

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **ESCUELA DE INGENIERÍA**

### **DIAGNÓSTICO, CARACTERIZACIÓN Y PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE LOS LIXIVIADOS GENERADOS EN EL RELLENO SANITARIO DE LA CIUDAD DE AMBATO**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO  
AMBIENTAL**

**LUIS DAVID LÓPEZ FABARA**  
ldlopezf@gmail.com

**DIRECTOR: ING. MSC. CESAR ALFONSO NARVÁEZ RIVERA**  
cnarvaez@uio.satnet.net

**Quito, junio 2011**

## DECLARACIÓN

Yo, Luis David López Fabara, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

Luis David López Fabara

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Luis David López Fabara, bajo mi supervisión.

---

PROF. ING. CÉSAR NARVÁEZ RIVERA M.SC.  
DIRECTOR DEL PROYECTO

## **AGRADECIMIENTOS**

“Para el logro del triunfo siempre ha sido indispensable pasar por la senda de los sacrificios”. Simón Bolívar.

Al finalizar mi carrera universitaria quiero extender mis más sinceros agradecimientos:

A Dios, quien en la naturaleza ha plasmado su huella divina, y me ha enseñado a ser generoso, a servir, a dar sin medida, a combatir sin temor a las heridas, a trabajar sin descanso, y a no esperar más recompensa que la de saber que hago su voluntad.

A mis Padres (Héctor Marcelo y Nancy Ellen), quienes han sido mi ejemplo y mi rumbo recto a seguir, les debo mi existencia, pues han sabido ayudarme a encontrar la fortaleza del viejo roble, la alegría de la naturaleza, la libertad del ave para elegir mi camino, y la voluntad del caminante para continuar siempre adelante y servir.

A mis hermanos (Héctor Andrés y Carmen Elena), compañeros de toda la vida y verdaderos amigos, siempre serán un apoyo para el buen vivir, con su corazón vigilante, noble, firme, fuerte y generoso para servir.

A mi Alma Mater, la Escuela Politécnica Nacional, que gracias a su prestigio de exigencia, calidad y comprometimiento de aplicar la ciencia y la tecnología, para el bienestar de los hombres, ha forjado en mi persona, un ciudadano responsable, comprometido por el desarrollo del País, teniendo en cuenta el factor ambiental.

También debo reconocer, y extenderles un sincero agradecimiento a todas las personas que fueron un aliciente para la realización y cumplimiento de mi proyecto

de titulación, con el cual se trata de dejar un granito de arena para construir un mundo mejor:

Al Ing. César Narváez, quién con su formación, conocimiento y experiencia, fue el fulcro para que la investigación realizada fuese posible; y que siempre estuvo alerta y presto para extender su ayuda incondicional al desarrollo de mi proyecto de titulación.

Al Ing. Trajano Ramírez, por compartir con sus experiencias de ámbito profesional en el acometimiento de mi proyecto de titulación, y por la apertura prestada y ser guía de los diferentes análisis realizados en el Laboratorio de Aguas y Microbiología que acertadamente dirige.

Al Ing. Luis Carrera y al Ing. Marcelo Muñoz, por apoyar el desarrollo de este proyecto.

Al Ing. Fernando Bucheli, ambateño de corazón rojo y negro, por ser un excelente profesional al servicio de la formación de nuevos profesionales, que a su momento supo compartir su colección bibliográfica para el desarrollo de este proyecto.

Al Ing. Javier Acurio, funcionario del Municipio de Ambato, quien con su visión y comprometimiento de mejorar la calidad de vida de los ambateños, fue una ayuda más, para el cumplimiento de este proyecto.

A mis compañeros y amigos de la carrera: María De La Paz, Mario, Darwin, Nelly, Vielka, Juan, Isaac, Carlos y Felipe, por todos los momentos compartidos y todo lo aprendido, un reconocimiento especial para Nicole y Rodrigo quienes siempre estuvieron presentes extendiendo su mano amiga, directamente en el desarrollo de mi proyecto de titulación.

S.L.P.S. ¡Misión Cumplida! ☺

## DEDICATORIA

A todas las personas comprometidas por dejar al mundo en mejores condiciones de las que lo encontramos.

“Nuestra vida no tiene sentido sin amor, justicia y paz.

Ni el dinero, el placer o la fama hacen la felicidad.

Nunca te quedes a la deriva, lucha en la vida si tú quieres triunfar.

Rema tu propia canoa, hermano, siempre adelante la meta alcanzarás”.

B.P.

## CONTENIDO

### ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN-----	II
CERTIFICACIÓN -----	III
AGRADECIMIENTOS -----	IV
DEDICATORIA -----	VI
ÍNDICE GENERAL -----	VII
ÍNDICE DE TABLAS-----	X
ÍNDICE DE GRÁFICOS-----	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS -----	XV
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS-----	XVI
RESUMEN-----	XVII
PRESENTACIÓN -----	XIX
GLOSARIO DE TÉRMINOS -----	XXI
<b>CAPÍTULO 1. -----</b>	<b>1</b>
<b>ASPECTOS GENERALES-----</b>	<b>1</b>
1.1 INTRODUCCIÓN -----	1
1.2 OBJETIVOS -----	6
1.2.1 OBJETIVO GENERAL -----	6
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS -----	6
1.3 ALCANCE-----	6
<b>CAPÍTULO 2. -----</b>	<b>8</b>
<b>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA-----</b>	<b>8</b>
2.1 FORMACIÓN DE LIXIVIADOS-----	8
2.1.1 GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS-----	10
2.1.2 TRANSFORMACIONES FÍSICAS, QUÍMICAS, Y BIOLÓGICAS DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS -----	18
2.1.3 REACCIONES QUE OCURREN EN EL RELLENO SANITARIO. -----	19
2.2 COMPOSICIÓN DE LOS LIXIVIADOS -----	22
2.3 TRATAMIENTOS MÁS COMUNES PARA LOS LIXIVIADOS-----	26
<b>CAPÍTULO 3. -----</b>	<b>31</b>

<b>CARACTERÍSTICAS DEL RELLENO SANITARIO Y DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS</b> -----	<b>31</b>
<b>3.1 DESCRIPCIÓN DEL CANTÓN DE AMBATO</b> -----	<b>31</b>
3.1.1 <i>CLIMA</i> -----	32
3.1.2 <i>HIDROLOGÍA</i> -----	33
3.1.3 <i>MORFOLOGÍA DE LA ZONA</i> -----	36
3.1.4 <i>USO ACTUAL Y POTENCIAL DEL SUELO</i> -----	36
3.1.5 <i>POBLACIÓN</i> -----	37
3.1.6 <i>PROBLEMÁTICAS AMBIENTALES DE LA CIUDAD DE AMBATO</i> --	37
<b>3.2 GESTIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN EL CANTÓN AMBATO</b> ---	<b>39</b>
3.2.1 <i>OPERACIÓN DEL RELLENO SANITARIO</i> -----	39
3.2.2 <i>SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE DESECHOS</i> -----	41
3.2.3 <i>DISPOSICIÓN DE DESECHOS</i> -----	42
3.2.4 <i>CANTIDAD Y COMPOSICIÓN DE DESECHOS</i> -----	47
<b>3.3 TRATAMIENTO ACTUAL A LOS LIXIVIADOS GENERADOS</b> -----	<b>48</b>
3.3.1 <i>DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO</i> -----	48
<b>CAPÍTULO 4.</b> -----	<b>62</b>
<b>MUESTREO DE LIXIVIADOS, RELACIÓN CON EL TIPO DE DESECHOS Y PROPUESTA DE TRATAMIENTO</b> -----	<b>62</b>
<b>4.1 PROCEDIMIENTO DEL MUESTREO DE LÍQUIDOS LIXIVIADOS</b> -----	<b>62</b>
4.1.1 <b>GENERALIDADES</b> -----	62
4.1.2 <i>PROCEDIMIENTO Y SITIO DE MUESTREO</i> -----	63
<b>4.2 PERÍODO Y FRECUENCIA DEL MUESTREO</b> -----	<b>64</b>
4.2.1 <i>PERÍODO DEL MUESTREO</i> -----	64
4.2.2 <i>FRECUENCIA DE MUESTREO</i> -----	66
<b>4.3 PARÁMETROS A DETERMINARSE EN EL LABORATORIO Y PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS.</b> -----	<b>67</b>
4.3.1 <i>INDICADORES DE CONTAMINACIÓN DE LÍQUIDOS LIXIVIADOS</i> 67	67
4.3.2 <i>GRUPOS DE INDICADORES UTILIZADOS</i> -----	71
4.3.3 <i>ANÁLISIS DE LOS INDICADORES MUESTREADOS</i> -----	77
<b>4.4 EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE LÍQUIDOS LIXIVIADOS</b> ---	<b>104</b>
4.4.1 <b>CANTIDAD DE LIXIVIADOS EN DEPENDENCIA DE LA TÉCNICA DE OPERACIÓN</b> -----	<b>104</b>
4.4.2 <b>MÉTODO SUIZO PARA ESTIMAR LA CANTIDAD DE LIXIVIADOS GENERADOS</b> -----	<b>106</b>
4.4.3 <b>BALANCE HÍDRICO</b> -----	<b>107</b>
<b>4.5 ANÁLISIS DE EFICIENCIA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS</b> -----	<b>120</b>



<b>4.6</b>	<b>PROPUESTA DE ALTERNATIVAS PARA LA MEJORA DEL TRATAMIENTO ACTUAL</b> -----	<b>123</b>
<b>4.7</b>	<b>PROPUESTA DE TRATAMIENTO</b> -----	<b>127</b>
<b>4.7.1</b>	<b>TRATAMIENTO PRELIMINAR</b> -----	<b>127</b>
<b>4.7.2</b>	<b>TRATAMIENTO PRIMARIO</b> -----	<b>137</b>
<b>4.7.3</b>	<b>TRATAMIENTO SECUNDARIO</b> -----	<b>146</b>
<b>4.8</b>	<b>PROPUESTA DE TRATAMIENTO NO CONVENCIONAL</b> -----	<b>148</b>
<b>4.8.1</b>	<b>ELECTROCOAGULACIÓN</b> -----	<b>148</b>
<b>4.8.2</b>	<b>DISEÑO</b> -----	<b>149</b>
<b>4.8.3</b>	<b>PRUEBA EXPERIMENTAL DE ELECTROCOAGULACIÓN</b> -----	<b>150</b>
<b>4.9</b>	<b>ANÁLISIS DE COSTOS</b> -----	<b>152</b>
	<b>CAPÍTULO 5.</b> -----	<b>154</b>
	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> -----	<b>154</b>
<b>5.1</b>	<b>CARGA CONTAMINANTE DE LOS LÍQUIDOS PERCOLADOS, EN FUNCIÓN DE LOS INDICADORES OBTENIDOS EN LA FASE DE MUESTREO</b> 155	
<b>5.1.1</b>	<b>CÁLCULO DE LA CARGA CONTAMINANTE</b> -----	<b>156</b>
<b>5.2</b>	<b>DISCUSIÓN DE LOS DIFERENTES INDICADORES UTILIZADOS EN LA CARACTERIZACIÓN DE LOS LÍQUIDOS LIXIVIADOS</b> -----	<b>158</b>
<b>5.2.1</b>	<b>INDICADORES FÍSICOS</b> -----	<b>159</b>
<b>5.2.2</b>	<b>INDICADORES QUÍMICOS</b> -----	<b>162</b>
<b>5.2.3</b>	<b>INDICADORES BIOLÓGICOS</b> -----	<b>173</b>
<b>5.2.4</b>	<b>RELACIÓN DE CONTAMINANTES NO DEGRADABLES, Y RESIDUOS</b> 174	
<b>5.2.5</b>	<b>INDUSTRIALES ESPECÍFICOS</b> -----	<b>175</b>
<b>5.2.6</b>	<b>ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN DE LÍQUIDOS PERCOLADOS</b> ---	<b>177</b>
	<b>CAPÍTULO 6.</b> -----	<b>178</b>
	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> -----	<b>178</b>
<b>6.1</b>	<b>CONCLUSIONES</b> -----	<b>178</b>
<b>6.2</b>	<b>RECOMENDACIONES</b> -----	<b>181</b>
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> -----	<b>184</b>
	<b>ANEXOS</b> -----	<b>189</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2. 1. - FUENTES DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LA COMUNIDAD .....	14
TABLA 2. 2.- DISTRIBUCIÓN ESTIMADA DE LOS COMPONENTES DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS GENERADOS EN DIFERENTES COMUNIDADES. ....	17
TABLA 2. 3.- PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN UTILIZADOS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS.....	18
TABLA 2. 4.- DATOS TÍPICOS SOBRE LA COMPOSICIÓN DEL LIXIVIADO DE RELLENOS NUEVOS Y MADUROS. ....	23
TABLA 2. 5.- DESCRIPCIÓN DEL TIPO DE CONTAMINANTES PRESENTES EN LOS LIXIVIADOS.....	24
TABLA 3. 1.- PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL .....	35
TABLA 3. 2.- TEMPERATURA MEDIA MENSUAL PROMEDIO.....	35
TABLA 3. 3.- RESUMEN DE DESECHOS SÓLIDOS RECOLECTADOS EN LA CIUDAD DE AMBATO. ....	39
TABLA 3. 4.- COMPOSICIÓN DE DESECHOS DISPUESTOS EN EL RELLENO SANITARIO .....	48
TABLA 3. 5.- ETAPAS DE TRATAMIENTO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS.....	49
TABLA 3. 6.- OPERACIONES UNITARIAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS .....	51
TABLA 4. 1.- REGISTRO HISTÓRICO DE PLUVIOSIDAD 1987 - 2007 .....	65
TABLA 4. 2.- MESES ELEGIDOS PARA EL MONITOREO .....	66
TABLA 4. 3.- CALENDARIO DE MUESTREO .....	66
TABLA 4. 4.- INDICADORES DE LOS LÍQUIDOS LIXIVIADOS .....	70
TABLA 4. 5.- INDICADORES GENERALES .....	71
TABLA 4. 6.- IONES PROVENIENTES DE DEPÓSITOS DE POCA CONTAMINACIÓN INDUSTRIAL.....	71
TABLA 4. 7.- METALES TÍPICOS Y COMPUESTOS ORGÁNICOS TÓXICOS PRODUCIDOS POR INFLUENCIA DE LA INDUSTRIA. ....	72

TABLA 4. 8.- CONTAMINACIONES ORGÁNICAS PROVENIENTES DE LA INDUSTRIA.....	73
TABLA 4. 9.- CONTAMINACIONES ORGÁNICAS PROVENIENTES DE LA INDUSTRIA.....	74
TABLA 4. 10- INDICADORES DE LOS LÍQUIDOS LIXIVIADOS SELECCIONADOS .....	75
TABLA 4. 11.- INDICADORES DEL MONITOREO IN-SITU .....	78
TABLA 4. 12.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE TEMPERATURA.....	80
TABLA 4. 13.- MONITOREO DE INDICADORES DEL MES DE MAYO .....	82
TABLA 4. 14.- MONITOREO DE INDICADORES DEL MES DE JUNIO .....	84
TABLA 4. 15.- MONITOREO DE INDICADORES DEL MES DE JULIO.....	86
TABLA 4. 16.- MONITOREO DE INDICADORES DEL MES DE OCTUBRE .....	88
TABLA 4. 17.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS PROMEDIO POR MES .....	102
TABLA 4. 18.- PRODUCCIÓN DE LIXIVIADOS EN DEPENDENCIA DE LA TÉCNICA DE OPERACIÓN .....	105
TABLA 4. 19.- MÉTODO SUIZO PARA ESTIMAR LA CANTIDAD DE LIXIVIADOS GENERADOS.....	107
TABLA 4. 20.- PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL PROMEDIO .....	109
TABLA 4. 21.- DURACIÓN MÁXIMA DE INSOLACIÓN (HORAS/DÍA), EN VARIOS MESES DEL AÑO, VALOR DEL DÍA 15 DE CADA MES, ENTRE LAS LATITUDES DE 0 SUR A 30 SUR, UTILIZADOS EN LOS CÁLCULOS DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL POR EL MÉTODO DE THORNTHWAITE.	114
TABLA 4. 22.- CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL MENSUAL. MÉTODO DE THORNTHWAITE .....	115
TABLA 4. 23.- AGUA RETENIDA EN EL SUELO (mm), PARA VALORES DE EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ETP) ENTRE 0 Y 350 mm (P-ETP) NEGATIVO ACUMULADO CAPACIDAD DE CAMPO = 100 m .....	116
TABLA 4. 24.- CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL MENSUAL. MÉTODO DE TRONTHWAITE Y MATHER.....	118
TABLA 4. 25.- PORCENTAJES DE ESCORRENTÍA, EN FUNCIÓN DEL TIPO DE COBERTURA, TIPO DE SUELO Y PENDIENTE.....	119

TABLA 4. 26.- MONITOREO DE LA EFICIENCIA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS.....	121
TABLA 4. 27.- REMOCIÓN DE CARGA CONTAMINANTE EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS EN FUNCIÓN DE LA DQO mg/L.....	122
TABLA 4. 28.- PROBLEMAS DETECTADOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS.....	124
TABLA 4. 29.-VARIABLES CONOCIDAS DE PARÁMETROS DE DISEÑO .....	139
TABLA 4. 30.- CARACTERÍSTICAS DE COAGULANTE FLOCULANTE EMPLEADO .....	146
TABLA 4. 31.- CARACTERÍSTICAS DE COAGULANTE FLOCULANTE EMPLEADO .....	147
TABLA 4. 32.- VALORES MEDIDOS EN LA PRUEBA DE ELECTROCOAGULACIÓN .....	151
TABLA 4. 33.- COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN Y OPERACIÓN DE LA PROPUESTA DE TRATAMIENTO .....	152
TABLA 4. 34.- COSTOS MENSUALES EQUIPOS ELÉCTRICOS.....	153
TABLA 4. 35.- COSTOS MENSUALES QUÍMICOS REQUERIDOS.....	153
TABLA 4. 36.- COSTO POR METRO CÚBICO TRATADO .....	153
TABLA 5. 1.- ANÁLISIS DEL CUMPLIMIENTO DE NORMATIVA .....	155
TABLA 5. 2.- CÁLCULO DE LA CARGA CONTAMINANTE .....	157
TABLA 5. 3.- CLASIFICACIÓN DEL AGUA EN FUNCIÓN DE SU CONTENIDO DE DUREZA.....	171
TABLA 5. 4.- DENSIDAD PROMEDIO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN LA CIUDAD DE AMBATO .....	174
TABLA 5. 5.- INDUSTRIAS EN FUNCIONAMIENTO EN LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA.....	175

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 4. 1.- REGISTRO HISTÓRICO DE PLUVIOSIDAD 1987 - 2007 .....	65
GRÁFICO 4. 2.- FLUCTUACIÓN DEL CAUDAL DURANTE EL TIEMPO DE ESTUDIO. ....	80
GRÁFICO 4. 3.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE TEMPERATURA.....	81
GRÁFICO 4. 4.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS.....	90
GRÁFICO 4.4 A.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE CONDUCTIVIDAD.....	90
GRÁFICO 4.4 B.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE OXÍGENO DISUELTO. 90	90
GRÁFICO 4.4 C.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE POTENCIAL HIDRÓGENO .....	91
GRÁFICO 4.4 D.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE TURBIDEZ.....	91
GRÁFICO 4.4 E.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE ALCALINIDAD FENOLTALÉINA.....	92
GRÁFICO 4.4 F.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE ALCALINIDAD TOTAL . 92	92
GRÁFICO 4.4 G.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE AMONIACO.....	93
GRÁFICO 4.4 H.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE AMONIACO COMO NITRÓGENO .....	93
GRÁFICO 4.4 I.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE AMONIO .....	94
GRÁFICO 4.4 J.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE BICARBONATOS .....	94
GRÁFICO 4.4 K.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE CALCIO .....	95
GRÁFICO 4.4 L.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE CALCIO.....	95
GRÁFICO 4.4 M.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE CROMO HEXAVALENTE .....	96
GRÁFICO 4.4 N.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO.....	96
GRÁFICO 4.4 O.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE DUREZA CÁLCICA .....	97
GRÁFICO 4.4 P.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE DUREZA MAGNÉSICA 97	97
GRÁFICO 4.4 Q.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE DUREZA TOTAL .....	98

