (excepto alcalinos)
- Hidróxidos alcalinos
- Hidruros
- Imiduros y siliciuros
- Metales alcalinos
- Óxidos alcalinos
- Peróxidos inorgánicos
- Fosfuros
- Calcio y magnesio

Tabla XV. **Reacciones peligrosas de los ácidos**

Reactivo	Reactivo	Se desprende
Ácido sulfúrico	Ácido fórmico Ácido oxálico Alcohol etílico Bromuro sódico Cianuro sódico Sulfocianuro sódico Ioduro de hidrógeno Algunos metales	Monóxido de carbono Monóxido de carbono Etano Bromo y dióxido de azufre Monóxido de carbono Sulfuro de carbonilo Sulfuro de hidrógeno Dióxido de azufre
Ácido nítrico	Algunos metales	Dióxido de nitrógeno
Ácido clorhídrico	Sulfuros Hipocloritos Cianuros	Sulfuro de hidrógeno Cloro Cianuro de hidrógeno

Fuente: Serina. [https://www.serina.es/empresas/cede\\_muestra/312/TEMA%20MUESTRA.pdf](https://www.serina.es/empresas/cede_muestra/312/TEMA%20MUESTRA.pdf). Consulta: abril de 2015.

Tabla XVI. **Sustancias incompatibles de elevada afinidad**

Oxidantes con:	Nitratos, halogenados, óxidos, peróxidos, flúor
Reductores con:	Materias inflamables, carburos, nitruros, hidruros, sulfuros, alquimetales, aluminio, magnesio y circonio en polvo
Ácidos fuertes con:	Bases fuertes
Ácido sulfúrico con:	Azúcar, celulosa, ácido perclórico, permanganato potásico, cloratos, sulfocianuros

Fuente: Serina. [https://www.serina.es/empresas/cede\\_muestra/312/TEMA%20MUESTRA.pdf](https://www.serina.es/empresas/cede_muestra/312/TEMA%20MUESTRA.pdf). Consulta: abril de 2015.

#### **4.4.4. Normas de etiquetado de sustancias químicas y equipo de seguridad y contra incendios**

La etiqueta es la primera información que permite identificar el producto en el momento de su utilización, por lo que todo producto químico debe etiquetarse correctamente con el objetivo de evitar dañar directa o indirectamente a personas o materiales. Debe ser legible, visible y leerse en forma horizontal cuando el recipiente está en reposo. Además, debe contener:

- Nombre del producto o solución con su fórmula.
- Concentración en porcentaje peso, volumen, entre otros.
- Nombre, dirección y teléfono del fabricante.
- Número de referencia y lote.
- Pictogramas de cualidades del producto (tóxico, inflamable, corrosivo, entre otros).
- Riesgos específicos del producto (frases R).
- Consejos de prudencia (frases S).
- Otras informaciones: densidad, peso molecular, porcentaje de impurezas, punto de fusión o ebullición.

A continuación se muestra un ejemplo de la etiqueta de un producto químico:

Figura 93. **Etiquetas de productos químicos**

NOMBRE, TELÉFONO Y DIRECCIÓN DEL FABRICANTE Y DISTRIBUIDOR	
<b>NOMBRE DE LA SUSTANCIA</b> <b>No. CASO</b> %	
FRASES R (Riesgos específicos)	FRASES S (Consejos para prudencia)
 	

Fuente: OMS. <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsala/fulltext/procedimiento/procedi-01.pdf>.

Consulta: julio de 2015.

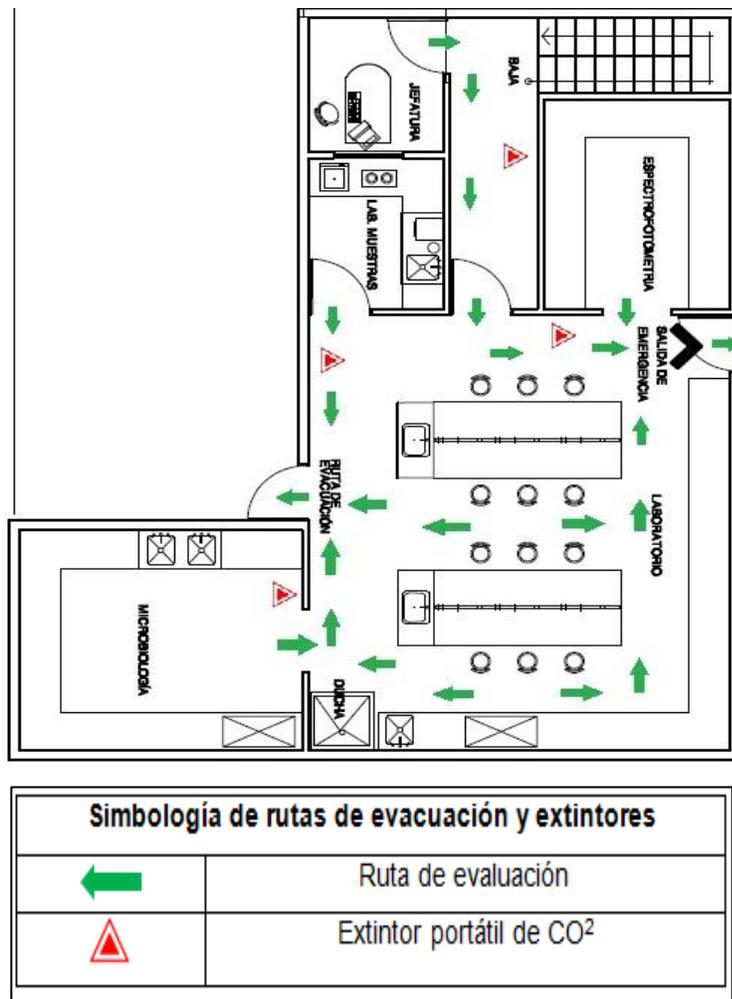
Además de la etiqueta, todos los químicos del laboratorio deberán contar con la ficha de seguridad y siempre deben estar disponibles en caso de cualquier emergencia. Esta ficha de seguridad debe contener la siguiente información:

- Identificación de la sustancia y el proveedor.
- Composición/ información sobre los componentes.
- Identificación de los peligros y primeros auxilios.
- Medidas de lucha contra incendios.
- Medidas que deben tomarse en caso de vertido accidental.
- Manipulación y almacenamiento.
- Control de exposición/protección individual.
- Propiedades físicas y químicas.
- Estabilidad y reactividad, informaciones toxicológicas y ecológicas.
- Consideraciones relativas a la eliminación.
- Informaciones relativas al transporte y reglamentarias.

#### 4.4.5. Rutas de evacuación

El siguiente es un plano de las rutas de evacuación a tomar ante una emergencia. Se muestran también los puntos de ubicación de los extinguidores.

Figura 94. Plano de rutas de evacuación



Fuente: elaboración propia, utilizando el programa AutoCAD.

#### **4.5. Metodología de muestreo y preservación de muestras de lodos y aguas residuales**

El correcto procedimiento para la toma y preservación de muestras de aguas y lodos residuales es fundamental para la obtención de datos válidos y debe cumplir con las siguientes condiciones y lineamientos:

- Representatividad del cuerpo de agua o descarga de agua a evaluar.
- Mínima variación de las características del agua desde su origen hasta su análisis.
- Para los parámetros que necesiten refrigeración de 4 °C se puede utilizar una hielera o hielo sintético, a fin de evitar la contaminación cruzada.
- No se debe lavar el recipiente utilizado para obtener las muestras de análisis de aceite y grasas.
- Lavar dos o tres veces los recipientes cuyas muestras no utilicen preservantes.
- Para las muestras que necesiten preservantes se debe tomar esta sin rebalsar para evitar pérdidas del preservante, el cual se debe añadir inicialmente al envase de la muestra.
- Los parámetros que deben ser evaluados en el punto de muestreo, es decir, *in situ*, son el pH, temperatura, oxígeno disuelto y cloro residual.

- Todo recipiente debe estar identificado utilizando etiquetas que soporten el remojo, secado y congelación sin desprenderse ni volverse ilegibles y con la siguiente información:
  - Fecha, hora y sitio del muestreo.
  - Número de muestra.
  - Descripción y disposición de la muestra.
  - Nombre del personal que realiza el muestreo.
  - Tipo de preservación utilizado.
  - Tipo de almacenamiento de la muestra empleado/requerido.
  - Cualquier información sobre la integridad y manipulación de la muestra.
  
- Para minimizar el riesgo de fragmentación de los recipientes en caso que ocurra una explosión, estos se deben de envolver con cinta adhesiva a prueba de agua.
  
- La toma de la muestra se debe de realizar utilizando respiradores, gafas de seguridad y guantes protectores adecuados.

Dependiendo del parámetro que se desee analizar, algunas muestras, además de la refrigeración a 4 °C, requieren de preservantes químicos para que su composición no se vea afectada durante el traslado al laboratorio. La siguiente tabla muestra los lineamientos a seguir para la toma y preservación de muestras de aguas y lodos residuales según los parámetros seleccionados:

Tabla XVII. **Lineamientos especiales para la toma y preservación de muestras de aguas residuales**

<b>Determinación</b>	<b>Envase</b>	<b>Tamaño mínimo de la muestra (ml)</b>	<b>Conservación</b>	<b>Tiempo máximo de conservación recomendado/ obligado</b>
Aceite y grasas	Vidrio, calibrado, de boca ancha	1.000	Añadir H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hasta pH <2, refrigerar	28 días/ 28 días
Acidez	Plástico/ Vidrio (B)	100	Refrigerar	24 horas/14 días
Alcalinidad	Plástico/ Vidrio	200	Refrigerar	24 horas/14 días
DBO	Plástico/ Vidrio	1.000	Refrigerar	6 horas/48 horas
DQO	Plástico/ Vidrio	100	Acidificar a pH < 2,0 con ácido sulfúrico y refrigerar	28 días
Cianuro Total	Plástico/ Vidrio	500	Añadir NaOH hasta pH>12, refrigerar en oscuridad	24 horas /14 días; 24 horas si hay sulfuro
Cloruro	Plástico/ Vidrio	100	No necesarios	No indicado
Color	Plástico/ Vidrio	500	Refrigerar	48 horas / 48 horas
Dureza	Plástico/ Vidrio	100	Añadir HNO <sub>3</sub> hasta pH<2	6 meses/ 6 meses
Fosfatos	Vidrio (A)	100	Para fosfato disuelto, filtrar inmediatamente, refrigerar	48 horas

Continuación de tabla XVII.