GRÁFICO 4.4 R.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE MAGNESIO .....	98
GRÁFICO 4.4 S.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE NITRÓGENO TOTAL KENDAL.....	99
GRÁFICO 4.4 T.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES.....	99
GRÁFICO 4.4 U.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES .....	100
GRÁFICO 4.4 V.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE SÓLIDOS TOTALES..	100
GRÁFICO 4.4 W.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE SÓLIDOS VOLÁTILES TOTALES.....	101
GRÁFICO 4.4 X.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO.....	101
GRÁFICO 4. 5.- REMOCIÓN DE CARGA CONTAMINANTE EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS EN FUNCIÓN DE LA DQO mg/L	122
GRÁFICO 4. 6.- PORCENTAJES DE REMOCIÓN DE CARGA CONTAMINANTE EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS EN FUNCIÓN DE LA DQO.....	123
GRÁFICO 5. 1.- COMPARACIÓN DE LA NORMATIVA AMBIENTAL CON LOS VALORES DE INDICADORES PROMEDIOS DEL LIXIVIADO MONITOREADO ....	156
GRÁFICO 5. 2.- PRECIPITACIÓN Y CAUDAL DE LIXIVIADOS.....	158
GRÁFICO 5. 3.- RELACIONES ENTRE EL CO <sub>2</sub> Y LAS TRES FORMAS DE ALCALINIDAD A DIFERENTES VALORES DE pH CON 100 mg/L CaCO <sub>3</sub> .....	164
GRÁFICO 5. 4.- DIAGRAMA pC-pH DEL AMONIACO.....	166
GRÁFICO 5. 5.- RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE SÓLIDOS (mg/L).....	170
GRÁFICO 5. 6.- RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE DUREZA (mg/L).....	171

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. 1.- DIAGRAMA SIMPLIFICADO MOSTRANDO LAS INTERRELACIONES ENTRE LOS ELEMENTOS FUNCIONALES EN UN SISTEMA DE GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS.....	2
FIGURA 2. 1.- FORMACIÓN DE LIXIVIADOS.....	9
FIGURA 3. 1.- ESQUEMA HIDROGRÁFICO DEL CANTÓN AMBATO.....	34
FIGURA 3. 2.- DIAGRAMA SIMPLIFICADO PROCESO DE CONSTRUCCIÓN Y DISPOSICIÓN DE LOS DESECHOS EN EL RELLENO SANITARIO.....	46
FIGURA 3. 3.- DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO.....	50
FIGURA 3. 4.- DIAGRAMA DE PROCESO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO.....	51
FIGURA 4. 1.- CARACTERIZACIÓN COMPLETA DE LOS LÍQUIDOS LIXIVIADOS.....	69
FIGURA 4. 2.- ESQUEMA DE PROPUESTA DE TRATAMIENTO.....	127
FIGURA 4. 3.- DENSIDAD Y VISCOSIDAD DINÁMICA DEL AGUA COMO UNA FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA.....	129
FIGURA 4. 4.- VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN.....	131
FIGURA 4. 5.- VALORES DE SEDIMENTACIÓN.....	132
FIGURA 4. 6.- RESISTENCIA DE CORRIENTES.....	135
FIGURA 4. 7.- DESARENADOR (PLANTA Y CORTE LONGITUDINAL).....	137
FIGURA 4. 8.- DISEÑO DE LA CAMPANA Y DEFLECTORES.....	142
FIGURA 4. 9.- ESQUEMA SUPERIOR DE LAS FLAUTAS RECOLECTORAS DEL EFLUENTE.....	143
FIGURA 4. 10.- SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN.....	148
FIGURA 4. 11.- ZONAS DEL REACTOR DE ELECTROCOAGULACIÓN.....	149
FIGURA 4. 12.- ESQUEMA DEL PROCESO (CORTE LONGITUDINAL).....	150
FIGURA 5. 1.- ESQUEMA DE LA DESCOMPOSICIÓN ANAEROBIA DE LA MATERIA ORGÁNICA.....	154
FIGURA 5. 2.- DIAGRAMA DE FLUJO SIMPLIFICADO Y BALANCE DE MATERIA DE LA DESCOMPOSICIÓN ANAEROBIA DE LA MATERIA ORGÁNICA.....	159
FIGURA 5. 3.- CICLO DEL NITRÓGENO.....	165

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

FOTOGRAFÍA 3. 1.- CIUDAD DE AMBATO.....	32
FOTOGRAFÍA 3. 2.- RELLENO SANITARIO.....	41
FOTOGRAFÍA 3. 3.- SISTEMA DE RECOLECCIÓN.....	42
FOTOGRAFÍA 3. 4.- CONTROL DE INGRESO Y PESADO.....	43
FOTOGRAFÍA 3. 5.- DISPOSICIÓN DE DESECHOS .....	44
FOTOGRAFÍA 3. 6.- PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS.....	51
FOTOGRAFÍA 3. 7.- ESTRUCTURA DE INGRESO.....	53
FOTOGRAFÍA 3. 8.- DIGESTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE.....	55
FOTOGRAFÍA 3. 9.- TUBERÍAS DE ALIMENTACIÓN Y MEDIO FILTRANTE .....	57
FOTOGRAFÍA 3. 10.- TANQUE CLARIFICADOR .....	58
FOTOGRAFÍA 3. 11.- LECHOS DE SECADO.....	59
FOTOGRAFÍA 3. 12.- TANQUE CLORADOR .....	60
FOTOGRAFÍA 3. 13.- QUEMADOR DE BIOGAS.....	61
FOTOGRAFÍA 4. 1.- TOMA DE MUESTRAS .....	63
FOTOGRAFÍA 4. 2.- MEDICIÓN DE TEMPERATURA Y DETERMINACIÓN DEL pH.....	64
FOTOGRAFÍA 4. 3.- MEDIO FILTRANTE .....	145
FOTOGRAFÍA 4. 4.- ENSAYO DE ELECTROCOAGULACIÓN.....	152



## RESUMEN

El lixiviado de rellenos sanitarios es uno de los principales contaminantes de fuentes de agua, tanto superficiales como subterráneas, y constituye un factor de preocupación teniendo en cuenta que a la fecha, no existen rellenos sanitarios estrictamente adecuados, y que en el Ecuador y concretamente en Ambato gran cantidad de los sistemas de abastecimiento de agua funcionan con pozos perforados, para la extracción de aguas subterráneas.

En muchos casos el fracaso de los rellenos sanitarios controlados, ha radicado en la dificultad o imposibilidad de gestionar adecuadamente los lixiviados, como consecuencia de un desconocimiento a priori de sus cantidades y características físico-químicas, al igual que el ritmo de variación de los mismos. El presente proyecto de titulación diagnóstica, caracteriza y establece una propuesta de mejora de tratamiento a los lixiviados generados en el relleno sanitario del cantón Ambato.

Del estudio realizado se obtuvieron datos reales de las características físicas, químicas y biológicas de los líquidos lixiviados; lográndose valores promedios, luego del análisis de distribución de frecuencias acumuladas, método estadístico que usa el concepto de percentiles. Así: en cuanto a pH se obtuvo un valor de 8.6, de DQO 3945,3 mg/L, DBO<sub>5</sub> 1463,8 mg/L y sólidos suspendidos totales 2232,2 mg/L; además se estimó la eficiencia de remoción de carga contaminante por la planta de tratamiento de lixiviados en un 27% en función de la DQO. Se determinó también el volumen de lixiviados generados (por tres métodos diferentes) obteniéndose un valor promedio de 0,5 L/s, con lo que se calcula que la carga contaminante estaría en el orden de 2,14 Kg/h.

Los datos obtenidos permiten establecer una propuesta de mejora de tratamiento, consistente en la implementación de una unidad de desarenado, un nuevo sistema

de bombeo, una nueva unidad de tratamiento anaeróbica y aeróbica, y la determinación de la dosis óptima de coagulante en la unidad de coagulación-floculación, estimándose una reducción la carga contaminante del orden del 80%; logrando que la descarga a la quebrada Chasinato esté dentro de los límites permitidos por la normativa ambiental vigente, evitando de esta manera que estos líquidos puedan ocasionar algún daño ambiental, o a la salud de los ciudadanos; beneficiando también al desarrollo de la ciudad, mejorando la calidad del medio ambiente y la calidad de vida.

Los costos de construcción ascienden a los 50.594,53 USD, mientras que los costos de operación mensuales en cuanto a electricidad ascienden a 2.581,22USD, los costos de químicos a 673,92 USD, por mantenimiento 480,00 USD, dando un total de 3.735,14USD/mes, con lo que se calcula que el costo de tratamiento por metro cúbico es de 2,88 USD.

## PRESENTACIÓN

El Gobierno Municipal del cantón Ambato, tiene como visión de ser un gobierno eficiente, efectivo, eficaz, económico y ecológico; ejemplo de honestidad y trabajo; promotor y facilitador de competitividad, productividad y de servicios eficientes; líder en proyectos a nivel nacional, consciente de su responsabilidad con el medio ambiente necesita de una mejora al actual sistema de tratamiento de lixiviados, generados en el relleno sanitario de la quebrada Chasinato. Previa a la caracterización y diagnóstico de los mismos, pues se requiere conocer previamente su naturaleza, características y comportamiento.

Este trabajo está constituido por seis capítulos: En el primero se presenta una introducción a la presente investigación, donde se incluyen antecedentes, los mismos que describen los problemas relacionados con el tema, haciendo luego una evaluación crítica y sustentada de la literatura científica relacionada. Se incluye una justificación, alcance e importancia, desde el punto de vista socioeconómico, técnico, ambiental.

En el capítulo dos, se hace una revisión bibliográfica del tema, donde se aprecia mejor los conceptos explicados a breves rasgos en la introducción, haciendo hincapié en cómo se forman, cuál es su composición, el problema que representan los líquidos lixiviados al ambiente circundante, y las consecuencias que tendría el no tratar adecuadamente estos líquidos, y una reseña de las diferentes opciones de tratamiento utilizadas en algunos países.

En el capítulo tres se describe el sitio donde está ubicado el relleno sanitario, el clima predominante, la morfología, la hidrología, el uso potencial del suelo, la gestión de

los residuos sólidos del cantón, y una descripción detallada del tratamiento actual de los líquidos lixiviados.

En el capítulo cuatro se presenta el monitoreo realizado a los líquidos lixiviados tal como se expone en la metodología, también se presenta el análisis estadístico realizado a los datos obtenidos, para luego establecer una propuesta de mejora de tratamiento al sistema actual en funcionamiento, determinando además los costos de implementación y operación.

En el capítulo cinco se discute alrededor de los resultados obtenidos, correlacionándolos con las diferentes etapas de degradación que ocurren en el relleno sanitario, además con el caudal de aguas lluvia receptoras por el relleno sanitario.

En el capítulo seis se establecen las conclusiones del proyecto y las recomendaciones derivadas del estudio realizado, con lo que se pretende contribuir al objetivo de desarrollo regional del buen vivir.

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

**Acidogénesis:** Implica la conversión bacteriana de los compuestos producidos en la primera etapa de la digestión anaeróbica, en compuestos intermedios identificables de menor peso molecular.

**Acetogénesis:** Es el proceso a través del cual bacterias anaerobias producen acetato a partir de diferentes fuentes de energía y carbono.

**Aerobio:** Proceso químico en el que el oxígeno tiene un papel fundamental.

**Aguas pluviales:** Aquellas que provienen de lluvias, se incluyen las que provienen de nieve y granizo.

**Aguas residuales:** Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, que hayan sufrido degradación en su calidad original.

**Anaerobio:** Proceso químico en el que no interviene el oxígeno.

**Capacidad de asimilación:** Propiedad que tiene un cuerpo de agua para recibir y depurar contaminantes sin alterar sus patrones de calidad, referido a los usos para los que se destine.

**Caracterización de un desecho:** Proceso destinado al conocimiento integral de las propiedades estadísticamente confiables del desecho, integrado por la toma de muestras, e identificación de los componentes físicos, químicos, biológicos y

microbiológicos. Los datos de caracterización generalmente corresponden a mediciones de campo y determinaciones de laboratorio que resultan en concentraciones contaminantes, masas por unidad de tiempo y masas por unidad de producto (en el caso de desechos industriales).

**Carga contaminante:** Cantidad de un contaminante aportada en una descarga de aguas residuales, expresada en unidades de masa por unidad de tiempo.

**Carga promedio:** Es el producto de la concentración promedio por el caudal promedio, determinados en el mismo sitio.

**Carga máxima permisible:** Es el límite de carga que puede ser aceptado en la descarga a un cuerpo receptor o a un sistema de alcantarillado.

**Contaminación de aguas subterráneas:** Cualquier alteración de las propiedades físico, química, biológicas de las aguas subterráneas, que pueda ocasionar el deterioro de la salud, la seguridad y el bienestar de la población, comprometer su uso para fines de consumo humano, agropecuario, industriales, comerciales o recreativos, y/o causar daños a la flora, a la fauna o al ambiente en general.

**Cuerpo receptor:** Es todo río, lago, laguna, aguas subterráneas, cauce, depósito de agua, corriente, zona marina, estuarios, que sea susceptible de recibir directa o indirectamente la descarga de aguas residuales.

**Descargar:** Acción de verter, infiltrar, depositar o inyectar aguas residuales a un cuerpo receptor o a un sistema de alcantarillado en forma continua, intermitente o fortuita.

**Desecho sólido:** Se entiende por desecho sólido todo sólido no peligroso, putrescible o no putrescible, con excepción de excretas de origen humano o animal. Se comprende en la misma definición los desperdicios, cenizas, elementos del

barrido de calles, desechos industriales, de establecimientos hospitalarios no contaminantes, plazas de mercado, ferias populares, playas, escombros, entre otros.

**Disposición final:** Es la acción de depósito permanente de los desechos sólidos en sitios y condiciones adecuadas para evitar daños al ambiente.

**Efluente:** Líquido proveniente de un proceso de tratamiento, proceso productivo o de una actividad.

**Hidrólisis:** Descomposición de un cuerpo o una sustancia orgánica e inorgánica compleja en otra más sencilla por su reacción con el agua

**Lixiviado:** Líquido que percola a través de los residuos sólidos, compuesto por el agua proveniente de precipitaciones pluviales, escorrentías, la humedad de la basura y la descomposición de la materia orgánica que arrastra materiales disueltos y suspendidos.

**Metales pesados:** Metales de número atómico elevado, como cadmio, cobre, cromo, hierro, manganeso, mercurio, níquel, plomo, y zinc, entre otros, que son tóxicos en concentraciones reducidas y tienden a la bioacumulación.

**Metanogénesis:** Supone la conversión bacteriana de los compuestos intermedios en productos finales más simples, principalmente metano y dióxido de carbono.

**Reciclaje:** Operación de separar, clasificar selectivamente a los desechos para utilizarlos convenientemente. El término reciclaje se refiere cuando los desechos clasificados sufren una transformación para luego volver a utilizarse.

**Relleno sanitario:** Es una técnica para la disposición de los desechos sólidos en el suelo sin causar perjuicio al medio ambiente y sin causar molestia o peligro para la salud y seguridad pública.

Este método utiliza principios de ingeniería para confinar los desechos sólidos en un área la menor posible, reduciendo su volumen al mínimo aplicable, y luego cubriendo los desechos sólidos depositados con una capa de tierra con la frecuencia necesaria, por lo menos al fin de cada jornada.



**ABREVIACIONES Y SIGLAS**

Alcalinidad P	=	Alcalinidad Fenolftaleína
Alcalinidad T	=	Alcalinidad Total
Ca <sup>++</sup>	=	Calcio
CE	=	Conductividad Eléctrica
CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	=	Carbonato
Cr <sup>+6</sup>	=	Cromo hexavalente
DAC	=	Dirección de Aviación Civil
DBO <sub>5</sub>	=	Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días
DQO	=	Demanda Química de Oxígeno
Dureza Ca	=	Dureza Cálcica
Dureza Mg	=	Dureza Magnésica
Dureza T	=	Dureza Total
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	=	Bicarbonato
INAMHI	=	Instituto Nacional de Hidrología y Meteorología
INEC	=	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
Mg <sup>++</sup>	=	Magnesio
NH <sub>3</sub>	=	Amoniaco
NH <sub>3</sub> -N	=	Amoniaco como Nitrógeno
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	=	Amonio
NTU	=	Unidades Nefelométricas de Turbidez
OD	=	Oxígeno Disuelto
pH	=	Potencial Hidrógeno
SDT	=	Sólidos Disueltos Totales
SST	=	Sólidos Suspendidos Totales
ST	=	Sólidos Totales
SVT	=	Sólidos Volátiles Totales
TKN	=	Nitrógeno Total Kjeldahl

# CAPÍTULO 1.

## ASPECTOS GENERALES

### 1.1 INTRODUCCIÓN

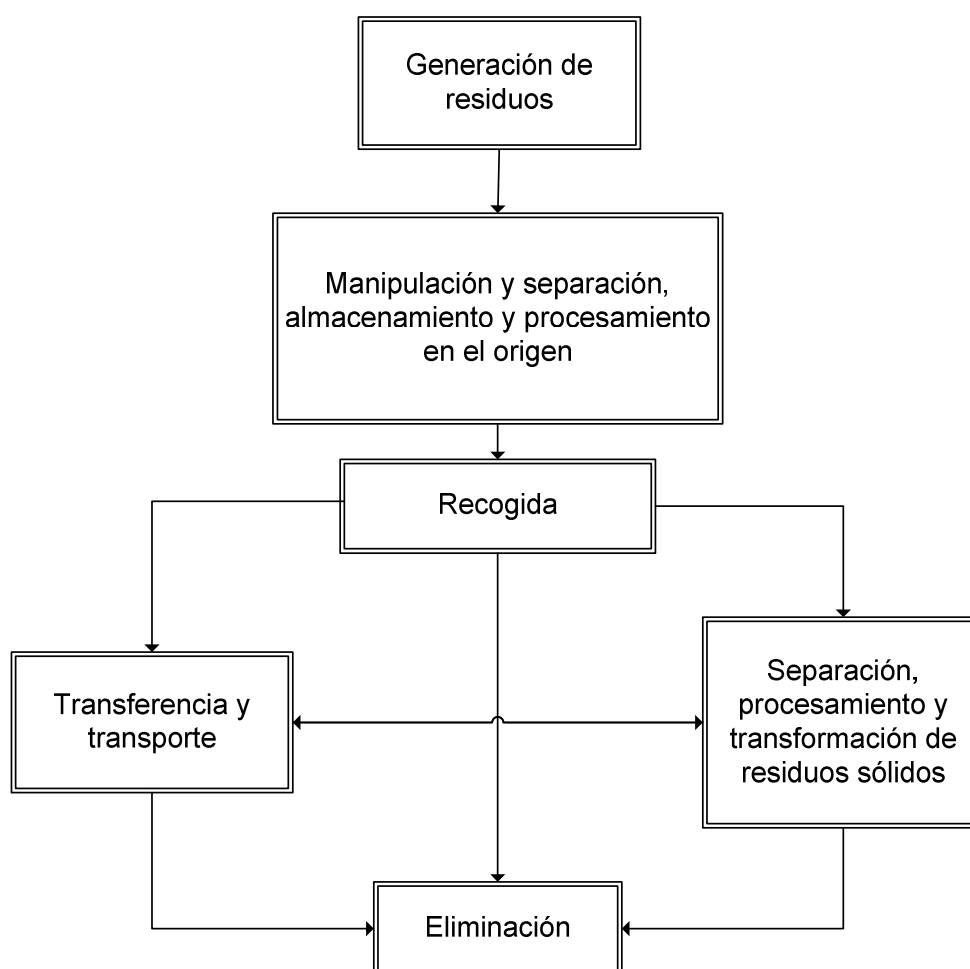
Las ciudades son grandes concentraciones de consumidores; miradas desde el espacio, las ciudades se asemejan a grandes consumidores, estacionados sobre la faz de la Tierra. Como todo consumidor, también depende de su ambiente cercano para desechar desperdicios y asegurar condiciones ambientales propicias para su funcionamiento y pleno desarrollo. (Lugo y Morris, 1982).