Metales, en general	Plástico (A)/ Vidrio (A)	-	Metales disueltos, filtrar inmediatamente, añadir HNO <sub>3</sub> , hasta pH<2	6 meses/ 6 meses
Cromo VI Cobre por colorimetría*	Plástico (A)/ Vidrio (A)	300	Refrigerar	24 horas / 24 horas
Mercurio	Plástico (A)/ Vidrio (A)	500	Añadir HNO <sub>3</sub> hasta pH<2, refrigerar a 4 °C	28 días / 28 días
Nitrógeno orgánico, Kjeldahl	Plástico/ Vidrio	500	Refrigerar, añadir H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hasta pH<2	7 días / 28 días
pH	Plástico/ Vidrio	-	Analizar inmediatamente	2 horas /inmediato
Sólidos	Plástico/ Vidrio	-	Refrigerar	7 días / 2-7 días
Temperatura	Plástico/ Vidrio	-	Analizar inmediatamente	Inmediato/ inmediato
Turbidez	Plástico/ Vidrio	-	Analizar el mismo día; guardar en oscuridad hasta 24 horas, refrigerar	24 horas / 48 horas
Análisis microbiológico	Vidrio, previamente esterilizados	100	Analizar antes de una hora de tomada la muestra Si la muestra no es analizada antes de 1 hora, refrigerar a menos de 10 °C	1 hora/ 1 hora  8 horas/ 8 horas
<b>Nota:</b> Refrigerar = conservar a 4 °C, en la oscuridad. Plástico = Plástico polietileno o equivalente; Plástico (A) o Vidrio (A) = lavado con 1 + 1 HNO <sub>3</sub> ; Vidrio (B) = vidrio de borosilicato.				

Fuente: APHA, AWWA, WPCF. *Standard Methods for the examination of water and wastewater.*

p. 1-42, 1-43 y 1-44.

Tabla XVIII. **Lineamientos especiales para la toma y preservación de muestras de lodos residuales**

<b>Análisis o ensayo</b>	<b>Recipiente</b>	<b>Preservación</b>	<b>Condiciones de almacenamiento</b>	<b>Duración del almacenamiento</b>
pH	Dispositivo de muestreo	Húmeda, sin perturbaciones	Se determinan en el campo	Ninguna
Metales	Polietileno	Refrigerar	2 °C a 5 °C, hermeticidad, oscuridad	1 mes
	Polietileno	Congelar	≤ -20 °C, oscuridad, hermeticidad	6 meses
	Polietileno/ vidrio	Secar (60 °C)	Temperatura ambiente, oscuridad, hermeticidad	6 meses
Mercurio	Vidrio/ PTFE	Refrigerar	2 °C a 5 °C, hermeticidad, oscuridad	8 días
		Congelar	≤ -20 °C, oscuridad, hermeticidad	1 mes
Ensayos ecotoxicológicos	Polietileno/ vidrio	Refrigerar	2 °C a 5 °C, hermeticidad, oscuridad	14 días
Examen bacteriológico	Vidrio estéril	Refrigerar	2 °C a 5 °C, hermeticidad, oscuridad	6 horas
Actividad microbiana	Vidrio estéril	Ninguna	Ninguna	Ninguna

Fuente: ICONTEC. *Norma Técnica Colombiana. Calidad del agua. Muestreo. Parte 15. Guía para la preservación y manejo de muestras de lodos y sedimentos, NTC-ISO 5667-15. p. 6-7.*



## 5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de aguas y lodos residuales deben cumplir con lo estipulado en la normativa nacional, Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 *Reglamento de las descargas y reuso de las aguas residuales y de la disposición de lodos*, por lo que se seleccionaron todos los análisis indicados en dicho acuerdo.

En cuanto a los análisis CRETIB, estos se seleccionaron en base a las condiciones del laboratorio, la accesibilidad y disponibilidad de los equipos necesarios, siendo estos: análisis de corrosividad, reactividad, toxicidad, inflamabilidad y biológico infeccioso, los cuales cumplen con la normativa mexicana NOM-052-SEMARNAT-1993.

Estos análisis proporcionarán una mejor caracterización de la peligrosidad del ente en estudio (agua o lodos residuales), lo cual asegurará que el agua descargada posterior a su tratamiento no cause un impacto ambiental o social, ya que se analizará su nivel de toxicidad. Los análisis biológicos infecciosos seleccionados permitirán la determinación de los coliformes fecales y totales estipulados en la normativa nacional. Los análisis CRETIB propuestos proporcionarán un valor agregado al laboratorio, ya que actualmente no se evidenció de un laboratorio que realice análisis de toxicidad.

Luego de la implementación del laboratorio, se debe de identificar la cristalería volumétrica y el equipo crítico por calidad con el objetivo de crear un plan de calibración y verificación de los mismos, lo cual proporcionará resultados confiables.

Se presentan además los planos del flujo del proceso de análisis de muestras, plano de distribución del mobiliario, equipo y sistemas auxiliares del laboratorio, así como especificaciones recomendadas para el piso, techo, instalación eléctrica, iluminación, ventilación y aire acondicionado con el objetivo de proporcionar a los colaboradores las condiciones ergonómicas adecuadas. Asimismo, los análisis se realizarán bajo condiciones controladas que no afecten los resultados de los análisis.