Los residuos sólidos son aquellos materiales, diferentes de líquidos y gases, que, a criterio de los entes que los generan, no representan ningún tipo de valor y se desechan como inútiles o superfluos. Son la forma común de contaminación de las concentraciones demográficas de cualquier escala y cultura, consecuencia del excesivo consumo, que ocurre según el grado de desarrollo industrial y poblacional; y que afecta de manera directa al hombre y a su ambiente. Esto sumado a la falta de conciencia ambiental y planificación, hace que con el pasar de los días este problema llegue a límites que salen del control humano, por lo que la gestión de residuos sólidos debe tener prioridad en la administración municipal. (Corbitt, 2003, Tchobanoglous, *et. al.*, 1994).

El manejo de los residuos sólidos urbanos representa un tema complicado para toda administración municipal a nivel mundial; la problemática de los residuos sólidos se establece por la capacidad limitada del medio ambiente para acoger la progresiva generación de los mismos y por la gradual disminución de la disponibilidad de los recursos. (Muñoz, 2008; Tamayo, 2009).

La gestión integral de los residuos sólidos demanda de varias operaciones unitarias que ordinariamente están vinculadas en serie, por lo que la ineficiencia de alguna o algunas de ellas repercute en el desempeño del sistema en general. Siendo las operaciones principales: (ver figura 1.1) almacenamiento temporal, recolección, barrido, transporte, tratamiento y disposición final. (Muñoz, 2008; Tchobanoglous, *et. al.*, 1994).

**FIGURA 1. 1.- DIAGRAMA SIMPLIFICADO MOSTRANDO LAS INTERRELACIONES ENTRE LOS ELEMENTOS FUNCIONALES EN UN SISTEMA DE GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS.**



FUENTE:

Tchobanoglous, *et. al.*, 1994.

ELABORADO POR:

Luis David López Fabara

La disposición final de los residuos sólidos es la última etapa del sistema de aseo organizado de cualquier ciudad, y su correcta operación está incondicionalmente relacionada con la protección del medio ambiente, así como con la salud de la población, por lo que se le debe tratar y controlar mediante un sistema propicio que minimice los impactos negativos hacia el entorno.

Comenzando con los días de la sociedad primitiva, los seres humanos y los animales han utilizado los recursos de la tierra para la supervivencia y la evacuación de los residuos. Ante el problema de la disposición final de la basura, se ha ensayado diferentes métodos para resolverlo: históricamente, se ha acatado el consejo de los griegos que dijeron “Aleja de ti las basuras o enfermarás” y se las alejó todo cuanto se pudo, arrojándolas a las afueras de las ciudades, en los cauces de los ríos o en el mar, creando los botaderos de basura. Pero se observó que ésta no era la solución y se pensó en quemarlas, pero se fracasó; en hacer compost y también se fracasó; entonces se pensó en el relleno sanitario, técnica que al momento parece ser la más idónea, para el país, pero no es la solución perfecta, pues es enterrar energía, con lo que se plantea la hipótesis de que los residuos sólidos deben ser considerados como recursos estratégicos, y la práctica actual de eliminación de residuos sólidos debería calificarse como despilfarro. (Collazos, 2008; Tchobanoglous, *et. al.*, 1994).

“Aún dentro de la concepción más "débil" del término "sostenible" aplicado al desarrollo, debemos aceptar que los residuos derivados de las actividades económicas extractivas, transformadoras, consumidoras no son otra cosa que recursos naturales desaprovechados”. (Val, 1996).

En el Ecuador se reportan problemas de manejo de la basura desde hace 188 años. El mariscal Antonio José de Sucre, para solucionarlos dictó una ordenanza el 19 de agosto de 1822 que exigía la limpieza de la ciudad y privatizaba el servicio, sin embargo no se indica el método de disposición final de la basura. (Collazos, 2008).

Aunque la naturaleza tiene la capacidad de diluir, extender, degradar, absorber o, de otra forma, reducir el impacto de residuos no deseados en la atmósfera, en las vías fluviales y en la tierra, han existido desequilibrios ecológicos donde se ha excedido la capacidad de asimilación natural. No fue hasta el siglo XIX cuando las medidas de control de la salud pública llegaron a ser de una consideración vital para los funcionarios públicos, quienes empezaron a darse cuenta que los residuos tenían que ser recogidos y evacuados de una forma sanitaria para controlar a los vectores sanitarios. (Tchobanoglous, *et. al.*, 1994).

El problema de la gestión integral de residuos sólidos no concluye con la disposición final de estos almacenándolos, ya sea como en muchos lugares en botaderos a cielo abierto, o como las técnicas ingenieriles aconsejan, conforme a las condiciones actuales del país, en rellenos sanitarios, que es el método más económico y ambientalmente aceptable para la disposición de desechos sólidos en el mundo. Al menos hasta hoy o hasta que se tecnifiquen la recuperación y reutilización, y hasta que la humanidad, en su totalidad se concientice que es indispensable y provechoso reducir la producción de desechos. (Parra, 2006).

Por la manera defectuosa de consignar los desechos sólidos, se ocasionan a grandes perjuicios al medio ambiente, por las elevadas cargas contaminantes que se derivan de los depósitos. Así se puede evidenciar que tanto en los botaderos a cielo abierto, como en rellenos sanitarios (aún operando adecuadamente) se promueve la proliferación de vectores sanitarios como: ratas, insectos y microorganismos, que directa o indirectamente afectan a la comunidad, y que potencialmente podrían ocasionar epidemias, por las enfermedades de las que son portadores, además encarecen el aspecto estético de las ciudades. (Narváez, 1989).

Otros problemas que se crean en los depósitos de basuras son: la generación de malos olores, humo de la quema de desechos sólidos, emisión de gases (mayoritariamente CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>), generación de riesgos a la salud de aquellas personas que viven de separar residuos para su propio uso o comercialización, y alteración a los

ecosistemas por el mayor problema detectado, que ocurre debido a la descomposición de la materia orgánica por reacciones químicas y bioquímicas, la humedad propia de la basura compactada y junto al agua proveniente de precipitaciones pluviales y escorrentías, es la generación de líquidos percolados, técnicamente conocidos como lixiviados, que a su paso a través de los diferentes estratos de la basura disuelven y arrastran elementos con alto grado de carga contaminante, que potencialmente pueden alterar drásticamente las condiciones físicas, químicas y biológicas de las aguas y los suelos con los cuales están en contacto.

Las nociones científicas actuales sobre la movilización de los lixiviados permiten aseverar que a pesar de la aplicación de técnicas de saneamiento a cuerpos hídricos y suelos, se mantendrán sustancias tóxicas residuales, que a la larga, no podrán ser eliminadas y que tienen su origen en los desechos sólidos. Los depósitos de basura son, por lo tanto, focos de contaminación perenne. (Castillo, 1994).

No se puede concebir la idea de una sociedad saludable en medio de un ambiente natural empobrecido y destruido, como a su vez no se puede dejar de identificar un medio armónico y equilibrado con una sociedad vital llena de energía. El saneamiento constituye un elemento esencial para el logro de los objetivos nacionales como es la protección de la salud humana y la conservación del medio ambiente. (CEDA, 2005).

En muchos casos el fracaso de los rellenos sanitarios controlados ha radicado en la dificultad o imposibilidad de gestionar adecuadamente los lixiviados, como consecuencia de un desconocimiento a priori de la cantidad y características físicas, químicas y biológicas, así como la variación de los mismos.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 OBJETIVO GENERAL**

Diagnosticar y caracterizar los lixiviados provenientes del relleno sanitario de la ciudad de Ambato, en época seca y en época lluviosa; y definir las mejores alternativas desde el punto de vista técnico, social, ambiental y económico, para el tratamiento de estos líquidos contaminantes.

### **1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar la situación actual de la generación de lixiviados del relleno sanitario, en relación con las características de los desechos y con los factores climáticos que inciden.
- Determinar la eficiencia de remoción de carga contaminante de la planta de tratamiento de lixiviados.
- Establecer una propuesta de mejoramiento en la remoción de carga contaminante de la planta de tratamiento.

## **1.3 ALCANCE**

El presente proyecto, busca diagnosticar y caracterizar física, química y biológicamente, los lixiviados generados dentro del relleno sanitario, ubicado en la quebrada Chasinato de la ciudad de Ambato, proporcionando datos fiables al Ilustre Municipio de Ambato, y a partir de los datos obtenidos establecer una propuesta de mejoramiento a la planta de tratamiento.

## 1.4 METODOLOGÍA

Siendo el objetivo principal de esta investigación el diagnóstico, caracterización y propuesta de mejora del tratamiento de lixiviados generados en el relleno sanitario de la ciudad de Ambato, que el lixiviado producido es función de múltiples factores relacionados con las condiciones climáticas, el diseño y operación del relleno y la composición de la basura, y debido a que el diseño de una planta de tratamiento de lixiviados, está directamente condicionado al volumen generado en el tiempo que varía de acuerdo al estado de avance en superficie del relleno, y las características del lixiviado y su variación en el tiempo, se aplica la metodología de trabajo:

- Caracterización climática, hidrológica y morfo edafológica de la zona en donde se ubica el relleno sanitario.
- Cálculo del volumen de lixiviado generado por el relleno sanitario y mediciones del mismo.
- Establecimiento de un programa de muestreo y análisis de los lixiviados, integrado principalmente por parámetros característicos, indicadores de tipos específicos de contaminantes generados.
- Propuesta de mejora al actual sistema de tratamiento.



## **CAPÍTULO 2.**

### **REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

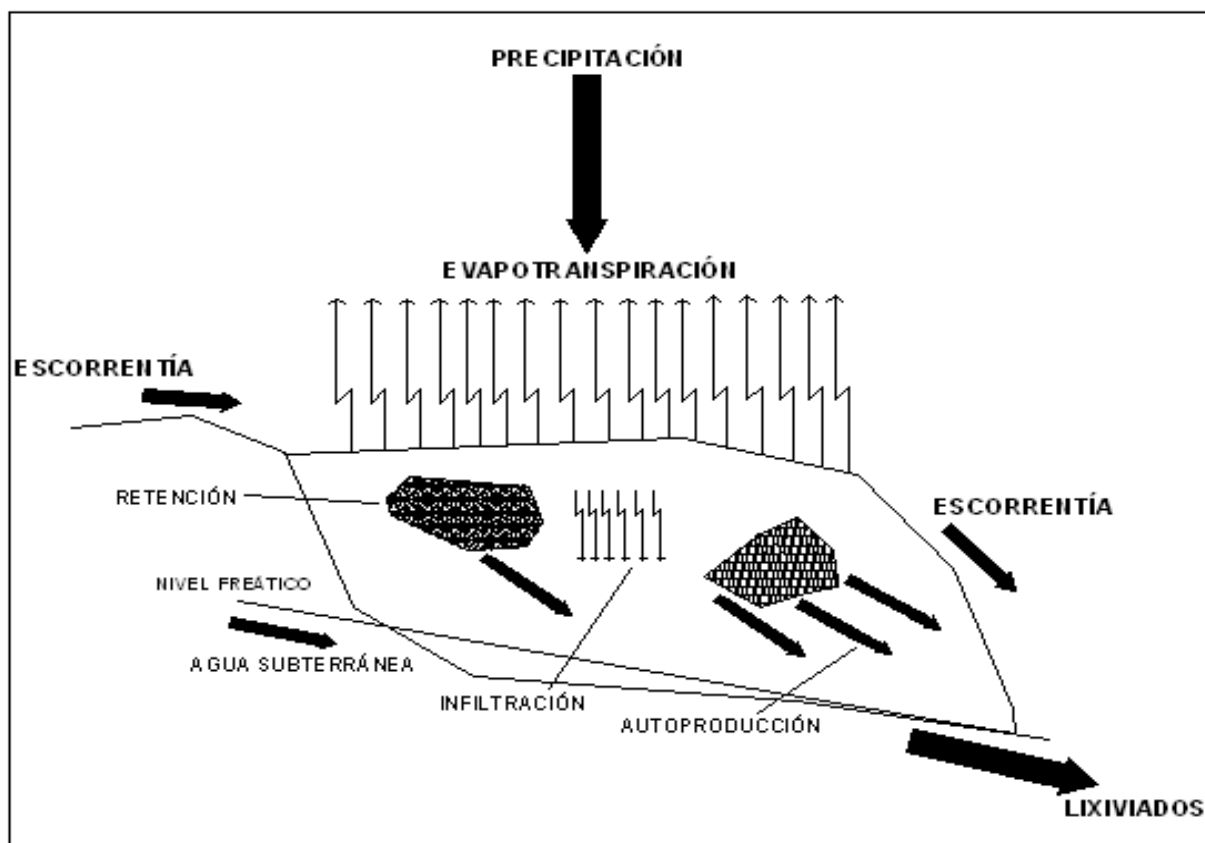
#### **2.1 FORMACIÓN DE LIXIVIADOS**

Cuando el agua, proveniente de precipitaciones pluviales y escorrentías, fluye a través de los desechos sólidos compactados y almacenados en un relleno sanitario, supera la capacidad de campo, se produce un líquido de aspecto desagradable, de mal olor, rico en elementos contaminantes, de elevada carga orgánica, conocido como lixiviado, que en conjunto con la degradación aerobia y anaerobia de la materia orgánica, disuelve sustancias y arrastra partículas contenidas en los desechos sólidos, y que al desplazarse verticalmente, si no se dispone de una adecuada impermeabilización del suelo, potencialmente podría llegar al subsuelo y contaminar las aguas subterráneas. (Corbitt, 2003; Ehrigh, 1992; Tchobanoglous, *et. al.*, 1994).

Los lixiviados se originan de dos fuentes principales en el área del relleno:

- a) Lixiviado producto del líquido o humedad propia de los residuos y humedad intersticial por los diversos tratamientos o bien generado por descomposición de materia orgánica presente.
  
- b) Lixiviado producto de fuentes externas.
  - A partir de agua de lluvia que cae directamente sobre los desechos sólidos.
  - Agua que se mueve horizontal al suelo y que llega directamente al relleno sanitario.
  - Contacto directo de las aguas subterráneas con los residuos por la elevación del nivel freático.
  - Aporte o derrame de líquidos en el relleno sanitario.

**FIGURA 2. 1.- FORMACIÓN DE LIXIVIADOS**



FUENTE: Castillo, 1994  
 ELABORADO POR: Luis David López Fabara

En este contexto el lixiviado es la cantidad de agua en exceso sobre la capacidad de retención de humedad del material en el relleno sanitario. Los factores que influyen en la formación de estos son:

- Agua disponible: Precipitación pluvial, presencia de agua superficial, recirculación de lixiviados e irrigación de la cobertura.
- Características de la cubierta de los residuos: tipo de suelo y vegetación, grado de compactación del material de cubierta y pendientes de las superficies finales.
- Características del tipo de residuos: compactación, composición y contenido de humedad de los residuos cuando fueron dispuestos.

- Impermeabilización empleada: tipo de material empleado (natural o artificial), tanto en el fondo como en la cubierta final del confinamiento.

La masa contaminante que produce un relleno sanitario depende de la concentración de los elementos en el lixiviado, fruto de los diferentes desechos que en él se depositan, ya que estos irán sufriendo transformaciones, y del volumen de lixiviado generado en el tiempo. Las características y las tasas de generación de los lixiviados son específicas para cada sitio y tipo de desecho, ya que dependen de la composición de los desechos sólidos dispuestos en el lugar, de la temperatura, la humedad y el pH de los mismos, y de la calidad y cantidad del agua que logra pasar hacia la zona donde se encuentra la basura. (Collazos, 2008).

Un relleno sanitario constituye un reactor bioquímico donde las entradas son residuos y agua, en tanto que las salidas principales son gases y líquido lixiviado como resultado de la conservación biológica de la mayoría de componentes orgánicos, durante la estabilización de los desechos sólidos. (Parra, 2007).

El conocimiento de los orígenes, la generación y los tipos de residuos sólidos, así como los datos sobre la composición y las tasas de generación, son antecedentes básicos muy importantes en la toma de decisiones en lo que se refiere a proyección y diseño de los sistemas de manejo y disposición final. (Tchobanoglous, *et. al.*, 1994).

### **2.1.1 GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS**

Los residuos sólidos pueden generarse a partir de la actividad de desecho de cualquier individuo en particular o colectivo de personas. (Corbitt, 2003). La generación de residuos sólidos, en una comunidad está relacionada con los hábitos de vida de la población, los factores ambientales, el uso del suelo y su ubicación, factores que se ven reflejados con la cantidad y caracterización de los residuos sólidos. (Muñoz, 2008; Tchobanoglous, *et. al.*, 1994).

### **2.1.1.1 Clasificación de los Residuos Sólidos**

Según el Centro Coordinador del Convenio de Basilea para América Latina y el Caribe los residuos sólidos pueden ser clasificados utilizando los criterios que se describen a continuación:

#### *2.1.1.1.1 Por estado*

En este caso un residuo es definido de acuerdo al estado físico que se encuentra, por lo que se tienen los siguientes grupos: sólidos, semisólidos, líquidos y gaseosos. (Muñoz, 2008).

#### *2.1.1.1.2 Por origen*

Se refiere a una clasificación sectorial y no existe límite en cuanto a la cantidad de categorías o agrupaciones que se pueden realizar. A continuación se anotan algunas categorías:

- Domiciliarios, urbanos o municipales.
- Industriales
- Agrícolas, ganaderos y forestales.
- Mineros
- Hospitalarios o de centros de atención de salud
- De construcción
- Portuarios
- Radioactivos

#### *2.1.1.1.3 Por el tipo de tratamiento al que serán sometidos*

Este tipo de clasificación es particularmente útil cuando el objetivo es definir la infraestructura que se necesita para el tratamiento y la disposición final de los residuos. (Muñoz, 2008).

Se pueden definir entre otros:

- Residuos asimilables a residuos urbanos y que por tanto se pueden disponer en forma conjunta.
- Residuos para los cuales la incineración es el tratamiento idóneo.
- Residuos que se deben disponer en rellenos de seguridad.
- Residuos generados en grandes cantidades y que requieren tratamiento particular.
- Residuos pasibles de ser sometidos a un proceso de valorización.

El término “asimilables a residuo urbano” se utiliza para los residuos generados en cualquier actividad, que tienen características similares a los residuos urbanos y por tanto pueden ser gestionados como tales. (Muñoz, 2008)

#### *2.1.1.1.4 Por potenciales efectos derivados del manejo*

- Residuos peligrosos: son aquellos residuos que por su naturaleza son inherentemente peligrosos, pudiendo generar efectos adversos para la salud o el ambiente.
- Residuos peligrosos no reactivos: son residuos peligrosos que han sufrido algún tipo de tratamiento por medio del cual han perdido su naturaleza de peligrosos.

- Residuos inertes: son los residuos que no experimentan transformaciones físicas, químicas o biológicas significativas.
- Residuos no peligrosos: son los que no pertenecen a ninguna de las tres categorías anteriores. Como ejemplos de esta categoría se puede mencionar a los residuos domésticos, los residuos de la poda y los del barrido.

#### *2.1.1.1.5 Por el tipo de degradación*

- Residuos orgánicos de fácil biodegradación: Estos residuos contienen energía que puede ser aprovechada por algunas escalas de seres vivos. Estos residuos pueden ser restos de alimentos, vegetales, restos de jardín, cáscaras, etc.
- Residuos inorgánicos de difícil y/o no biodegradación: Estos residuos materiales que podrían ser reciclables, como por ejemplo: plástico, papel, cartón, textiles, metales, cuero, y otros. (Muñoz, 2008)

Las instalaciones, actividades y ubicaciones típicas para la generación de residuos en la comunidad, se expone en la Tabla 2.1, donde los residuos sólidos urbanos incluyen todos los de la comunidad, con excepción de los residuos de procesos industriales y de los residuos agrícolas.

**TABLA 2. 1. - FUENTES DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LA COMUNIDAD**

<b>Fuente</b>	<b>Instalaciones, actividades o ubicaciones donde se generan</b>	<b>Tipos de residuos sólidos</b>
Doméstica	Viviendas aisladas y bloques de baja, mediana y elevada altura, etc., unifamiliares y multifamiliares.	Residuos de comida, papel, cartón, plásticos, textiles, cuero, residuos de jardín, madera, vidrio, latas de hojalata, aluminio, otros metales, cenizas hojas en la calle, residuos especiales (artículos voluminosos, electrodomésticos, bienes de línea blanca, residuos de jardín recogidos separadamente, baterías, pilas, aceite, neumáticos), residuos domésticos peligrosos.
Comercial	Tiendas, restaurantes, mercados, edificios de oficinas, hoteles, moteles, imprentas, gasolineras, talleres mecánicos.	Papel, cartón, plásticos, madera, residuos de comida, vidrio, metales, residuos especiales, residuos peligrosos.
Institucional	Escuelas, hospitales, cárceles, centros gubernamentales.	(Como en Comercial)

**Continúa....**

Continuación....

**TABLA 2.1.- FUENTES DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LA COMUNIDAD**

<b>Fuente</b>	<b>Instalaciones, actividades o ubicaciones donde se generan</b>	<b>Tipos de residuos sólidos</b>
Construcción y demolición	Lugares nuevos de construcción, lugares de reparación/renovación de carreteras, derribos de edificios, pavimentos rotos.	Madera, acero, hormigón, suciedad.
Servicios municipales (excluyendo plantas de tratamiento)	Limpieza de calles, paisajismo, limpieza de cuencas, parques y playas, otras zonas de recreo.	Residuos, especiales, basura, limpieza de calles, recortes de árboles y plantas, residuos de cuencas, residuos generales de parques, playas y zonas de recreo.
Plantas de tratamiento, incineradora municipales	Agua, aguas residuales y procesos de tratamiento industrial, y otros.	Residuos de plantas de tratamiento, compuestos principalmente de fangos.
Industrial	Elaboración, fabricación ligera y pesada, refinerías plantas químicas, centrales térmicas, demolición.	Residuos de procesos industriales, materiales de chatarra. Residuos no industriales incluyendo residuos de comida, basura, cenizas, residuos de demolición y construcción, residuos especiales, residuos peligrosos.

**Continúa....**



Continuación....

**TABLA 2.1.- FUENTES DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LA COMUNIDAD**

Fuente	Instalaciones, actividades o ubicaciones donde se generan	Tipos de residuos sólidos
Agrícola	Cosechas de campo, árboles frutales, viñedos, ganadería intensiva, granjas.	Residuos de comida, residuos agrícolas, residuos peligrosos.

FUENTE: Tchobanoglous, *et. al.*, 1994.  
 ELABORADO POR: Luis David López Fabara

### 2.1.1.2 Composición de los residuos sólidos

Los residuos sólidos urbanos están constituidos tanto por materiales como por productos, entendiendo por materiales el papel y cartón, textiles, vidrio, metal, plástico, madera y residuos de comida. Con la excepción de desperdicios de comida y los textiles, cada categoría de material está conformada por diversos productos. (Corbitt, 2003). La evolución experimentada por la sociedad ha hecho que los residuos orgánicos, tradicionalmente la fracción mayoritaria en el país, hayan dado paso a otros productos nuevos, especialmente procedentes de los envases y embalajes plásticos. (Muñoz, 2008).

La información sobre la composición de los residuos sólidos urbanos es importante para evaluar las necesidades de equipo, los sistemas, los programas y planes de gestión; esta información además se requiere para calcular luego la producción de gases y lixiviados en el sitio depósito (relacionando a un relleno sanitario) (Collazos, 2008; Tchobanoglous, *et. al.*, 1994).

Los residuos sólidos totales de una comunidad están compuestos de los materiales residuales identificados en la Tabla 2.1. A continuación se presentan los datos típicos de la distribución de los componentes de los residuos sólidos urbanos, en el país y en países vecinos.

**TABLA 2. 2.- DISTRIBUCIÓN ESTIMADA DE LOS COMPONENTES DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS GENERADOS EN DIFERENTES COMUNIDADES.**

Elemento	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Residuos de alimentos	37,0	6,0	59,0	32,0	45,0	49,0	79,3
Papel y cartón	23,0	41,0	10,0	16,0	30,0	13,0	6,2
Plásticos	9,0	10,7	8,0	11,0	2,0	5,0	2,3
Textiles	4,0	2,4	2,0	5,0	5,0	2,0	0,8
Caucho	4,0	2,5	*	*	*	5,0	*
Madera	5,0	5,0	5,0	6,0	2,0	3,0	2,3
Vidrio	8,0	5,8	2,0	14,0	2,0	12,0	*
Metales	5,0	7,9	2,0	7,0	3,0	7,0	2,9
Otros	5,0	1,0	10,0	9,0	11,0	4,0	1,9
Poda	*	17,7	2,0	*	*	*	6,6
<b>Totales</b>	100	100	100	100	100	100	100

\* Comprendido entre otros

(1) Bogotá, 1989. Universidad Nacional de Colombia.

(2) EUA, 1994. George Tchobanoglous.

(3) Guayaquil, 1992. Relleno sanitario Las Iguanas. Héctor Collazos.

(4) Cúcuta, 1991. Relleno sanitario Guaymarala. Héctor Collazos.

(5) Ipiales, 1992. Relleno sanitario Empresas Municipales. Héctor Collazos.

(6) Villavicencio, 1991. Relleno sanitario Alcaldía Municipal. Héctor Collazos.

(7) Cali, 1995. Emsirva ESP.

FUENTE: Collazos, 2008  
ELABORADO POR: Luis David López Fabara

## 2.1.2 TRANSFORMACIONES FÍSICAS, QUÍMICAS, Y BIOLÓGICAS DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

Los residuos sólidos pueden transformarse por medios físicos, químicos y biológicos, con la intervención del hombre o por fenómenos naturales. (Tchobanoglous, *et. al.*, 1994)

**TABLA 2. 3.- PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN UTILIZADOS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS**

Procesos de transformación	Medio o método de transformación	Productos principales de la conversión o transformación
Físico		
Separación de componente	Separación manual y/o mecánica	Componentes individuales encontrados en los residuos urbanos no seleccionados
Reducción en volumen	Aplicación de energía en forma de fuerza o presión	Reducción del volumen de los residuos originales
Reducción de tamaño	Aplicación de energía en forma de trituración	Alteración de forma y reducción de tamaño de los componentes residuales originales.
Químico		
Combustión	Oxidación térmica	Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ), dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ) y otros productos de oxidación.
Pirólisis	Destilación destructiva	Una corriente de gas que contiene una variedad de gases, alquitrán y/o aceite y un combustible carbonoso.

**Continúa....**

Continuación....

**TABLA 2.3.- PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN UTILIZADOS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS**

Procesos de transformación	Medio o método de transformación	Productos principales de la conversión o transformación
Gasificación	Combustión con defecto de aire	Un gas de bajo poder calorífico, un combustible que contiene carbono e inertes originalmente en el combustible, y aceite pirolítico.
Biológico		
Aerobio	Conversión biológica aerobia	Compost (material húmico utilizado como acondicionador de suelo)
Digestión anaerobia	Conversión biológica anaerobia	Metano (CH <sub>4</sub> ), dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ), trazas de otros gases, humus o fangos digeridos.
Compostaje anaerobio	Conversión biológica anaerobia	Metano (CH <sub>4</sub> ), dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ), residuos digeridos.

FUENTE: Tchobanoglous, *et. al.*, 1994

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

### 2.1.3 REACCIONES QUE OCURREN EN EL RELLENO SANITARIO.

Los desechos sólidos que se generan y son depositados en el relleno sanitario, dependiendo del tipo de tratamiento, disposición que se les dé, y al filtrarse el agua a través de las capas en descomposición, disuelve materiales biológicos y constituyentes químicos, que serán objeto de transformaciones biológicas, químicas y físicas de manera simultánea e interrelacionada, producidas dependiendo del tipo y caracterización de sus componentes. (Tchobanoglous, *et. al.*, 1994; Villamar, 2005).

### 2.1.3.1 Reacciones Biológicas.

Las más importantes reacciones biológicas que ocurren en los rellenos sanitarios son aquellas asociadas con la fracción orgánica contenida en los residuos sólidos, y que evolucionan produciendo gases y eventualmente líquidos. El proceso de descomposición biológica se inicia de forma aeróbica, durante un corto período de tiempo, inmediatamente después de la evacuación de los desechos, en razón del oxígeno del aire atrapado dentro de la porosidad, después de la compactación; como dicho aire no es renovado, rápidamente se agota el oxígeno y la descomposición procede, en condiciones anaeróbicas; en esta etapa la materia orgánica se transforma principalmente en dióxido de carbono, metano y cantidades traza de amoníaco y ácido sulfhídrico. (Collazos, 2008).

Durante la descomposición aerobia el gas principal producido es el  $\text{CO}_2$ . Una vez consumido el oxígeno, la descomposición pasa a ser anaerobia y la materia orgánica se convierte en dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), y cantidades trazas de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) y sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ). (Tchobanoglous, et. al., 1994; Davis y Masten, 2005).

En términos globales, un grupo de reactivos sólidos y líquidos se transforman en productos gaseosos. En relación con estos últimos, cabe anotar la insolubilidad del metano, la baja solubilidad del gas carbónico y la gran solubilidad del gas amonio, todos ellos en relación al agua. (Collazos, 2008).

Existen controversias, con relación al tiempo de duración de la actividad respiratoria aerobia que hasta el presente momento no ha sido esclarecida, lo mismo acontece con el período necesario para la producción de gas metano. Algunos autores admiten que en un relleno sanitario, inicialmente ocurre una fase aerobia, con duración aproximada de dos semanas, y la fase de descomposición anaerobia acidogénica, con una duración aproximada de dos meses, seguido de una fase de

descomposición anaerobia metanogénica estable, responsable de la producción de gas metano durante algunos años, dependiendo de las características de los desechos dispuestos. (Castillo, 1994).

### **2.1.3.2 Reacciones Químicas**

Las reacciones químicas más importantes que se producen dentro de un relleno sanitario son:

- La disolución y arrastre en suspensión de los materiales de los residuos y de productos de conversión biológica en los líquidos que se filtran a través de los residuos.
- La evaporación de compuestos químicos y de agua en el gas del vertedero.
- La absorción de compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles en el material vertido.
- La deshalogenación y descomposición de compuestos orgánicos
- Reacciones de oxidación – reducción que afectan a metales y a la solubilidad de las sales metálicas.

La disolución en el lixiviado de productos de conversión biológica y de otros compuestos, particularmente compuestos orgánicos, es de especial importancia porque estos materiales pueden salir del relleno sanitario con el lixiviado. Estos compuestos orgánicos, a continuación, pueden ingresar a la atmósfera, bien a través del suelo o bien a través de las instalaciones descubiertas para el tratamiento del lixiviado. Otras reacciones químicas importantes incluyen aquellas que se producen entre ciertos compuestos orgánicos y los revestimientos de arcilla, que pueden alterar la estructura y la permeabilidad del material de revestimiento. (Tchobanoglous, et. al., 1994).

### **2.1.3.3 Reacciones Físicas**

Entre los cambios físicos más importantes que se producen en los rellenos sanitarios están: la difusión lateral de los gases en el relleno y la emisión de gases del relleno al ambiente circundante, el movimiento del lixiviado dentro y hacia abajo del relleno, a través del suelo, y el asentamiento causado por la consolidación y descomposición del material vertido.

El movimiento y las emisiones de gases necesitan una especial e importante consideración en la gestión de los rellenos sanitarios. Mientras se están produciendo gases dentro de un relleno, la presión interna puede crecer, causando roturas en la cobertura del vertedero, y por lo tanto escapes. El agua que ingresa al relleno a través de la cobertura rota puede aumentar la velocidad de producción de gas, causando todavía más roturas. El gas de vertedero que consigue escapar podría llevar al ambiente circundante oligocompuestos cancerígenos y teratogénicos. Como los gases suelen contener un alto grado de contenido de metano, existe el peligro de combustión y/o explosión. El lixiviado migra hacia abajo, puede transportar compuestos y materiales hasta nuevos puntos donde puedan reaccionar con facilidad. El lixiviado se produce en los poros de aire del relleno, interfiriendo así en la migración de gases. (Tchobanoglous, et. al., 1994)

La calidad de los lixiviados es determinada básicamente por los procesos de reacción bioquímica que tienen lugar en el relleno y por las condiciones medio ambientales imperantes de la zona.

## **2.2 COMPOSICIÓN DE LOS LIXIVIADOS**

El lixiviado está constituido (ver tabla 2.4) por una corriente acuosa que ha emergido o atravesado los residuos sólidos y que contiene disueltos, en suspensión o en forma de emulsión materiales lixiviados o extraídos de los desechos sólidos. (Corbitt, 2003).

**TABLA 2. 4.- DATOS TÍPICOS SOBRE LA COMPOSICIÓN DEL LIXIVIADO DE RELLENOS NUEVOS Y MADUROS.**

Componente	Relleno nuevo (< 2 años)		Relleno maduro (> 10 años)
	Intervalo	Típico	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	2000 – 30000	10000	100 – 200
Carbono Orgánico Total	1500 – 20000	6000	80 – 160
Demanda Química de Oxígeno	3000 – 60000	18000	100 – 500
Sólidos Totales Suspendidos	200 – 2000	500	100 – 400
Nitrógeno Orgánico	10 – 800	200	80 – 120
Nitrógeno Amoniacal	10 – 800	200	20 – 40
Nitrato	5 – 40	25	5 – 10
Fósforo Total	5 – 100	30	5 – 10
Fósforo en ortofosfatos	4 – 80	20	4 – 8
Alcalinidad como CaCO <sub>3</sub>	1000 – 10000	3000	200 – 1000
Potencial Hidrógeno	4,5 – 7,5	6	6,6 – 7,5
Dureza total como CaCO <sub>3</sub>	300 – 10000	3500	200 – 500
Calcio	200 – 3000	1000	100 – 400
Magnesio	50 – 1500	250	50 – 200
Potasio	200 – 1000	300	50 – 400
Sodio	200 – 2500	500	100 – 200
Cloruro	200 - 3000	500	100 – 400
Sulfato	50 - 1000	300	20 – 50
Hierro Total	50 – 1200	60	20 – 200

\* Todas las unidades están en miligramos por litro, excepto el pH.

FUENTE: Tchobanoglous, *et. al.*, 1994.

ELABORADO POR: Luis David López Fabara



Los parámetros de medición de los percolados indican los tipos de contaminantes presentes en este líquido, destacándose:

**TABLA 2. 5.- DESCRIPCIÓN DEL TIPO DE CONTAMINANTES PRESENTES EN LOS LIXIVIADOS**

Tipo de contaminante	Características
SÓLIDOS	<p>Se presentan en los lixiviados como sólidos suspendidos y coloidales:</p> <p>Los sólidos coloidales se manifiestan a través de parámetros como la turbiedad, que es muy alta en este tipo de efluentes. Los coloides son partículas muy pequeñas cuyo peso es insignificante, por lo que sus cargas eléctricas comandan su comportamiento. En lixiviados, la mayor parte de este tipo de sólidos proviene de material orgánico no biodegradable</p> <p>Los sólidos suspendidos se miden a través del los Sólidos Suspendidos Totales (SST), y los valores medidos son bajos, representando sólo un 3% de la DBO.</p>

**Continúa....**

Continuación....

**TABLA 2.5.- DESCRIPCIÓN DEL TIPO DE CONTAMINANTES PRESENTES EN LOS LIXIVIADOS**

Materia Orgánica	<p>La descomposición del material orgánico, produce un efluente con altos contenidos de materia orgánica. Las aguas lluvias que percolan a través del depósito arrastran y/o disuelven esta materia orgánica.</p> <p>La materia orgánica en los líquidos lixiviados, como en cualquier agua contaminada con estos compuestos, está normalmente en estado soluble y particulada. Los Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV) corresponden en general a la parte de la materia orgánica particulada. Los valores de este parámetro no son muy altos en los lixiviados, ya que la mayor parte de la materia orgánica se encuentra en estado soluble.</p> <p>La DBO5 Es una característica cuantificable del grado de contaminación del agua a partir de su contenido de sustancias biodegradables, ya que nos entrega la cantidad de oxígeno necesario para la oxidación bioquímica, de los compuestos orgánicos degradables existentes en el lixiviado.</p>
Sales Disueltas	<p>El líquido cuando percola a través de las celdas, diluye sales minerales presentes en los residuos. Estos son medidos principalmente por los parámetros de Cloruros y sulfatos que son indicadores de salinidad y contaminación de los lixiviados.</p>

Continúa....

Continuación....

**TABLA 2.5.- DESCRIPCIÓN DEL TIPO DE CONTAMINANTES PRESENTES EN LOS LIXIVIADOS**

Nutrientes	El nitrógeno como el fósforo se generan principalmente por la descomposición de la materia orgánica, ya que la basura no contiene una gran variedad de residuos específicos que aporten este tipo de contaminantes.
Tóxicos	Principalmente metales pesados, que en este caso debieran ser nulos o muy bajos.
Otros Parámetros	Aceites y grasas en general corresponden a valores bajos ya que son poco solubles en agua y la cantidad de grasas en estos residuos es reducida.

FUENTE: Castillo, 1994.

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

### 2.3 TRATAMIENTOS MÁS COMUNES PARA LOS LIXIVIADOS

La composición del lixiviado del relleno sanitario varía mucho, pero en general está muy contaminado con amoníaco, contaminantes orgánicos expresados como demanda química de oxígeno (DQO) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), hidrocarburos halogenados y metales pesados. Además, el lixiviado suele contener grandes cantidades de sales inorgánicas, principalmente cloruro, carbonato y sulfato de sodio. Por tanto, se debe recolectar y tratar antes de descargarlo. El lixiviado de rellenos sanitarios jóvenes con grandes depósitos de residuos municipales, por ejemplo, contendrá con frecuencia concentraciones muy altas de amoníaco y sustancias orgánicas. En contraste el de rellenos viejos tendrá alta concentración de sales y concentraciones apreciablemente menores de amoníaco, metales pesados y sustancias orgánicas. En consecuencia, las plantas de tratamiento de lixiviados con tecnología moderna deberían diseñarse como unidades de varias etapas que puedan

manejar las características del lixiviado variables con el tiempo. (Davis y Masten, 2005).

El tratamiento del lixiviado de un relleno sanitario varía mucho, en algunos casos se envía, sin tratamiento previo alguno, a las plantas de tratamiento de aguas negras municipales, donde se procesa en conjunto. En otros casos se trata mediante floculación química seguida de sedimentación y filtración, antes de la descarga al sistema municipal de alcantarillado. Una posibilidad de un sistema de tratamiento es emplear un proceso de lodo activado en dos etapas, nitrificación-desnitrificación, para eliminar amoníaco, DQO y DBO<sub>5</sub>. Este tratamiento tal vez no sea suficiente y se necesitará más procesamiento para eliminar la DQO residual. Entre diversas opciones están el carbón activado y el ozono. Sin embargo, ninguno de esos procesos de tratamiento eliminará el alto contenido de sales. En los casos en que se deban eliminar las sales, se puede aplicar ósmosis inversa. Un proceso común es el tratamiento biológico seguido de una etapa de ósmosis inversa. El tratamiento del lixiviado en el sitio se puede lograr reciclando el flujo a través del relleno, dejando que los microorganismos tengan más oportunidades de degradar al material biodegradable en el lixiviado. (Davis y Masten, 2005).

Existen varios métodos disponibles para el tratamiento, in situ, de lixiviados que han sido probados en rellenos sanitarios en funcionamiento. Entre las tecnologías, en uso, de tratamiento físico-químico se encuentran:

- Integración de corrientes.- El proceso de mezcla de corrientes hídricas y contaminantes, compensa la carga y reduce la concentración de contaminantes, incrementando la eficacia del tratamiento.
- Neutralización.- El proceso de neutralización compensa el valor del pH de una corriente hídrica, antes de su posterior tratamiento o vertido.
- Coagulación/Floculación.- Los procesos de coagulación/floculación facilitan la separación de contaminantes mediante la agregación de sólidos coloidales.