En cuanto al plan de seguridad industrial propuesto, este proporciona la normativa básica y las actuaciones en caso de emergencia con la que debe de contar todo laboratorio para resguardar la vida de los colaboradores que laborarán dentro del mismo. Con el plan propuesto se mantendrán bajo control los reactivos peligrosos utilizados para los análisis, ya que proporciona indicaciones sobre la manipulación de las sustancias químicas y el correcto etiquetado de las mismas. Se presenta también un diagrama de las rutas de evacuación en caso de emergencias.

Finalmente, se proporciona la metodología de muestreo y condiciones de preservación que las muestras de lodos y aguas residuales deben cumplir para obtener una muestra representativa del cuerpo de agua o descarga de agua a evaluar, y que además proporcione datos verídicos y confiables. Se indican también los parámetros que deben de ser evaluados *in situ*, ya que su transporte al laboratorio puede afectar la confiabilidad de los resultados.

## CONCLUSIONES

1. Se diseñó un laboratorio de análisis de aguas residuales y lodos domiciliarios e industriales para una empresa de asesoría en diseño de plantas de aguas residuales, recolección y tratamiento de lodos según los criterios de especificaciones técnicas del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) de España, las consideraciones ambientales para laboratorios de ensayo ISA-RP52.1-1975, los análisis establecidos en el Acuerdo Gubernativo 236-2006 de la Ley Guatemalteca y los análisis CRETIB de la Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-1993.
2. Los análisis y metodologías para la determinación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos seleccionados cumplen con el Acuerdo Gubernativo 236-2006 de la Ley Guatemalteca y el *Standard Methods for the examination of water and wastewater* y los análisis CRETIB establecidos para la determinación de la corrosividad, reactividad, toxicidad, inflamabilidad y la característica biológica infecciosa cumplen con la norma mexicana NOM-052-SEMARNAT-1993.
3. Los reactivos, equipo y cristalería determinada para cada análisis de requerimiento nacional se seleccionó según el *Standard Methods for the examination of water and wastewater*.

4. Los planos de distribución del mobiliario, equipo y sistemas auxiliares del laboratorio se realizaron de acuerdo al área disponible, al flujo de la realización de los análisis, a la cantidad de equipos necesarios y tomando en cuenta criterios de seguridad industrial como rutas de evacuación.
5. El plan de seguridad industrial propuesto brindará la base para la precaución que se debe tener en un laboratorio para resguardar la vida de los analistas que se encuentren dentro de las instalaciones.
6. La metodología de muestreo y preservación de muestras de lodos y aguas residuales cumple con Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 5667-15 y el *Standard Methods for the examination of water and wastewater*.

## RECOMENDACIONES

1. En próximos estudios considerar las especificaciones técnicas del último *Reglamento de Salud y Seguridad Ocupacional* del Ministerio de Trabajo y Previsión Social, Acuerdo Gubernativo 229-2014.
2. Para fines de implementación, dar prioridad a la inversión de la compra de la cristalería, reactivos y equipos que se utilizarán para la realización de los análisis que cumplen con la normativa nacional y posteriormente con la normativa extranjera.
3. Implementar un programa de calibración de equipo y cristalería volumétrica crítica por calidad para asegurarse de la obtención de resultados y datos confiables.
4. Implementar detectores de incendios y extintores como parte de la seguridad industrial del laboratorio, así como un programa de capacitación de uso de extintores y primeros auxilios.
5. Realizar un plan de simulacros de evacuación en caso de emergencias como incendios o catástrofes naturales.
6. Realizar un plan de capacitación en muestreo, control y análisis estadístico de datos, así como en metrología para el personal del laboratorio.



## BIBLIOGRAFÍA

1. APHA, AWWA, WPCF. *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. 17a ed. 1989. 588 p.
2. CARDOSO, Lina; Cecilia Tomasini, *Serie autodidáctica de medición de la calidad del agua, segunda parte: características y efectos de los residuos peligrosos*. [en línea]. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. <[http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/residuos\\_peligrosos.pdf](http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/residuos_peligrosos.pdf)>. [Consulta: julio de 2011].
3. CEDE, Laboratorio. [en línea]. <[https://www.serina.es/empresas/cede\\_muestra/312/TEMA%20MUESTRA.pdf](https://www.serina.es/empresas/cede_muestra/312/TEMA%20MUESTRA.pdf)>. [Consulta: fecha: abril de 2011].
4. CERVANTES MARTÍNEZ, Silvia Mayarí. *Evaluación de la calidad del agua potable de Guastatoya cabecera departamental, del departamento de El Progreso*. Trabajo de graduación de Licenciatura en Química Farmacéutica, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. 2004. 65 p.
5. DA CÁMARA, Lesly; HERNÁNDEZ, Mario; PAZ, Luisa Elena. *Manual de diseño para plantas de tratamiento de aguas residuales alimenticias*. [en línea]. <[http://www.frbb.utn.edu.ar/carreras/efluentes/manual\\_tratamiento.pdf](http://www.frbb.utn.edu.ar/carreras/efluentes/manual_tratamiento.pdf)>. [Consulta: fecha: mayo de 2011].