- Separación por gravedad.- La separación por gravedad permite que los materiales en suspensión sedimenten por gravedad, mientras que los aceites libres se unen por coalescencia y flotan.
- Rotura de emulsiones.- La adición de un agente de rotura de emulsiones, como la aplicación de calor o la adición de un ácido, deshace las emulsiones generando una mezcla de agua y aceite libre y/o un flóculo de aceite.
- Precipitación Química.- La adición de algunas sustancias químicas a las aguas residuales convierte las sales metálicas solubles en óxidos metálicos insolubles que pueden separarse por filtración.
- Oxidación/reducción química.- Mediante este tratamiento químico se consigue un cambio en la estructura de los contaminantes, convirtiéndolos en productos más biodegradables o más fáciles de tratar por adsorción, o generando productos inertes.
- Lavado con aire/vapor.- El proceso de lavado de efluentes hídricos con una corriente de aire o vapor permite la eliminación de contaminantes mediante la transferencia de los compuestos volátiles de la fase acuosa a la corriente del gas.
- Flotación.- La inyección de finas burbujas de aire, favorece la ascensión a la superficie de los sólidos, donde se produce una separación mecánica.
- Filtración con arena.- El proceso de filtración, mono o multicapa, con filtros granulares consiste en el empleo de un lecho poroso, fijo o móvil (por gravedad o a presión), a través del cual fluye la corriente líquida, que irá perdiendo los sólidos en suspensión en las capas porosas del lecho.
- Ultrafiltración.- Consiste en el empleo de de filtros extremadamente finos que permiten separar los contaminantes orgánicos en función de su tamaño molecular.
- Ósmosis inversa.- Consiste en una separación basada en la diferencia de concentración de sólidos en disolución, empleando una membrana selectiva semipermeable, que permite el paso de ciertos contaminantes en disolución y concentrarlos a un lado de la membrana.
- Filtros de tela.- El empleo de filtros de tela o de papel permite una retención de sólidos en suspensión.

- Adsorción con carbón.- este proceso consiste en hacer pasar la corriente de agua residual, a través de un lecho de carbón activado, en el cual quedan adsorbidas ciertas sustancias contaminantes, principalmente orgánicas.
- Intercambio iónico.- Consiste en poner en contacto la corriente de agua residual con una serie de resinas específicas, capaces de eliminar los contaminantes por afinidad de cargas.

Las tecnologías, basadas en el tratamiento biológico de efluentes hídricos, que se emplean en rellenos sanitarios son las que se indican a continuación:

- Sistemas aerobios.- Emplean una colonia de microorganismos aerobios para degradar, coagular y eliminar orgánicos y otros contaminantes.
- Lodos activos.- Es un proceso de tratamiento biológico aerobio que opera en continuo, y que se sirve de un crecimiento de microorganismos en suspensión para degradar contaminantes orgánicos.
- Sistemas anaerobios.- Producen la transformación de la materia orgánica, presente en la corriente de agua residual, en metano y dióxido de carbono, empleando microorganismos anaerobios.
- Sistemas facultativos.- Sirven para estabilizar los efluentes hídricos mediante la introducción en el sistema de una combinación de microorganismos aerobios, anaerobios y facultativos (capaces de operar tanto en condiciones aerobias como anaerobias).
- Contactores biológicos rotatorios.- Los contactores biológicos rotatorios (RBC) emplean una película fija de un sistema biológico aerobio que se adhiere a un tambor rígido montado sobre un eje giratorio horizontal.
- Filtros bacterianos (biofiltros).- En este proceso, se hace pasar la corriente de agua residual a través de una estructura compacta de material inerte (por ejemplo: piedra, madera, plástico) impregnada con una película de microorganismos biológicos fijada a la estructura, capaz de absorber y degradar los contaminantes orgánicos.

- Reactores discontinuos secuenciales.-consiste en un sistema secuencial de reactores, por cargas, acondicionados con microorganismos capaces de degradar la materia orgánica. Los procesos por cargas permiten realizar etapas de compensación, aireación y clarificación en un único tanque.
- Tratamiento biológico con carbón en polvo.- La adición de carbón activo, tamaño polvo, a los sistemas de tratamiento biológico refuerza la eliminación de ciertos contaminantes orgánicos.
- Sistemas de nitrificación.- Estos sistemas emplean bacterias nitrificantes, para convertir los compuestos nitrogenados o amónicos en otros compuestos, menos tóxicos, como nitratos o nitritos.
- Sistemas desnitrificantes.- Estos sistemas son capaces de convertir los compuestos de nitrato o nitritos en nitrógeno gas, en condiciones anaerobias.
- Aplicación sobre el terreno.- Consiste en el empleo de técnicas de atomización o irrigación de la corriente hídrica sobre el terreno, para llevar a cabo un tratamiento combinado de técnicas biológicas, químicas y físicas.
- Tratamiento en humedales.- Este sistema emplea tierras húmedas naturales o artificiales, que producen un tratamiento natural de las aguas residuales, mediante procesos de sedimentación, adsorción y degradación de la materia orgánica.

La secuencia de tratamientos empleada en una instalación determinada puede variar en función de las características de los contaminantes de los lixiviados generados en el relleno sanitario. El sistema de tratamiento óptimo para una instalación depende de muchos factores, incluyendo los requisitos permitidos, consideraciones de diseño, criterios de aceptación del relleno, y prácticas de gestión. (Corbitt, 2003).

## **CAPÍTULO 3.**

### **CARACTERÍSTICAS DEL RELLENO SANITARIO Y DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS**

#### **3.1 DESCRIPCIÓN DEL CANTÓN DE AMBATO**

Ambato tiene su origen en la palabra antigua Hambato, que significaría la Colina de la Rana, siendo que Hambatu o Jambatu proviene de la lengua quichua, que designa a un renacuajo propio del río que cruza la urbe. (Estrella, 2008).

La ciudad de Ambato, en cuanto a su arquitectura, es relativamente nueva; pues ha tenido que reconstruir sus edificios públicos y casas de vivienda debido a fuertes movimientos sísmicos. Así el terremoto del 5 de agosto de 1949, fue desastroso para la ciudad y es por ello que se encuentran pocos edificios antiguos. (Estrella, 2008). Ambato, es así un polo económico del centro del país que se ha transformado y desarrollado en forma dinámica y emprendedora, que surge en la segunda mitad del siglo veinte, gracias a la iniciativa y tenacidad de sus ciudadanos.

El cantón Ambato se ubica en la provincia de Tungurahua. Es la provincia más pequeña del Ecuador con una superficie de 3.200 km<sup>2</sup> de superficie, asentada en una hondonada, ubicada a 78° 37' 11" de longitud con relación al meridiano de Greenwich y a 1° 13' 28" de latitud sur. Con relación a la Línea Equinoccial, se sitúa a 2,577.067 metros sobre el nivel del mar. (Moncayo, 2007).

El cantón Ambato es parte de la provincia de Tungurahua, que está conformada por 9 cantones: Ambato, Baños, Cevallos, Mocha, Patate, Pillaro, Pelileo, Quero y Tisaleo. Ambato cuenta con 9 parroquias urbanas: Atocha - Ficoa, Celiano Monge, Huachi Chico, Huachi Loreto, La Matriz, La Merced, La Península, Pishilata y San Fernando; y



18 parroquias rurales: Ambatillo, Atahualpa, Constantino Fernández, Cunchibamba, Huachi Grande, Izamba, Juan Benigno Vela, A. N. Martínez, Montalvo, Pasa, Picaihua, Pilahuín, Quisapincha, San Bartolomé de Pinillo, San Fernando, Santa Rosa, Totoras y Unamuncho. (Tamayo, 2009).

### FOTOGRAFÍA 3. 1.- CIUDAD DE AMBATO



FUENTE: Ilustre Municipio de Ambato, 2008.  
DESCRIPCIÓN: Catedral de Ambato y Colegio Nacional Bolívar

Su privilegiada ubicación geográfica le ha permitido convertirse en uno de los cinco principales centros de comercialización del país, el proceso de crecimiento comercial por su ancestral articulación con la dinámica económica costeña y comercio agroindustrial. (Moncayo, 2007).

El problema de la basura se sitúa como uno de los prioritarios dentro de la problemática ambiental local y regional, por ser una de las ciudades que genera la mayor cantidad de basura.

#### 3.1.1 CLIMA

La ciudad de Ambato tiene un clima templado seco, la temperatura media anual es de 12 °C, siendo el mes de noviembre de una temperatura máxima diaria con un promedio mensual de 14,9 °C; mientras que en el mismo mes tiene una temperatura

mínima diaria más baja de 0.6 °C . Este mes tiene un mayor porcentaje de horas sol con 208% en contraste con el mes de Febrero que llega al 110,9%. Los días con más nubosidad son los meses de enero a marzo, junio y agosto, con vientos predominantes hacia el este con una velocidad máxima de 16,0 m/s en el mes de diciembre y una media de 3, 6 m/s. Los meses con mayor frecuencia de lluvia en el cantón son enero, febrero y de mayo a septiembre. (Moncayo, 2007).

El clima de la zona del proyecto de acuerdo a la clasificación de Thorthwaite está definido como mesotermico- subhmedo. Los datos analizados corresponden a la estación Ambato en la ciudad de Ambato. Los meses de mayor pluviosidad corresponden a marzo, abril, mayo, octubre y noviembre. Estos coinciden con los meses de temperaturas más elevadas (Moncayo, 2007).

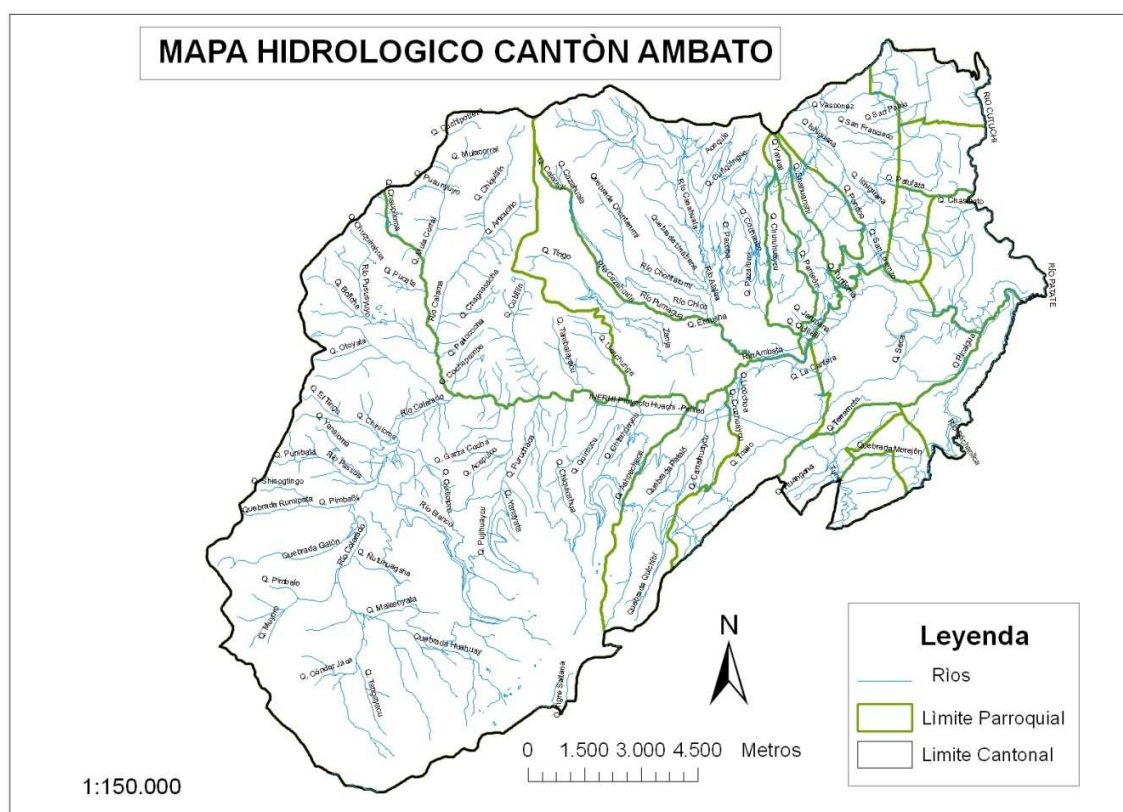
### **3.1.2 HIDROLOGÍA**

El territorio del cantón Ambato y su hidrografía forma parte de la gran cuenca del río Pastaza, siendo el territorio de la provincia de Tungurahua, parte de la cuenca alta del mencionado río. Así, desde la provincia de Cotopaxi viene el río Culapachan, y en la zona septentrional - norte de la provincia de Tungurahua se junta con el río Ambato y forman el río Patate, que al juntarse con el río Chambo, forman el río Pastaza. (Moncayo, 2007).

El río Ambato es alimentado por una serie de pequeños ríos y riachuelos que nacen en las estribaciones occidentales de la cordillera de Los Andes. Entre los principales afluentes del río Ambato se tiene: río Colorado, río Alajua, río Pumagua, río Casaguala, río Chiquicagua, río Blanco y río Calamaca. Otro afluente importante es el río Pachanlica que forma parte del límite del cantón Ambato con el cantón Pelileo, juntándose con el río Ambato, aguas abajo, casi en la confluencia del río Ambato con el Culapachan o también llamado en el tramo del cantón Culapachán, forman el río Patate. (Ver figura 3.1)

El mayor número de quebradas que conforman la cuenca del río Ambato se encuentran ubicadas principalmente a partir del nacimiento de éste, y en el trayecto del mismo, al cruzar por la ciudad; es decir, con dirección a la zona norte y nor-este del cantón. Entre las principales quebradas, se tiene: Quillalli, Casigana, La Quigo, Aguaján, Ashpachaca; y, una serie de quebradas de menor importancia, que también alimentan al río Culapachán. (Moncayo, 2007).

**FIGURA 3. 1.- ESQUEMA HIDROGRÁFICO DEL CANTÓN AMBATO**



FUENTE: Mapas Hidrográficos SENPLADES 2008.  
ELABORADO POR: Luis David López Fabara

La precipitación media anual acumulada para la ciudad de Ambato es de 542,8 mm con una máxima de 161,4 mm y una mínima de 1,2 mm, para el periodo comprendido

entre los años 1987-2007, estos datos corresponden a los registros de la estación meteorológica Aeropuerto Chachoan, que está ubicada cerca del relleno sanitario.

Los promedios mensuales para este periodo se presentan en las tablas 3.1 y 3.2:

**TABLA 3. 1.- PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL**

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
<b>Med</b>	32,7	52,7	61,4	65,7	57,6	45,0	26,0	23,5	27,9	50,6	54,7	45,1
<b>Máx</b>	75,4	117,5	105,6	93,4	161,4	126,9	61,4	56,2	115,4	136,2	142,9	127,2
<b>Mín</b>	5,3	6,8	16,5	23,9	21,4	2,9	1,3	1,2	4,2	3,4	13,4	3,7

FUENTE: Anuario meteorológico estación Aeropuerto Chachoan, 2010.

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

La evaporación media mensual es de 120 mm y la media anual es de 1450 mm, siendo estos valores relativamente altos, que se justifican con la coincidencia de los meses de mayor precipitación con los de mayor temperatura.

**TABLA 3. 2.- TEMPERATURA MEDIA MENSUAL PROMEDIO**

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
<b>Prom</b>	16,7	16,5	16,5	16,4	16,1	15,2	14,7	14,9	15,8	16,9	17,3	17,1
<b>Máx</b>	17,7	17,9	17,6	17,6	16,9	16,3	15,4	15,5	16,6	17,9	18,2	18,7
<b>Mín</b>	15,6	15,2	15,4	15,5	15,2	14,3	13,9	13,4	13,5	15,9	15,9	16,3

FUENTE: Anuario meteorológico estación Aeropuerto Chachoan, 2010.

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

La media de humedad relativa para la ciudad de Ambato es de 75.3 %, oscilando entre el 74% y 78 %. El valor medio de la nubosidad es de aproximadamente 6/8. La velocidad del viento para la estación Ambato es de 4,8 m/s con una dirección predominante sur-este. La variación entre los medios mínimos y medios máximos es de 2 m/s a 9 m/s.

### **3.1.3 MORFOLOGÍA DE LA ZONA**

El cantón Ambato está situado en el centro de la región interandina y cuenta con una topografía muy irregular: volcanes, montes, planicies, valles muy pródigos para la actividad agrícola y encañonados como el del río Ambato (vía a Aguaján). En él se encuentra algunas cadenas montañosas y volcanes como el Casahuala (4.545 m.), que está inactivo, el Quisapincha (4.530 m.), el Sagoatoa (4576 m.), todos ellos ubicados en la cordillera occidental de Los Andes. También se encuentran pendientes bajas y medias en sectores a las que se asciende con facilidad, especialmente ubicadas hacia el norte, en el área fronteriza del cantón Ambato con la Provincia de Cotopaxi como el cerro Negro, el cerro Quillopungo, cerro Sagoatoa, cerro Gallo Urco, entre otros. En la frontera con la provincia de Bolívar, se tiene el cerro Sombrero Urco, Guagua Pari y Pusunsuyo. (Moncayo, 2007).

### **3.1.4 USO ACTUAL Y POTENCIAL DEL SUELO**

En el cantón Ambato las características de los suelos son muy variables debido a varios factores: la complejidad del relieve, el gran desnivel altitudinal, los efectos de la actividad volcánica pasada y actual al que se ha sometido tantos años.

El uso del suelo está caracterizado de acuerdo a los siete paisajes agrarios principales: páramos, cultivos estacionales de altura, cultivo de maíz, habilla, cebada, y chochos, cultivos de hortalizas, frutales de clima templado y formación mixta con un estrato leñoso. (Moncayo, 2007).

El manejo de la basura y de los residuos desechables domésticos, industriales, orgánicos, hospitalarios tienen que ver con el cuidado del suelo, por eso es muy importante trabajar en el plan de manejo de residuos con el fin de contrarrestar la contaminación que trae consigo impactos irreversibles y proteger el medio ambiente.

### **3.1.5 POBLACIÓN**

El crecimiento urbano es uno de los fenómenos más comunes en nuestro país, las continuas olas de migración del campo a la ciudad han configurado a la ciudad de Ambato en sectores bien diferenciados uno con mayor acceso a todos los servicios básicos con mayor capacidad y acceso y oportunidades catalogados como los mejores, se les conoce con el nombre de barrios residenciales, áreas concentradores de servicios de mayor nivel, dejando las áreas peri-urbanas para los sectores más pobres donde se concentran las carencias. (Moncayo, 2007).

La población económicamente activa llega al 65% de la población, esto se convierte en un reto para la creación de nuevas alternativas medio ambientales que exige el involucramiento de toda la ciudadanía y que es parte del proceso ya iniciado, es oportuno remarcar la voluntad política existente de las autoridades municipales.

El cantón Ambato tiene una población estimada para el año 2011 de 320.582 habitantes de los cuales en el área urbana están 195.550 y 125.033 en el área rural. La tendencia de crecimiento poblacional es decreciente por la cercanía de otros cantones que también se van desarrollando como Cevallos, Pelileo, Píllaro entre otros.

La producción per cápita promedio (PPC) de basura en el cantón Ambato es de 1,36 kg/hab\*d. (Tamayo, 2009).

### **3.1.6 PROBLEMÁTICAS AMBIENTALES DE LA CIUDAD DE AMBATO**

El problema mayor del cantón Ambato es la planificación sin considerar variables ambientales; la contaminación de aguas superficiales y subterráneas por vertido de efluentes domiciliarios, industriales y de empresas de servicio; la contaminación del aire por ruidos, humo y gases tóxicos provenientes de automóviles e industrias; entre otros. (Moncayo, 2007).

En el cantón Ambato viven la mayoría de los habitantes de la provincia y es donde se agrupa la mayor cantidad de industrias de todo tipo. En el área urbana del cantón viven el 66 % de la población total de la provincia de Tungurahua. La capacidad instalada de las plantas de tratamiento de agua en el cantón es igual a 712 l/s, lo que corresponde a un consumo urbano de 61.516 m<sup>3</sup>/día (400 l/h.d). Debido a las pérdidas en las líneas de conducción se puede contar con un consumo de aproximadamente 200 l/h.d para toda la población.

La ciudad de Ambato no tiene ninguna planta de depuración de aguas residuales. Todas las originadas en el consumo de agua de los 320.000 habitantes que viven en el área urbana y rural del cantón son descargadas en el río Ambato.

El cantón Ambato se caracteriza por ser uno de los centros más importantes del Ecuador en lo referente a la producción de cuero. Se estima que en la provincia se procesa el 78 % de la producción nacional de cueros equivalente a 450.000 pieles. Esta actividad representa una fuente importante de ingresos para la provincia y de plazas de empleo. (Moncayo, 2007).

Debido al crecimiento de la producción de desechos orgánicos que presenta la ciudad de Ambato, que va en relación al crecimiento en otros países latinoamericanos y caribeños, es recomendable que desde este momento se busquen soluciones para reducir la cantidad de desechos que se producen en la ciudad o reciclarlos.

## 3.2 GESTIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN EL CANTÓN AMBATO

El ente encargado de la gestión de los residuos sólidos en la ciudad de Ambato es la Dirección Municipal de Higiene y Medio Ambiente, cuya orientación es la provisión equitativa a toda la población, de las condiciones mínimas de calidad, continuidad y cobertura de los servicios de limpieza y aseo, mejorando así las condiciones de bienestar y contribuyendo de manera integral con otras acciones que involucra a los varios sectores ciudadanos, en la mejora de la calidad de vida de la comunidad. (Tamayo, 2009).

**TABLA 3. 3.- RESUMEN DE DESECHOS SÓLIDOS RECOLECTADOS EN LA CIUDAD DE AMBATO.**

Zona	Urbano	Rural	Urbano - rural	Industrial	Mercados	Hospitalaria	Total
<b>(ton/día)</b>	124,8	64,1	5,61	11,8	8,5	0,8	215,61
<b>%</b>	57,9	29,7	2,6	5,5	3,9	0,4	100,0

FUENTE: Tamayo, 2009.  
ELABORADO POR: Luis David López Fabara

### 3.2.1 OPERACIÓN DEL RELLENO SANITARIO

La construcción (celdas, instalación de la geomembrana y construcción de tuberías de captación de lixiviados y biogás, la realiza un contratista) y la operación (está a cargo del Departamento de Higiene del IMA.) del relleno sanitario, arrancó en el año 2004. El relleno sanitario recibe los desechos sólidos que generan tanto las parroquias urbanas como rurales del cantón Ambato, que representan un total de 210 t/día. La composición es de un 60 % de materia orgánica, que favorece la formación de lixiviados y metano a partir de la misma. Todas las celdas tienen un sistema de captación de lixiviados y chimeneas pasivas de captación de biogás. (Moncayo, 2007).



Los lixiviados se captan y se descargan a la quebrada Chasinato. Hasta mayo del año 2007, los lixiviados se descargaban a una laguna de oxidación. Esta no se opera en la actualidad pues se cuenta con la planta de tratamiento de lixiviados.

En la actualidad se realiza únicamente la captación pasiva del biogás y su quema incontrolada. Como parte del proyecto se prevé la construcción de un sistema activo de captación de biogás y su aprovechamiento energético o quema controlada.

El relleno sanitario recibe directamente los residuos generados diariamente en las viviendas, los rechazos y/o residuos de los mercados, curtiembres, escombros, desechos hospitalarios y en general todos los desechos que se generan en el cantón Ambato.

El relleno sanitario posee las siguientes unidades operativas:

- Recolección de desechos sólidos
- Control de ingreso y pesaje
- Recepción y disposición de residuos sólidos en plataformas
- Captación y tratamiento de lixiviados
- Captación y quema de biogás
- Actividades de mantenimiento y control del predio

La construcción del relleno sanitario se la realiza en celdas utilizando el método de celda- trinchera, se excavan trincheras hasta una profundidad de 12 m. Este método de explotación permitirá dar estabilidad al relleno y minimizará el impacto visual del relleno así como permite un aprovechamiento óptimo de las áreas. (Moncayo, 2007).

### FOTOGRAFÍA 3. 2.- RELLENO SANITARIO



Fuente: Seminario Desechos Sólidos Ambato, 2010  
 Descripción: Panorámica del relleno sanitario y descarga de desechos.

El relleno sanitario comenzó a recibir residuos en junio año 2004. El relleno tiene una capacidad total de almacenamiento de aproximadamente 572.218 millones de toneladas. Actualmente, el relleno sanitario acepta cerca de 235 toneladas en promedio diariamente, con lo que se estima que para el primer trimestre del 2012 el relleno sanitario llegue al final de su vida útil. (Moncayo, 2007; Tamayo, 2009).

#### 3.2.2 SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE DESECHOS

La cobertura del servicio de recolección y transporte de los residuos sólidos dentro del cantón Ambato llega a un 93% en el área urbana y del 60% del área rural, llegando así a brindar el servicio a 268.359 habitantes. (Tamayo, 2009)

La recolección de los desechos en la ciudad de Ambato se la realiza través de 4 unidades operativas: por medio de tres empresas, Resizamba, Ecopaq y Globalparts y a través de 19 camiones pertenecientes a la municipalidad. (Moncayo, 2007).

El IMA realiza la recolección de los desechos sólidos en 16 zonas, la empresa Global Parts realiza la recolección de basura por medio del sistema contenerizado, en donde los usuarios depositan los desechos en bolsas o cartones a cualquier hora, estos recipientes contenedores son vaciados diariamente en horario diurno y nocturno en vehículos especiales diseñados para este efecto, lo realiza en 8 zonas. Esta empresa ha distribuido 545 contenedores, los cuales recogen alrededor del 35% de los residuos y el costo por tonelada recogida es de US\$ 28. Las dos microempresas realizan 4 viajes. El peso promedio de cada transporte es de 4000 kg/viaje en promedio. Por día se depositan 24.000 kg. (Tamayo, 2009).

### FOTOGRAFÍA 3. 3.- SISTEMA DE RECOLECCIÓN



FUENTE: Ilustre Municipio de Ambato, 2008.

DESCRIPCIÓN: Recolección contenerizada y recolección de desechos infecciosos.

### 3.2.3 DISPOSICIÓN DE DESECHOS

Antes de la construcción del relleno sanitario en el 2004, la ciudad de Ambato no disponía de una instalación técnicamente apropiada para la disposición final de los residuos. Los residuos sólidos se vertían a una quebrada en la vía Ambato – Píllaro, donde se podían observar todas las características de un botadero no controlado, donde los residuos estaban a la vista, presencia de vectores sanitarios, y olor típico de

materia en descomposición, aparte de la producción de lixiviados y contaminación del suelo y de las aguas superficiales y subterráneas. El municipio de Ambato, a través de los técnicos encargados y auditorías contratadas, cerró definitivamente y prohibió la disposición de residuos en el sitio, para que empiece a operar el primer relleno sanitario de la ciudad, con una extensión total de 18 ha. (Tamayo, 2009).

El relleno Sanitario de Ambato recibe diariamente alrededor de 235 t de residuos sólidos, donde el 60% son orgánicos. Pero los días lunes por ser día de feria, la producción es de 255 t. (Tamayo, 2009).

El área del relleno sanitario es irregular. La zona central es alargada con un recorrido de este a oeste. Al lado norte atraviesa una acequia que descarga las aguas residuales del camal municipal. Esta acequia descarga en el río Culapachan. La capacidad de procesamiento del conjunto de unidades operativas es de 80.000 t/año de basura, desechos que provienen de la ciudad de Ambato. Las instalaciones están diseñadas para la recepción de residuos sólidos urbanos y residuos asimilables a residuos urbanos.

#### **FOTOGRAFÍA 3. 4.- CONTROL DE INGRESO Y PESADO**



FUENTE: Ilustre Municipio de Ambato, 2008.  
DESCRIPCIÓN: Control de peso y balanza

Los camiones recolectores, después de pasar por el control de entrada, transportan y vuelca los residuos en la playa de descarga. La operación se efectúa con los equipos adecuados, un tractor del IMA, alcanzándose una densidad comprendida entre 0,8 y 0,9 t /m<sup>3</sup>, grado de compactación que minimiza el asentamiento de las superficies rellenadas. La disposición de los residuos se la realiza por el método de terrazas-trincheras, comenzando por la cota más baja del área y manteniendo en las celdas en algunos casos una inclinación menor a 1:1. (Moncayo, 2007).

Se trabaja volcando los residuos en una sola área desde donde se esparcen los desechos y se compactan con una capa de tierra hasta formar una superficie homogénea y plana. Posteriormente se realizan sucesivas pasadas de compactación sobre capas de 1 m de residuos. Simultáneamente se realiza la compactación de los mismos, lográndose un desgarramiento y desmenuzamiento de los residuos. (Moncayo, 2007).

### FOTOGRAFÍA 3. 5.- DISPOSICIÓN DE DESECHOS



FUENTE: Ilustre Municipio de Ambato, 2008.  
DESCRIPCIÓN: Compactación y conformación de la celda diaria

La basura se extiende en capas de 1.5 m. Cada dos capas de 1,5 se cubren con una capa de tierra de 0.20-0.30 m de espesor proveniente de la misma excavación de las celdas-trincheras. La compactación y esparcimiento de tierra la realiza un tractor del

IMA marca Dresser de 150 HP comprado en el año 1998. Adicionalmente se compacta la basura con el tráfico de las volquetas y los carros cisterna que riegan la basura con agua. La basura se riega diariamente con 2-3 tanqueros.

A continuación se resume el proceso de construcción y disposición de los desechos en el relleno sanitario:

**Primera etapa:** Se excava, separando el suelo vegetal del resto que será utilizado para construir el terraplén perimetral.

**Segunda etapa:** Se prepara la base del módulo donde se asentara la membrana de impermeabilización. Del fondo de la celda se extraen piedras o elementos punzantes que pudiesen perforar la membrana. La superficie de apoyo de la membrana se nivela para obtener una base de soporte perfectamente alisada y dándole las pendientes establecidas para luego proceder a la colocación de la membrana.

**Tercera etapa:** Colocación de la membrana de impermeabilización en la primera franja del módulo. La geomembrana se coloca sobre la superficie preparada y se procede al sellado térmico de los mismos. Esta membrana cubre, también, las paredes laterales de la celda y es anclada en una zanja excavada en la parte superior del mismo.

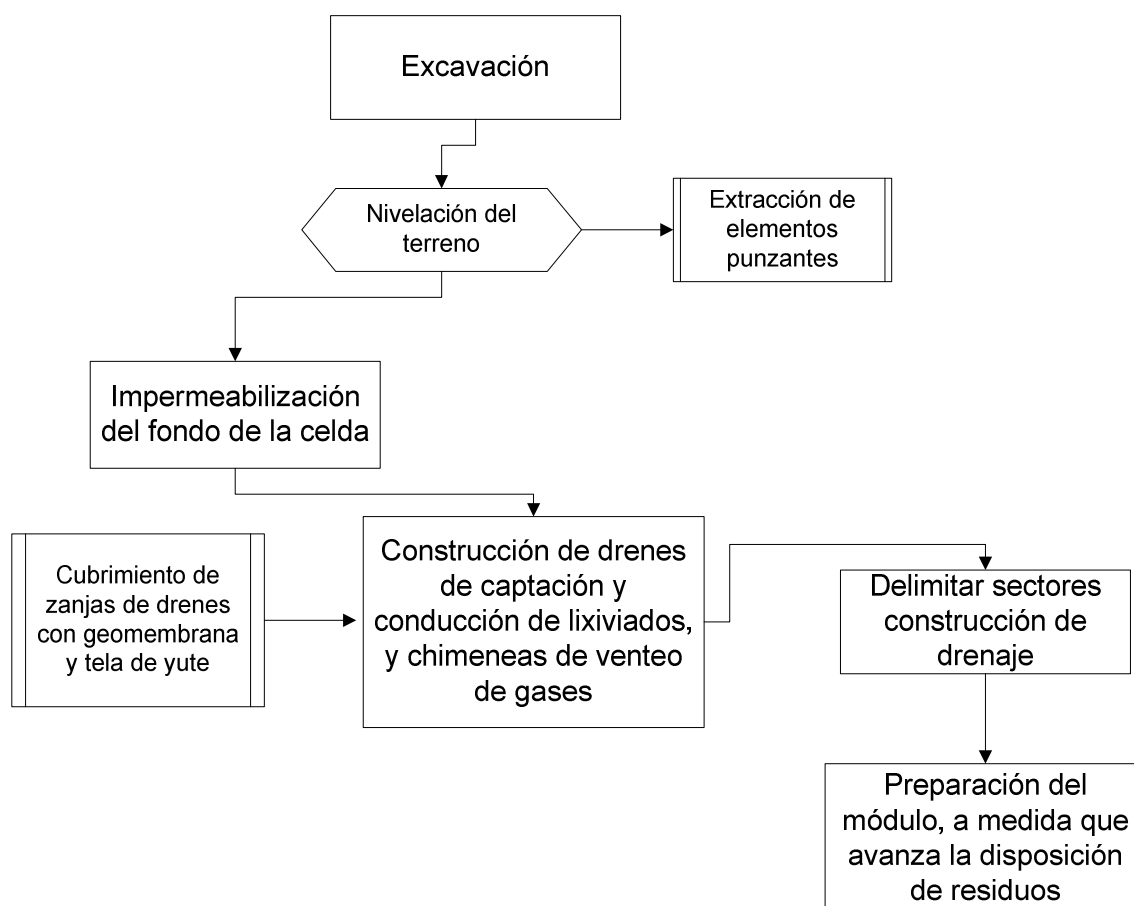
**Cuarta etapa.** Se procede a la construcción de los drenajes de captación y conducción de los lixiviados y de las chimeneas de venteo de biogás. Para la construcción de los drenajes se excava una zanja de 1.00 m de ancho y 0,50 m de profundidad aproximadamente. Se la cubre con geomembrana. Sobre esta se coloca una tela de yute y con la ayuda de una malla de alambre se forma un cajón. En este cajón se deposita piedra bola para que actúe como filtro. Se utiliza piedra bola de hasta un diámetro de 0,40 m en promedio. Después se procede a cubrir la zanja con la tela de yute y la malla de alambre.



**Quinta etapa.** En esta etapa se continúa avanzando con la secuencia de preparación del módulo y se comienzan delimitar los sectores para la construcción de los drenajes.

**Sexta etapa.** Se continúa con la preparación del módulo a medida que avancen la disposición de los residuos, de tal manera que siempre se cuente con una infraestructura preparada para la recepción de los residuos con una antelación de unos 3 meses.

**FIGURA 3. 2.- DIAGRAMA SIMPLIFICADO PROCESO DE CONSTRUCCIÓN Y DISPOSICIÓN DE LOS DESECHOS EN EL RELLENO SANITARIO.**



ELABORADO POR:

Luis David López Fabara

### 3.2.4 CANTIDAD Y COMPOSICIÓN DE DESECHOS

La población servida por el sistema de recolección de desechos es de 268.359 habitantes, se asume que hay un porcentaje de un 12 % de habitantes que todavía no están registrados. (Moncayo, 2007).

Conjuntamente con las actividades comerciales y turísticas, se genera un total de 235 t/día toneladas de residuos sólidos. La producción per cápita (PPC) promedio de residuos domiciliarios de la ciudad de Ambato es de 1.36 kg/hab\*día. Siendo el promedio Latino Americano es de 1 kg/hab\*día aproximadamente según una evaluación de la CEPAL. (Moncayo, 2007; Tamayo, 2009).

Entre los residuos sólidos urbanos que se depositan en el RS se encuentran aquellos que provienen de:

- Domicilios particulares
- Comercios
- Hospitales
- Industrias y agroindustria
- Instituciones (oficinas, colegios, clubes, etc.)
- Ferias y Mercados.

La cantidad de residuos recibidos en el relleno sanitario se estima en 235 t/d en promedio, de los cuales casi un 80 % son de carácter domiciliario, tan solo el 1% son de origen difuso (aunque con características admisibles por la normativa) que son generados y transportados por los particulares. Se estima que los mercados de la ciudad generan un 10 % de los desechos orgánicos. El 9 % de los desechos son generados por la industria y agroindustria. Los hospitales y casas de salud generan un máximo de 500 kg/d. (Moncayo, 2007).



Es importante recalcar que, el 60 % en promedio del flujo total de residuos sólidos urbanos recibidos en el relleno sanitario son de carácter orgánico (restos de comestibles, verduras, etc.) mientras que el resto de los residuos son de carácter orgánico de muy lenta biodegradación (textiles, papel, cartón, etc.) e inorgánicos como vidrio, plásticos y metales. (Moncayo, 2007).

**TABLA 3. 4.- COMPOSICIÓN DE DESECHOS DISPUESTOS EN EL RELLENO SANITARIO**

<b>Desechos</b>	<b>Peso (t)</b>	<b>%</b>
Orgánicos	334522,5	65
Papel - cartón	77197,5	15
Plástico	46318,5	9
Vidrio	15439,5	3
Maderas-árboles	25732,5	5
Metales	15439,5	3
<b>Total</b>	<b>514.650</b>	<b>100</b>

FUENTE: Tamayo, 2009

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

### **3.3 TRATAMIENTO ACTUAL A LOS LIXIVIADOS GENERADOS**

La Municipalidad de Ambato ha construido una planta de tratamiento de lixiviados (PTL) que se generan en el relleno sanitario, como una alternativa de solución para el tratamiento de este efluente de elevada carga contaminante. La PTL construida, cuenta con un sistema similar a los utilizados en varios países como Brasil, Colombia, México, Chile, y otros donde se reportan buenos resultados. (Moncayo, 2009).

#### **3.3.1 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO**

La planta se diseñó para tratar hasta 0,58 L/s de lixiviados, equivalentes a 2.1 m<sup>3</sup>/h. (Moncayo, 2009).

La PTL fue diseñada y construida bajo el concepto de un sistema híbrido de tratamiento, (ver tabla 3.5), conformado por cinco etapas que se señalan a continuación (ver diagrama de la figura 3.3 y la fotografía 3.6):

1. Tratamiento primario mecánico, rejilla para desbaste, eliminación de sólidos gruesos y sedimentables por intercepción.
2. Tratamiento biológico en un digestor anaeróbico de flujo ascendente y un biofiltro percolador aeróbico (FBP).
3. Tratamiento mecánico en un tanque de clarificación, tratamiento cuaternario químico consistente en un sistema de floculación.
4. Tratamiento mecánico en un lecho de secado
5. Tratamiento químico con cloración.

(METCALF & EDDY, INC, 1995; Moncayo, 2009).