6. DÍAZ PAPA, Julio Ricardo. *Remodelación de las instalaciones del Laboratorio de Química e implantación de nuevos laboratorios de química, en la Escuela de Ingeniería Química de la USAC*. Trabajo de graduación de Ing. Químico, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 2008. 117 p.
7. ESPARZA, Luisa. *Procedimientos simplificados de análisis químicos de aguas residuales*. [en línea]. <<http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsala/fulltext/procedimiento/procedi-01.pdf>>. [Consulta: fecha: julio de 2011].
8. ESPINOSA ORANTES, Ana Lucía. *Caracterización de efluentes de un ingenio azucarero*. Trabajo de graduación de Ing. Química, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 1999. 74 p.
9. GUARDINO, Xavier. *NTP 399: seguridad en el laboratorio: actuación en caso de fugas y vertidos*. [en línea]. INSHT. <[http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTécnicas/NTP/Ficheros/301a400/ntp\\_399.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTécnicas/NTP/Ficheros/301a400/ntp_399.pdf)>. [Consulta: mayo de 2011].
10. GUARDINO, Xavier. *NTP 550: prevención de riesgos en el laboratorio: ubicación y distribución*. [en línea]. INSHT. <[http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTécnicas/NTP/Ficheros/501a600/ntp\\_550.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTécnicas/NTP/Ficheros/501a600/ntp_550.pdf)>. [Consulta: mayo de 2011].

11. GUARDINO, Xavier. *NTP 551: prevención de riesgos en el laboratorio: Importancia del diseño*. [en línea]. INSHT. <[http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/501a600/ntp\\_551.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/501a600/ntp_551.pdf)>. [Consulta: fecha: mayo de 2011].
12. ICONTEC. *Norma Técnica Colombiana. Calidad del agua. Muestreo. Parte 15. Guía para la preservación y manejo de muestras de lodos y sedimentos*, NTC-ISO 5667-15. Bogotá, ICONTEC, 2000. 23 p.
13. OCHOA LÓPEZ, Jeannette Ana Lily, *Acuerdo Gubernativo 236-2006 (Lodos) sus contingencias jurídicas y ambientales en nuestro país*. Trabajo de graduación para obtener el grado de Licenciatura en Ciencias Jurídicas y Sociales, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales. 2010. 112 p.
14. PIÉROLA KYLLMANN, Heidi Karina. *Determinación de coliformes, salmonella y helmintos en lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales, Nimajuyú I, zona 21, Guatemala*. Trabajo de graduación para obtener el grado de Licenciatura en Biología, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. 2003. 49 p.
15. RUIZ-CALDERÓN, Antonio; HERNÁNDEZ, Miguel Ángel. *Manual de seguridad y salud en laboratorios*. [en línea]. FREMAP. <<http://www.ictp.csic.es/intranet/prl/1.Manual%20Laboratorios.pdf>>. [Consulta: mayo de 2011].

16. SOTO VELÁSQUEZ, Margaret Haydeé. *Diseño del proceso e 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*. Trabajo de graduación de Ing. Químico, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. 2007. 70 p.
17. United Nations Environment Programme, *Muestreo y caracterización de aguas residuales, módulo 2*. [en línea]. <<http://www.pnuma.org/recnat/titicaca/Reportes/informes%20a%20PNUMA%20Peru%20Bolivia/paquetes%20tecnologicos/CARACTERIZACION%20AGUAS%20RESIDUALES/modulo%202%20caracterizacion.pdf>>. [Consulta: julio de 2011].
18. Universidad de Salamanca. *Manual de gestión de residuos peligrosos*. [en línea]. <[http://campus.usal.es/~retribucionesysalud/salud/calid\\_amb/manual.htm#anexo\\_1](http://campus.usal.es/~retribucionesysalud/salud/calid_amb/manual.htm#anexo_1)>. [Consulta: abril de 2011].
19. Universidad Politécnica de Valencia. *Guía de prácticas de alumnos en laboratorios con riesgos químicos*. [en línea]. <<http://www.sprl.upv.es/Guiapracalumquim.htm#anexo>>. [Consulta: abril de 2011].
20. VÁSQUEZ SALAS, Carlos. *Equipación de un laboratorio escolar*. [en línea]. <[http://www.csisif.es/andalucia/modules/mod\\_ense/revista/pdf/Numero\\_18/CARLOS\\_VAZQUEZ\\_SALAS01.pdf](http://www.csisif.es/andalucia/modules/mod_ense/revista/pdf/Numero_18/CARLOS_VAZQUEZ_SALAS01.pdf)>. [Consulta: mayo de 2011].

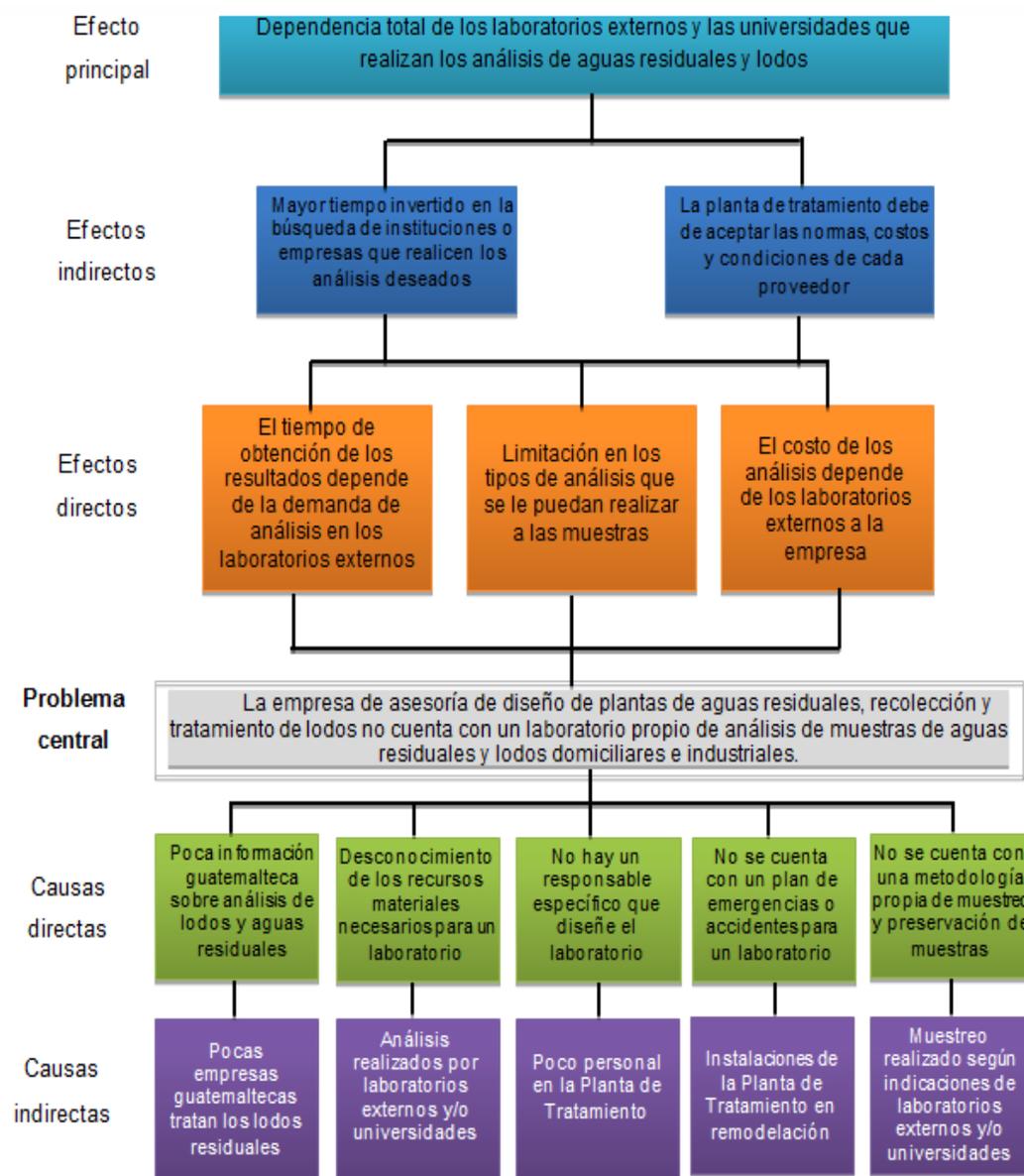
# APÉNDICES

Apéndice 1. Tabla de requisitos académicos

Carrera	Área	Tema genérico	Tema específico	Especificaciones	Problema	Temario tentativo
L I C E N C I A T U R A  E N  I N G.  Q U I M I C A	Área de Química	Química 3	Estequiometría	Unidades de	La empresa de asesoría de diseño de plantas de aguas residuales, recolección y tratamiento de lodos no cuenta con un laboratorio de análisis de muestras de aguas residuales y lodos domiciliarios e industriales.	Listado de símbolos Glosario Resumen Objetivos Introducción 1. Antecedentes 2. Marco teórico 3. Diseño metodológico 3.1 Variables 3.2 Delimitación de campo de estudio 3.3 RRHH 3.4 Materiales 3.5 Técnica cualitativa 3.6 Recolección y ordenamiento de información 3.7 Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información 4. Resultados 5. Interpretación de resultados Conclusiones Recomendaciones Bibliografía Apéndice Anexo
		Análisis cualitativo	Titulaciones	Titulaciones ácido-base Titulaciones		
		Química orgánica	Reacciones	Nomenclatura IUPAC Reacciones de compuestos orgánicos		
	Área de Físicoquímica	Laboratorio de Físicoquímica 1	Propiedades físicoquímicas	Solubilidad, Propiedades coligativas viscosidad		
	Área de Operaciones Unitarias	IQ 1 Balance de masa y energía	Diseño de diagramas de procesos químicos	Simbología de equipo y hoja de ruta		
	Área de Especialización	Microbiología	Técnicas de siembra y cultivo	Siembra y cultivo de <i>Escherichia coli</i>		
	Área de Ciencias básicas y complementarias	Técnicas complementarias	Diseño de planos	Tipo de vistas de un plano		
		Ingeniería Eléctrica 2	Planos eléctricos	Planos de luminarias y tomas de corriente		
		Ingeniería de la producción	Infraestructura	Seguridad industrial, tipos de techos, diseño y distribución		