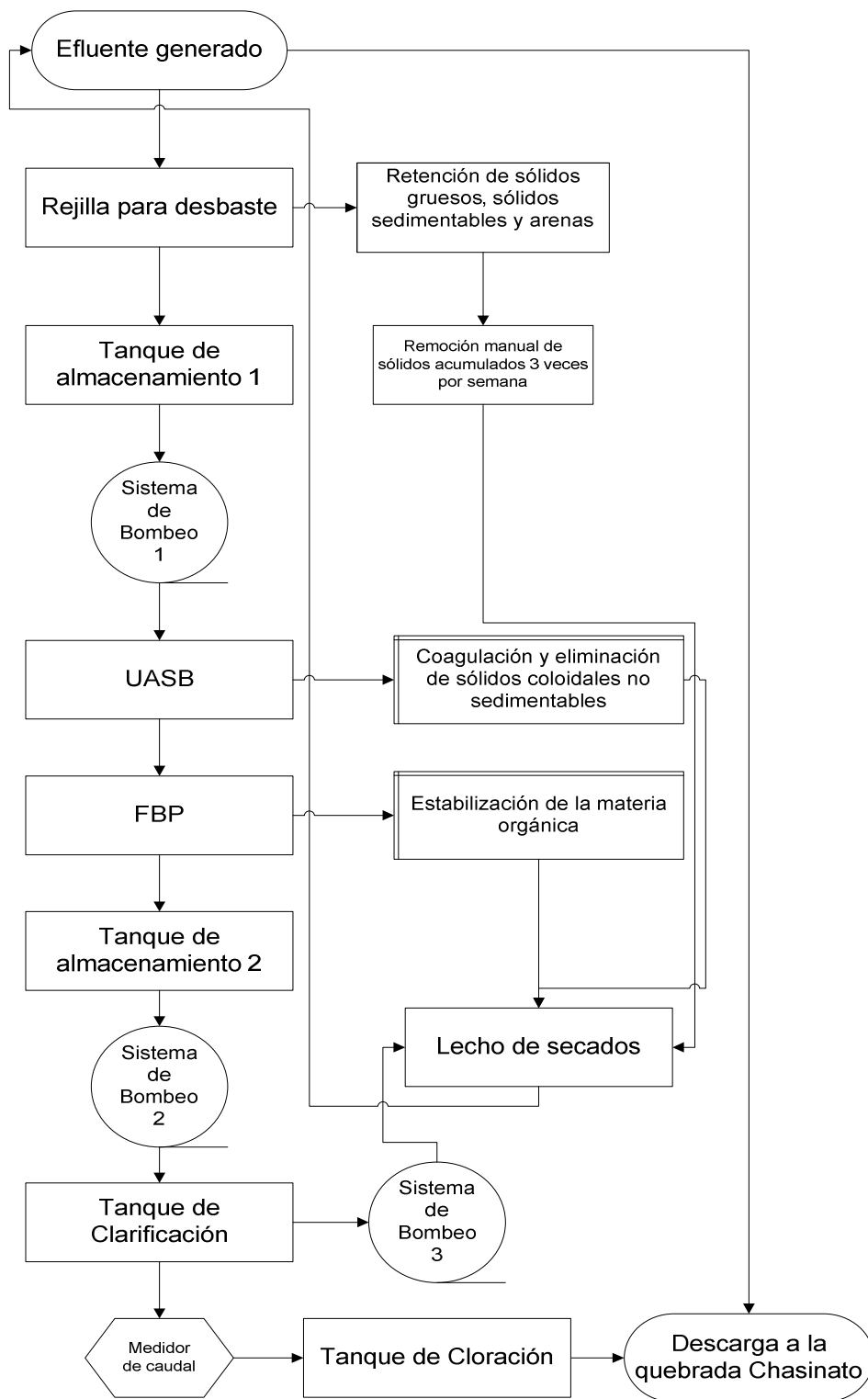
**TABLA 3. 5.- ETAPAS DE TRATAMIENTO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS**

ETAPAS	PROCESO DE TRATAMIENTO	FUNCIÓN
Mecánica	Sistema de rejilla y desarenador	Retención de sólidos gruesos y sedimentables y arenas
Biológica	Digestor UASB y Filtro Biológico Percolador	Degradación biológica de la materia orgánica
Mecánica-Física	Lecho de secado	Secado de los lodos
Química - Física	Clarificador	Eliminación de la turbiedad del agua
	Cloración	Eliminar bacterias y patógenos del agua

FUENTE: Moncayo, 2009

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

**FIGURA 3. 3.- DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO**



ELABORADO POR:

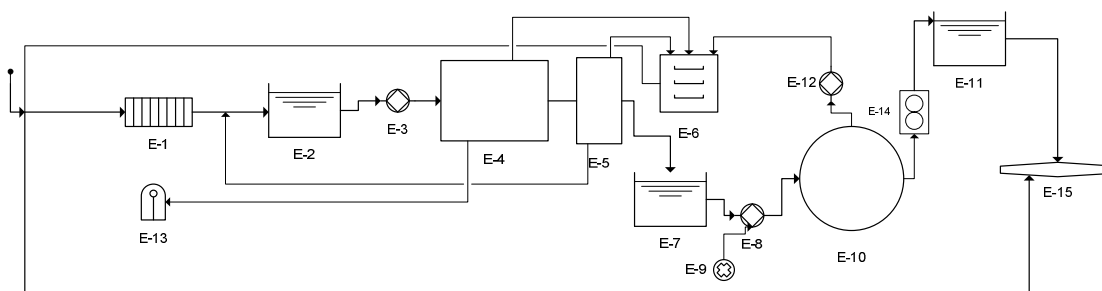
Luis David López Fabara

**FOTOGRAFÍA 3. 6.- PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS**



FUENTE: Ilustre Municipio de Ambato, 2010.

**FIGURA 3. 4.- DIAGRAMA DE PROCESO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO**



ELABORADO POR: Luis David López Fabara

**TABLA 3. 6.- OPERACIONES UNITARIAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS**

Número	Unidad	Función	Capacidad
E-1	Rejilla	Retención de sólidos gruesos, sólidos sedimentables y arenas.	2 mm
E-2	Tanque 1	Almacenamiento temporal del lixiviado para posterior bombeo.	2,25 m <sup>3</sup>

**Continúa....**

Continuación....

**TABLA 3.6.- OPERACIONES UNITARIAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS**

Número	Unidad	Función	Capacidad
E-3	Bomba 1	Transportar el lixiviado del tanque 1 al UASB	2 HP
E-4	UASB	Coagulación y eliminación de sólidos coloides no sedimentables	36 m <sup>3</sup>
E-5	FBP	Estabilización de la materia orgánica	19 m <sup>3</sup>
E-6	Lecho de secado	Deshidratar lodos provenientes de la rejilla, del UASB, del FBP y del tanque de clarificación.	3 m <sup>3</sup>
E-7	Tanque 2	Almacenamiento temporal del lixiviado para posterior bombeo.	2,25 m <sup>3</sup>
E-8	Bomba 2	Transportar el lixiviado del tanque 2 al tanque clarificador	1 HP
E-9	Tanque dosificador	Imprime la dosis adecuada de coagulante previamente establecida en el laboratorio.	500 L
E-10	Tanque clarificador	Provoca la agregación de pequeñas partículas aumentando el tamaño de las mismas, para mejorar su sedimentación por gravedad.	27 m <sup>3</sup>
E-11	Tanque de cloración	Eliminar microorganismos patógenos.	3 m <sup>3</sup>
E-12	Bomba 3	Conduce los lodos generados en el tanque clarificador al lecho de secado.	1 HP

Continúa....

Continuación....

**TABLA 3.6.- OPERACIONES UNITARIAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS**

E-13	Tanque quemador de biogas	Quema el biogás producido por el UASB	20 mbar
E-14	Medidor de caudal	Indica cuanto lixiviado se descarga a la quebrada	-
E-15	Tubo de descarga	Conduce el lixiviado tratado a la quebrada Chasinato.	200 mm

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

### 3.3.1.1 Estructura de ingreso

La estructura de ingreso consiste en un tanque-cajón de 20 cm de profundidad, posee de una rejilla de acero inoxidable con varillas de 10 mm de espesor y espaciadas a 50 mm, con una inclinación de 75°; un by pass, y un pozo de bombeo. La función principal de esta estructura es la retención sólidos gruesos, sólidos sedimentables, arenas y cualquier otro material extraño que pueda ocasionar daños a las bombas. El by pass se ha previsto desde la entrada hacia la quebrada, en caso de emergencia en la planta (Moncayo, 2009). (Ver figura 3.6).

### FOTOGRAFÍA 3. 7.- ESTRUCTURA DE INGRESO



FUENTE: Ilustre Municipio de Ambato, 2010.

### 3.3.1.2 Digestor UASB

El digestor UASB (Upflow Anarobic Sludge Blanket), es un sistema de tratamiento anaeróbico. El digestor UASB tiene un tanque de hormigón que forma una unidad compacta conjuntamente con el biofiltro. En este tanque se degrada la materia orgánica y se retienen sólidos en suspensión. (Ver fotografía 3.7).

El digestor tiene una forma rectangular, con una profundidad de 4,5 m, un volumen de 36 m<sup>3</sup>, con un tiempo de detención hidráulica de aproximadamente 4 horas, a una temperatura interior promedio de 20°C. Es necesario controlar el proceso en la etapa de arranque para lograr las condiciones normales de operación, con lo que el proceso se vuelve robusto contra variaciones de carga orgánica, siempre y cuando se mantenga el rango de temperatura de 20°C y se mantenga el régimen hidráulico. (Moncayo, 2009).

Los lixiviados son bombeados desde el cárcamo de bombeo ubicado en la estructura de entrada, hacia el tanque UASB. El lixiviado se descarga a un canal de reparto ubicado sobre la losa de cubierta del digestor. Se trata de una estructura para la distribución uniforme del caudal a cada tubería de conducción al fondo del digestor. Esta estructura dispone de compuertas para la regulación para cada tubería con lo que se regula el flujo para cada difusor, con 7 tubos de PVC distribuidos uniformemente, con lo que se consigue una uniformidad de la distribución del lixiviado en el fondo del digestor y se evita zonas muertas. Estas tuberías de alimentación tienen un diámetro de 110 mm. Para evitar taponamientos, el flujo está dirigido para obtener un movimiento ascendente contra el manto de lodos. En la parte superior del digestor se ha instalado un agitador para evitar la formación de espuma y costras. (Moncayo, 2009).

**FOTOGRAFÍA 3. 8.- DIGESTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE**

FUENTE: Ilustre Municipio de Ambato, 2009.

En el fondo de los digestores UASB se va formando un lecho de lodos que va reteniendo los sólidos suspendidos y contaminantes contenidos en los lixiviados. La retención ocurre por adherencia o retención. En este lecho de lodos ocurren procesos anaerobios que se van ampliando a todo el tanque del digester. Este proceso anaeróbico va descontaminando las aguas residuales y transformando los componentes orgánicos en  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  y en otros elementos. Lo que se espera en el digester UASB es que se descontamine el lixiviado hasta lograr una degradación de aproximadamente un 75 %. La eficiencia de degradación depende del tiempo de detención y de la carga orgánica volumétrica que se aplique al digester. (Moncayo, 2009).

Al interior del digester UASB ocurre un proceso anaeróbico de degradación de la materia orgánica que produce biogás. Este biogás es captado por medio de tuberías de acero inoxidable que conducen el biogás hacia a un sello hidráulico y a una unidad de combustión de biogás o quemador.



Después de este contacto con el lecho de lodos, las aguas ascienden a la superficie del digestor y son descargadas por gravedad hacia el biodigestor por medio de tuberías de PVC 110mm. El digestor UASB tiene dos desagües de fondo uno a cada lado con tubería de PVC de 200 mm con sus respectivas válvulas de control. Estos desagües conducen los lodos hacia el lecho de secado. Los lixiviados que se producen en el lecho de secado se conducen otra vez hacia el tanque desarenador por medio de una tubería de PVC de 200 mm, para continuar con el tratamiento en el digestor UASB. (Moncayo, 2009).

### **3.3.1.3 Filtro Biológico Percolador**

Es un tanque de hormigón armado con una base útil de 2x3 m; y una altura de 3,1 m desde la tina donde se recoge el lixiviado, hasta el borde del medio filtrante.

La conducción desde el digestor UASB hasta el biofiltro (BFP) se la realiza por gravedad en la parte superior por medio de 7 tuberías de PVC de 110 mm de diámetro con una separación de 10 cm. Estas tuberías son agujeradas en el tramo que corresponde al biofiltro. Estas tuberías descargan y percolan el lixiviado sobre un filtro sintético industrial de PVC, con una superficie unitaria de  $100 \text{ m}^2/\text{m}^3$  de material, con lo que se logra una mayor eficiencia en la descomposición de la materia orgánica. (Moncayo, 2009).

Este medio filtrante consiste en bloques que tienen agujeros y canales que permiten que el flujo percole o escurra hacia el fondo del digestor. En este medio filtrante se va formando un biofilme que es el que descontamina los componentes biológicos contenidos en el lixiviado. A medida que el lixiviado se escurre por los huecos y hendiduras del medio filtrante entra en contacto con las bacterias que descomponen a los contaminantes orgánicos.

El medio filtrante está colocado sobre una losa con agujeros que permite el drenaje o descarga del lixiviado y de sólidos o capas de biofilme, que se desprenden del medio filtrante, hacia la tina de recolección. La losa de drenaje cubre toda el área del piso. Esta tiene agujeros de 30 mm de diámetro espaciados a 20 cm en ambas direcciones. (Moncayo, 2009). (Ver fotografía 3.8).

En su parte exterior y ubicado a los dos costados hay 4 tuberías de ventilación de PVC, en un total de 8 con un diámetro de 110 mm que permiten el ingreso de aire hacia el interior del medio filtrante. Este ingreso de aire apoya la degradación de la materia orgánica y la formación del biofilme que se adhiere al medio filtrante. (Moncayo, 2009).

En el fondo del biofiltro tiene una tolva para recolectar el lixiviado tratado, la misma que tiene tres desagües con un diámetro de 110 mm con una pendiente del 1%, para la conducción del lixiviado tratado biológicamente hacia el tanque de bombeo 2, con lo que se asegura una velocidad de 0.6 m/s lo que evita la sedimentación en la tubería. Mediante esta unidad se bombeo el lixiviado hacia el tanque de clarificación. (Moncayo, 2009). (Ver fotografía 3.3).

### **FOTOGRAFÍA 3. 9.- TUBERÍAS DE ALIMENTACIÓN Y MEDIO FILTRANTE**



FUENTE: Ilustre Municipio de Ambato, 2009.

### 3.3.1.4 Clarificación y sistema de floculación

Esta etapa de tratamiento combina un proceso mecánico de sedimentación en el tanque de clarificación y un tratamiento químico por medio de un floculante químico, cloruro férrico, que se mezcla en el tanque dosificador, ubicado a un costado el clarificador.

El clarificador es un tanque circular construido en hormigón, con un diámetro de 5.5 m y una profundidad de 4.00 m. En su parte superior tiene un canal de descarga del lixiviado hacia el sistema de cloración. En el fondo del clarificador se han instalado dos bombas con una capacidad de 1 HP de succión de lodos que extrae los lodos que se sedimentan al fondo del clarificador. (Moncayo, 2009). (Ver fotografía 3.9).

#### FOTOGRAFÍA 3. 10.- TANQUE CLARIFICADOR



FUENTE: Ilustre Municipio de Ambato, 2010.

### 3.3.1.5 Lecho de secado de lodos

Para la recolección y secado de los lodos digeridos que se descargan del digestor UASB, del FBP, del tanque clarificador, y de los lodos que son sacados manualmente de la rejilla de desbaste, se cuenta con un lecho de secado. Esta es una estructura a base de ladrillo y un fondo de tubería de drenaje cubierto con geotextil para la recolección del lixiviado que contiene los lodos. Este lixiviado se conduce nuevamente al pozo de bombeo 1 para su tratamiento. Los lodos secos se los deposita en el relleno sanitario. (Moncayo, 2009). (Ver fotografía 3.10).

#### FOTOGRAFÍA 3. 11.- LECHOS DE SECADO



FUENTE: Ilustre Municipio de Ambato, 2009.

### 3.3.1.6 Sistema de cloración

En la planta de tratamiento existe también de un sistema de cloración consistente en un tanque de hormigón armado de 1,8 m de largo, 0,90 m de ancho y 1 m de alto. La dosificación se la realiza por medio de una llave de paso. Junto al tanque de cloración se ha instalado un medidor de caudal y dos llaves de cierre. Por medio de estas llaves de cierre se puede obstruir la descarga del lixiviado tratado hacia el tanque de cloración y descargarlo a la quebrada Chasinato. (Moncayo, 2009). (Ver fotografía 3.11).

#### FOTOGRAFÍA 3. 12.- TANQUE CLORADOR



FUENTE: Ilustre Municipio de Ambato, 2009.

### 3.3.1.7 Quemador de biogás

Al interior del digestor UASB se produce biogás, resultado de la digestión anaeróbica. Este biogás se capta en el digestor y es conducido hacia un quemador. El quemador

se compone de un tanque de eliminación de condensados, un tanque cortallamas, medidor de caudal y el quemador. (Moncayo, 2009). (Ver fotografía 3.12).

### **FOTOGRAFÍA 3. 13.- QUEMADOR DE BIOGAS**



FUENTE: Ilustre Municipio de Ambato, 2009.



## **CAPÍTULO 4.**

### **MUESTREO DE LIXIVIADOS, RELACIÓN CON EL TIPO DE DESECHOS Y PROPUESTA DE TRATAMIENTO**

#### **4.1 PROCEDIMIENTO DEL MUESTREO DE LÍQUIDOS LIXIVIADOS**

##### **4.1.1 GENERALIDADES**

El propósito general de esta investigación es establecer una caracterización de los lixiviados generados en el relleno sanitario de Ambato.

Existen limitaciones en un monitoreo, pues intervienen variables que requieren de interpolación, así como un buen conocimiento de las características hidrogeológicas. El movimiento de los lixiviados es muy variable, pues a diferencia de las aguas superficiales, el agua subterránea se mueve despacio y se produce muy poca mezcla, por lo tanto puede existir una amplia variedad de niveles de contaminación de la mezcla de las aguas subterráneas con líquidos lixiviados tanto en distancias cortas como en períodos cortos; el punto donde se obtienen las muestras de agua subterránea requiere la instalación de pozos adicionales de muestreo, información geológica, conocer la dirección del agua subterránea es prerequisite para colocar los pozos, se requieren perforaciones para medir el nivel freático. Adicionalmente son necesarios períodos largos de observación, del orden de meses y años, especialmente cuando el suelo bajo el depósito es roca fracturada. (Castillo, 1994).

En el caso específico del relleno sanitario de Ambato principalmente por limitaciones económicas no se contempló realizar el monitoreo de agua subterránea, lo que se ha

plasmado es relacionar parámetros físicos, químicos y biológicos, como indicadores de contaminación del tipo de desechos depositados.

#### 4.1.2 PROCEDIMIENTO Y SITIO DE MUESTREO

El lugar de muestreo, de los líquidos lixiviados se ubicó en el ingreso de éstos a la planta de tratamiento.

#### FOTOGRAFÍA 4. 1.- TOMA DE MUESTRAS



FUENTE: Luis David López Fabara, 2010.

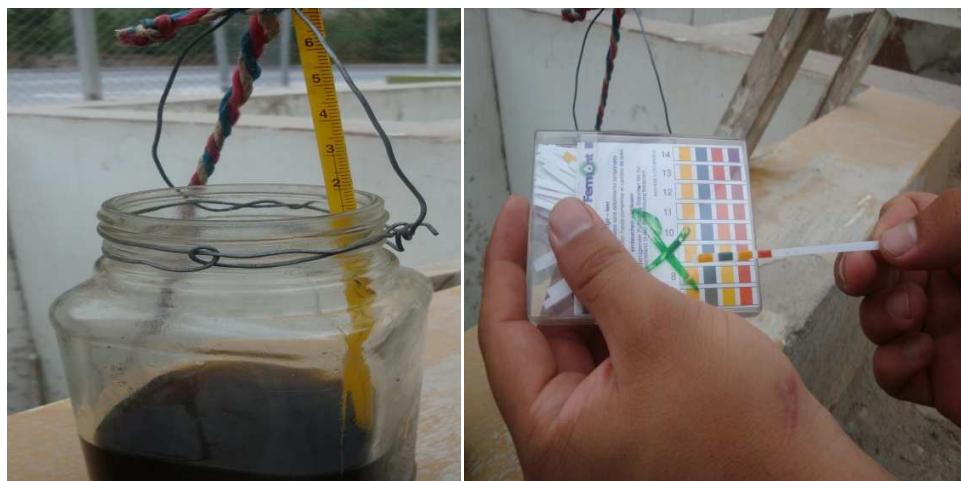
El procedimiento para el muestreo se indica a continuación.

- Medición de la temperatura del líquido lixiviado.
- Determinación del pH del líquido lixiviado, con cintas de pH.
- Recolección de la muestra compuesta y llenado del frasco de vidrio esmerilado de un litro, para determinación de parámetros físicos, químicos y biológicos.



- Recolección de muestra y llenado del recipiente estéril, para determinación de coliformes totales y fecales.
- Medición de caudal, volumétricamente en el tanque 1 de ingreso a la planta de tratamiento, para lo que se ejecutaban varias medidas, con un recipiente de 10 L.
- Anotación de novedades y toma de fotos.
- Transporte de la muestra al Laboratorio de Aguas y Microbiología de la Escuela Politécnica Nacional.

#### FOTOGRAFÍA 4. 2.- MEDICIÓN DE TEMPERATURA Y DETERMINACIÓN DEL pH



FUENTE: Luis David López Fabara, 2010.