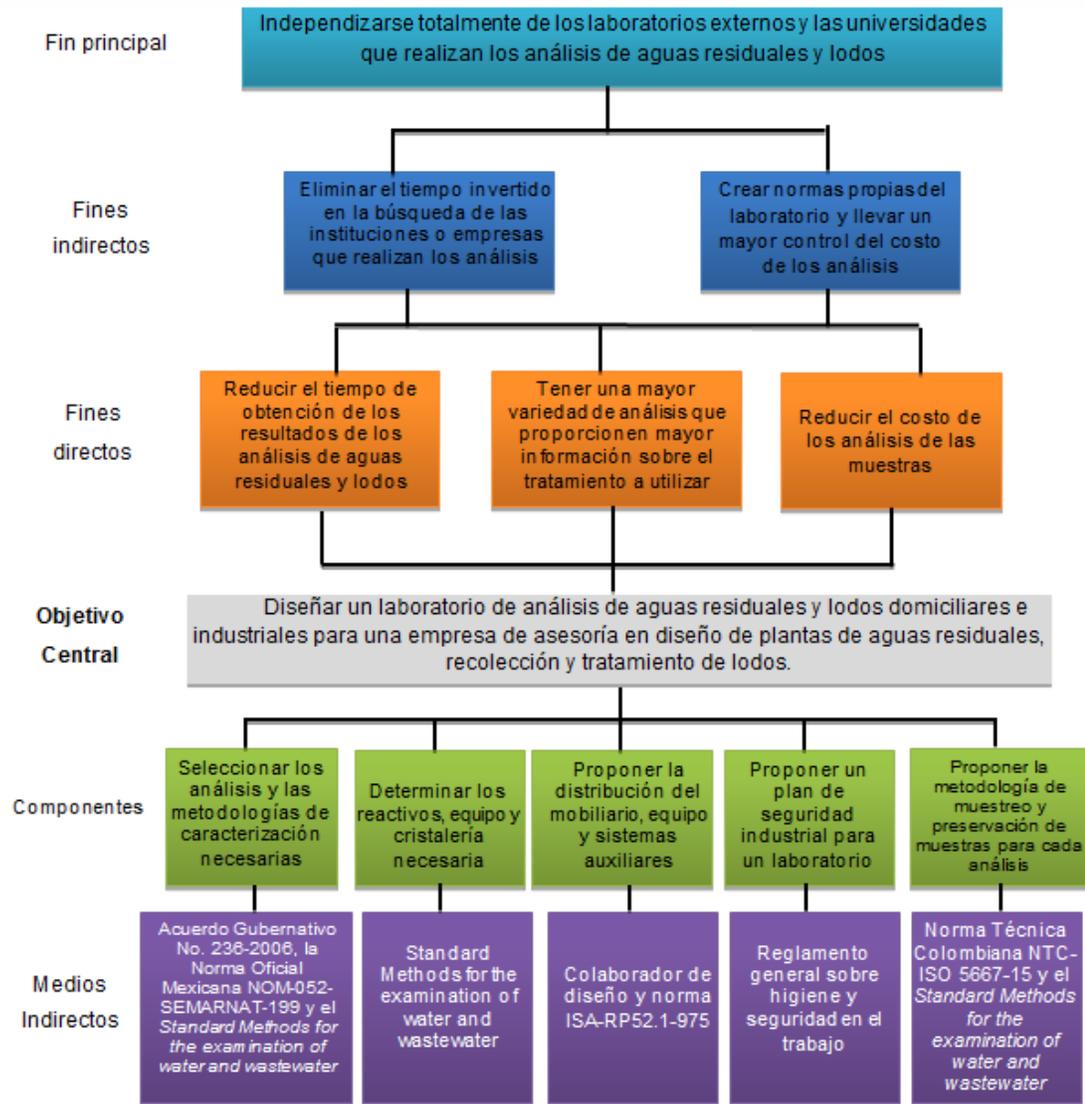
Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 2. Árbol de problemas



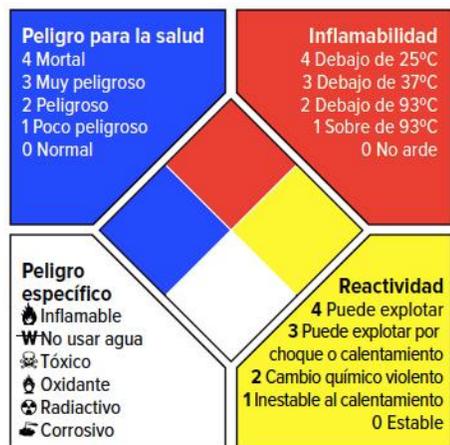
Fuente: elaboración propia.

### Apéndice 3. Árbol de objetivos



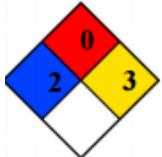
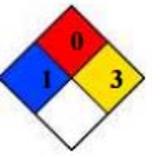
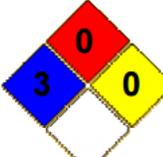
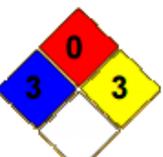
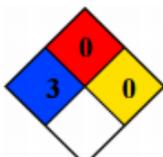
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Rombos de seguridad de los reactivos químicos utilizados en los diferentes análisis**



Reactivo	Rombo	Reactivo	Rombo
2-cloro-6-(tricloro metil) piridina		Indicador de verde de bromocresol	
Acetileno, C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>		Indicador naranja de metilo	
Acetona, CH <sub>3</sub> (CO)CH <sub>3</sub>		Lactosa	

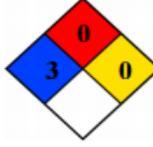
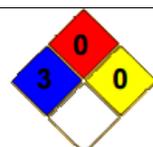
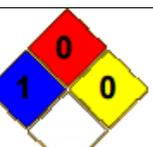
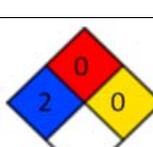
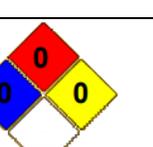
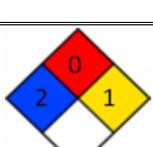
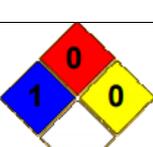
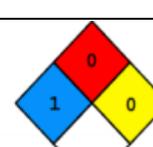
Continuación de apéndice 4.

<p>Ácido acético glacial, <math>\text{CH}_3\text{-COOH}</math></p>		<p>Molibdato amónico, <math>(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}^*</math> <math>4\text{H}_2\text{O}</math></p>	
<p>Ácido ascórbico, <math>\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6</math></p>		<p>Nitrato de amonio, <math>\text{NH}_4\text{NO}_3</math></p>	
<p>Ácido bórico, <math>\text{H}_3\text{BO}_3</math></p>		<p>Nitrato de calcio, <math>\text{Ca}(\text{NO}_3)_2</math></p>	
<p>Ácido Clorhídrico concentrado, <math>\text{HCl}</math></p>		<p>Nitrato de níquel, <math>\text{Ni}(\text{NO}_3)_3</math></p>	
<p>Ácido fosfórico, <math>\text{H}_3\text{PO}_4</math></p>		<p>Nitrato de plata, <math>\text{AgNO}_3</math></p>	
<p>Ácido nítrico, <math>\text{HNO}_3</math></p>		<p>Nitrato de plomo, <math>\text{Pb}(\text{NO}_3)_2</math></p>	
<p>Ácido sulfámico, <math>\text{H}_3\text{NSO}_3</math></p>		<p>Nitrato de potasio, <math>\text{KNO}_3</math></p>	

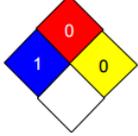
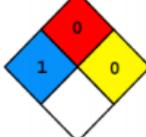
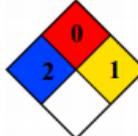
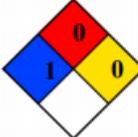
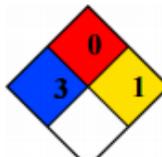
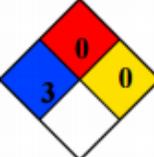
Continuación de apéndice 4.

Ácido sulfúrico, $H_2SO_4$		Oxalato de amonio	
Agua desionizada		Óxido de lantano, $La_2O_3$	
Agua destilada		Hidróxido de calcio, $Ca(OH)_2$	
Agua regia		Permanganato potásico, $KMnO_4$	
Alcohol etílico, $CH_3CH_2OH$		Peróxido de hidrógeno, $H_2O_2$	
Amoniaco concentrado, $NH_3$		Persulfato potásico, $K_2S_2O_8$	
Carbonato de calcio, $CaCO_3$		Resina quelante	

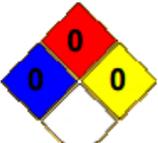
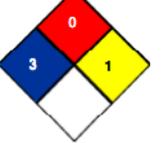
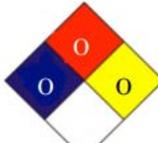
Continuación de apéndice 4.

Carbonato de sodio anhidro, $\text{Na}_2\text{CO}_3$		Safranina	
Cianuro de potasio, KCN		Indicador azul de bromofenol	
Cianuro sódico en polvo, NaCN		Solución indicadora de ácido bórico	
Cloroformo, $\text{CHCl}_3$		Solución madre de fosfato	
Cloruro de amonio, $\text{NH}_4\text{Cl}$		Solución tampón fosfato a pH 7,2	
Cloruro de calcio, $\text{CaCl}_2$		Sulfato de amonio ferroso (SAF), $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$	
Cloruro de magnesio, $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$		Sulfato de cobre (II) anhidro, $\text{CuSO}_4$	

Continuación de apéndice 4.

Cloruro de mercurio, $\text{HgCl}_2$		Sulfato de magnesio, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	
Cloruro de potasio, $\text{KCl}$		Sulfato de potasio	
Cloruro de sodio, $\text{NaCl}$		Sulfito sódico, $\text{Na}_2\text{SO}_3$	
Cloruro férrico, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$		Tiosulfato sódico, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	
Cristal violeta		Yoduro de potasio, $\text{KI}$	
Cristales de yodo		Indicador cromato de sodio, $\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{Na}$	
Dicromato de potasio, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$		Indicador de azul de metileno	

Continuación de apéndice 4.

Dióxido de carbono anhidro		Indicador de fenolftaleína	
EDTA		Indicador de negro de Eriocromo T	
Extracto de buey		Hidróxido de potasio, KOH	
Fosfato de amonio, $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$		Hidróxido de sodio, NaOH	
Hidróxido de amonio, $\text{NH}_4\text{OH}$			

Fuente: elaboración propia