## 4.2 PERÍODO Y FRECUENCIA DEL MUESTREO

### 4.2.1 PERÍODO DEL MUESTREO

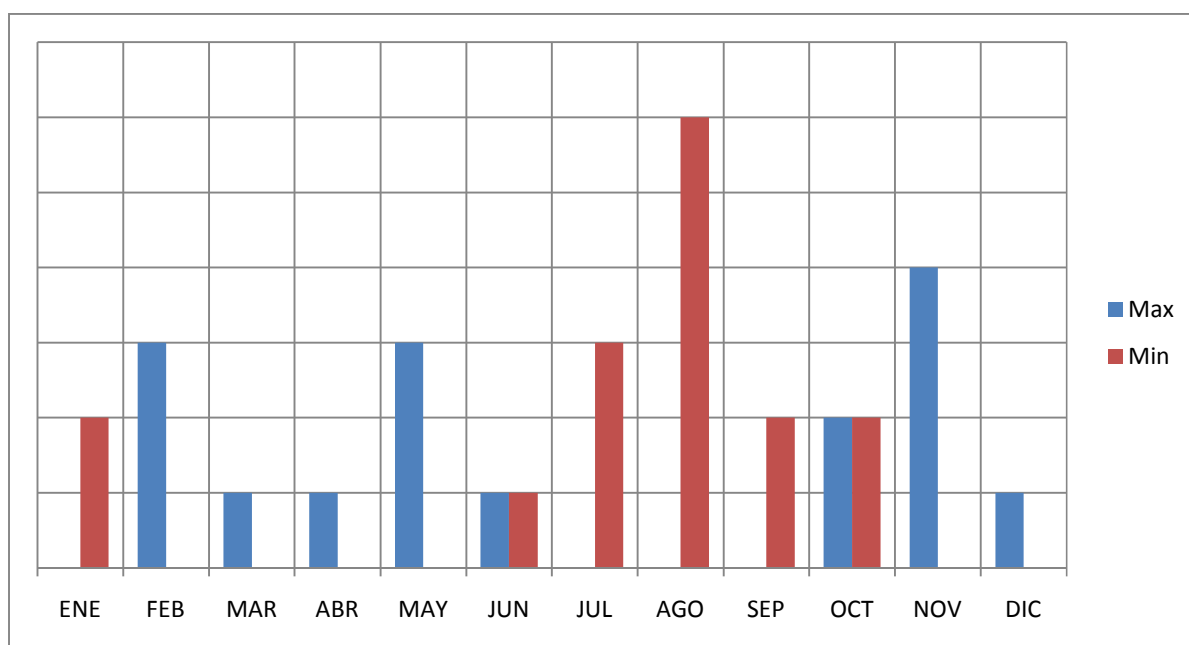
Las muestras se obtuvieron en función de los meses más secos y lluviosos del año, según los registros de los anuarios meteorológicos de los últimos 20 años, como se establece en la tabla 4.1 y en el gráfico 4.1.

**TABLA 4. 1.- REGISTRO HISTÓRICO DE PLUVIOSIDAD 1987 - 2007**

Mes	Repeticiones de Máxima	Repeticiones de Mínima
Enero	0	2
Febrero	3	0
Marzo	1	0
Abril	1	0
Mayo	3	0
Junio	1	1
Julio	0	3
Agosto	0	6
Septiembre	0	2
Octubre	2	2
Noviembre	4	0
Diciembre	1	0

FUENTE: Anuarios meteorológicos estación Aeropuerto Chachoan.

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

**GRÁFICO 4. 1.- REGISTRO HISTÓRICO DE PLUVIOSIDAD 1987 - 2007**

FUENTE: Anuarios meteorológicos estación Aeropuerto Chachoan.

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

De la tabla 4.1 y el gráfico 4.1, se pueden apreciar estadísticamente los meses con mayor y menor pluviosidad, por tanto, en lo que respecta a precipitación el período de muestreo adoptado fue el que se indica en la tabla 4.2.

**TABLA 4. 2.- MESES ELEGIDOS PARA EL MONITOREO**

<b>Meses lluviosos</b>	<b>Meses secos</b>
Mayo	Junio
Octubre	Julio

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

#### **4.2.2 FRECUENCIA DE MUESTREO**

El muestreo se lo realizó con frecuencia semanal, a continuación en la tabla 4.3 se detalla el calendario de muestreo.

**TABLA 4. 3.- CALENDARIO DE MUESTREO**

<b>Fecha</b>	<b>Hora de toma</b>	<b>Hora ingreso al laboratorio</b>	<b>Tipo de muestra</b>	<b>Tipo de agua residual colectada</b>	<b>Observaciones</b>
10-05-10	8:30	12:00	Compuesta	Cruda	Sin novedad
17-05-10	8:30	12:00	Compuesta	Cruda	Sin novedad
24-05-10	16:30	8:00	Compuesta	Cruda	Por feriado se ingresó el día siguiente
31-05-10	8:30	12:00	Compuesta	Cruda	Sin novedad
07-06-10	8:00	11:30	Compuesta	Cruda	Sin novedad
14-06-10	8:00	11:30	Compuesta	Cruda	Sin novedad

**Continúa....**

Continuación....

**TABLA 4.3.- CALENDARIO DE MUESTREO**

Fecha	Hora de toma	Hora ingreso al laboratorio	Tipo de muestra	Tipo de agua residual colectada	Observaciones
21-06-10	8:00	11:30	Compuesta	Cruda	Sin novedad
28-06-10	9:00	12:30	Compuesta	Cruda	Sin novedad
05-07-10	9:00	12:30	Compuesta	Cruda	Sin novedad
12-07-10	9:00	12:30	Compuesta	Cruda	Sin novedad
19-07-10	8:30	12:00	Compuesta	Cruda	Sin novedad
26-07-10	8:30	12:00	Compuesta	Cruda	Sin novedad
11-10-10	8:00	11:30	Compuesta	Cruda	Sin novedad
18-10-10	9:00	12:30	Compuesta	Cruda	Sin novedad
25-10-10	8:30	12:00	Compuesta	Cruda	Sin novedad

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

### **4.3 PARÁMETROS A DETERMINARSE EN EL LABORATORIO Y PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS.**

#### **4.3.1 INDICADORES DE CONTAMINACIÓN DE LÍQUIDOS LIXIVIADOS**

Los líquidos lixiviados son un sistema bastante complejo de sustancias, que se listan a continuación:

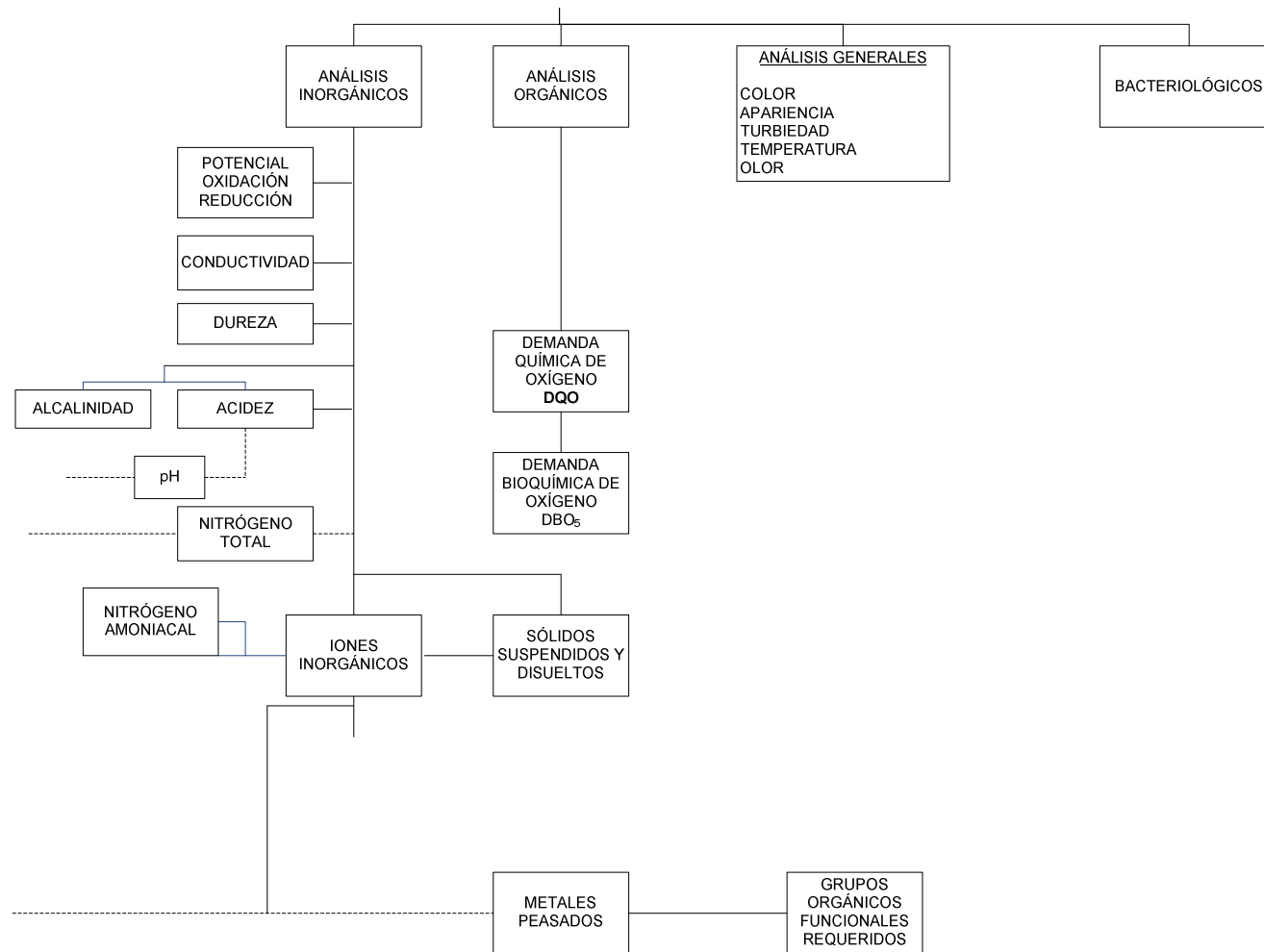
- Sustancias o compuestos solubles
- Sustancias o compuestos insolubles
- Sustancias o compuestos orgánicos
- Sustancias o compuestos inorgánicos

- Sustancias o compuestos aniónicos
- Sustancias o compuestos catiónicos
- Sustancias o compuestos bacteriológicos

La caracterización de este grupo de sustancias requiere de varios métodos analíticos que permitan determinar la carga contaminante en el líquido lixiviado del relleno sanitario. (Castillo, 1994).

Los indicadores de contaminación a utilizarse son escogidos en función principalmente del propósito del muestreo y de los costos que los análisis demandan, así como las regulaciones o normas establecidas por los organismos del Estado, encargados del control del ambiente. (Ver figura 4.1 y tabla 4.4).

**FIGURA 4. 1.- CARACTERIZACIÓN COMPLETA DE LOS LÍQUIDOS LIXIVIADOS**



FUENTE: Castillo, 1994.  
 ELABORADO POR: Luis David López Fabara

TABLA 4. 4.- INDICADORES DE LOS LÍQUIDOS LIXIVIADOS

Físicos	Químicos		Biológicos
	Orgánicos	Inorgánicos	
Apariencia	Fenoles	Bicarbonatos totales	Demanda Bioquímica de Oxígeno
Potencial Hidrógeno	Demanda Química de Oxígeno	Sólidos Totales Suspendidos	Coliformes totales y fecales
Conductividad	Carbono Orgánico Total	Sólidos Totales Volátiles	Streptococos fecales
Color	Ácidos Volátiles	Cloruros	Conteo estándar
Turbiedad	Taninas, Ligninas	Sulfatos	
Temperatura	Nitrógeno Orgánico	Fosfatos	
Olor	Aceites y grasas	Alcalinidad y acidez	
	MBAS	Nitratos	
	Hydrocarburos clorados	Nitritos	
	Grupos funcionales	Amonio	
		Sodio	
		Potasio	
		Calcio	
		Magnesio	
		Dureza	
		Metales pesados: Pb, Cu, Ni, Zn, Cd, Fe, Mn, Si, Hg, As, Se, Ba, Ag.	
		Cianuros	
		Fluoruros	

FUENTE: Castillo, 1994.

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

### 4.3.2 GRUPOS DE INDICADORES UTILIZADOS

Para la elección de los indicadores que se utilizaron en el estudio, se tuvo como base la metodología expuesta por el Ing. Marcelo Castillo en su tesis previa a la obtención del título de Máster en Ingeniería Ambiental, “Diagnóstico y caracterización de los líquidos lixiviados del botadero de basura Zámbriza”. (Ver tablas 4.5 a 4.9).

**TABLA 4. 5.- INDICADORES GENERALES**

Parámetro Guía	Expresado como	Unidades	Causa Común o Indicio
Conductividad	CE	uS/cm	Sales o ácidos orgánicos
Potencial Hidrógeno	pH	[H <sup>+</sup> ]	Ácidos orgánicos, amonio, sustancias orgánicas básicas
Temperatura	T	°C	Actividad biológica

FUENTE: Castillo, 1994.

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

**TABLA 4. 6.- IONES PROVENIENTES DE DEPÓSITOS DE POCA CONTAMINACIÓN INDUSTRIAL**

Parámetro Guía	Expresado como	Unidades	Causa Común o Indicio
Cloruros	Cl	mg/L	Cloruro de sodio proveniente de sustancias orgánicas, desechos domésticos
Amonio	NH <sub>3</sub>	mg/L	Degradación de albúmina anaeróbica
Nitrato	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	Degradación de albúmina anaeróbica

**Continúa....**



Continuación....

**TABLA 4.6.- IONES PROVENIENTES DE DEPÓSITOS DE POCA  
CONTAMINACIÓN INDUSTRIAL**

Parámetro Guía	Expresado como	Unidades	Causa Común o Indicio
Calcio	Ca <sup>+2</sup>	mg/L	Sustancias orgánicas y escombros de construcción
Sulfato	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	mg/L	Escombros de construcción y degradación aeróbica de albúmina
Hierro	Fe <sup>+3</sup>	mg/L	De enlatados, sustancias orgánicas y minerales
Boro	B	mg/L	Sustancias de lavado, indicador de desechos domésticos e industria metálica

FUENTE: Castillo, 1994.

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

**TABLA 4. 7.- METALES TÍPICOS Y COMPUESTOS ORGÁNICOS TÓXICOS  
PRODUCIDOS POR INFLUENCIA DE LA INDUSTRIA.**

Parámetro Guía	Expresado como	Unidades	Causa Común o Indicio
Níquel	Ni	ug/L	Baterías industria de galvanización
Cadmio	Cd	ug/L	Baterías, colorantes, estabilizadores, industria de galvanización
Cromo	Cr <sup>+6</sup>	ug/L	Industria galvanizadora, producción de acero inoxidable, curtiembres, colorantes y pigmentos
Cobalto	Co	ug/L	Colorantes y pigmentos

Continúa....

Continuación....

**TABLA 4.7.- METALES TÍPICOS Y COMPUESTOS ORGÁNICOS TÓXICOS  
PRODUCIDOS POR INFLUENCIA DE LA INDUSTRIA.**

<b>Parámetro Guía</b>	<b>Expresado como</b>	<b>Unidades</b>	<b>Causa Común o Indicio</b>
Plomo	Pb	ug/L	Baterías, acumuladores, pinturas, lubricación de máquinas
Mercurio	Hg	ug/L	Baterías, dentistas, productos fitosanitarios
Cinc	Zn	ug/L	Industria galvanizadora, anticorrosivos, colorantes y pigmentos, pomadas medicinales
Cobre	Cu	ug/L	Colorantes
Arsénico	As	ug/L	Curtiembres, industria metalúrgica
Cianuro	CN <sup>-</sup>	ug/L	Industria metalúrgica

FUENTE: Castillo, 1994.

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

**TABLA 4. 8.- CONTAMINACIONES ORGÁNICAS PROVENIENTES DE LA INDUSTRIA.**

<b>Parámetro Guía</b>	<b>Expresado como</b>	<b>Unidades</b>	<b>Causa Común o Indicio</b>
Suma de las sustancias orgánicas cloradas o adsorbibles	AOX	ug/L	Suma del cloro existente en compuestos orgánicos clorados generalmente de forma circular
Benzol-Tuol-Xylol	BTX	ug/L	Desechos de la industria textil

**Continúa....**

Continuación....

**TABLA 4.8.- CONTAMINACIONES ORGÁNICAS PROVENIENTES DE LA INDUSTRIA.**

<b>Parámetro Guía</b>	<b>Expresado como</b>	<b>Unidades</b>	<b>Causa Común o Indicio</b>
Grasas y aceites	Sustancias solubles en hexano	ug/L	Hidrocarburos no clorados, solventes, sustancias residuales de pinturas, aditivos a combustibles
Formaldehído y úrea	H-CH=O	ug/L	Sustancias de protección y de coagulación (industria textil)
Tetracloroetileno tetraclorometano	C <sub>2</sub> Cl <sub>4</sub>	ug/L	Sustancias utilizadas usualmente como solventes
Cloroformo	CHCl <sub>3</sub>	ug/L	Solventes y sustancias de extracción
Sustancias órgano fosforadas	P	ug/L	Jabones, terminación textil

FUENTE: Castillo, 1994.

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

**TABLA 4. 9.- CONTAMINACIONES ORGÁNICAS PROVENIENTES DE LA INDUSTRIA.**

<b>Parámetro Guía</b>	<b>Expresado como</b>	<b>Unidades</b>	<b>Causa Común o Indicio</b>
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO	mg/L	Demanda bioquímica de oxígeno luego de 5, 10, 20, etc. días bajo buenas condiciones bioquímicas de degradación.

**Continúa....**

Continuación....

**TABLA 4.9.- CONTAMINACIONES ORGÁNICAS PROVENIENTES DE LA INDUSTRIA.**

Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	Demanda química de oxígeno, debe ser determinada para la totalidad de las sustancias orgánicas oxidables.
Relación entre las sustancias orgánicas oxidables y las de fácil degradación	DBO <sub>5</sub> /DQO	-	Parámetro para determinar la posible degradación de la contaminación orgánica

FUENTE: Castillo, 1994.

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

Por lo expuesto anteriormente y también por limitaciones económicas y en el laboratorio, los indicadores que se establecieron fueron, las que se muestran en la tabla 4.10.

**TABLA 4. 10- INDICADORES DE LOS LÍQUIDOS LIXIVIADOS SELECCIONADOS**

Parámetro	Procedimiento	Parámetros derivados del análisis
<b>Físicos</b>		
Conductividad Eléctrica	Medida semanal con equipo HATCH	Estimación de sólidos disueltos totales
Oxígeno Disuelto	Medida semanal con equipo HATCH	
Potencial Hidrógeno	Medido semanal in-situ y con equipo HATCH	

Continúa....

Continuación....

**TABLA 4.10.- INDICADORES DE LOS LÍQUIDOS LIXIVIADOS SELECCIONADOS**

<b>Parámetro</b>	<b>Procedimiento</b>	<b>Parámetros derivados del análisis</b>
Temperatura	Medido semanal in-situ	
Turbidez	Medida semanal con equipo HATCH	Estimación de sólidos coloidales
<b>Químicos</b>		
Alcalinidad Fenolftaleína	Medida semanal por titulación	Carbonatos, bicarbonatos, hidroxilos
Alcalinidad Total	Medida semanal por titulación	Carbonatos, bicarbonatos, hidroxilos
Amoniaco expresado como Nitrógeno	Medido semanal con equipo HATCH	Amonio y amoniaco
Cromo hexavalente	Medido semanal con equipo HATCH	
Demanda Química de Oxígeno	Medida semanal con equipo HATCH	
Dureza Total	Medida semanal por titulación	Calcio, Magnesio
Nitrógeno Total Kendal	Medido semanal con equipo HATCH	
Sólidos Disueltos Totales	Medidos semanal por gravimetría	
Sólidos Suspendidos Totales	Medidos semanal por gravimetría	

Continúa....

Continuación....

**TABLA 4.10.- INDICADORES DE LOS LÍQUIDOS LIXIVIADOS SELECCIONADOS**

<b>Parámetro</b>	<b>Procedimiento</b>	<b>Parámetros derivados del análisis</b>
Sólidos Totales	Medidos semanal por gravimetría	
Sólidos Volátiles Totales	Medidos semanal por gravimetría	
<b>Biológicos</b>		
Demanda Bioquímica de Oxígeno	Medida semanal con equipo HATCH	

FUENTE: Castillo, 1994.

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

### 4.3.3 ANÁLISIS DE LOS INDICADORES MUESTREADOS

Los resultados de los diferentes indicadores, tanto en del monitoreo in-situ como luego de los respectivos análisis de laboratorio se encuentran tabulados para cada mes de muestreo. (Ver tablas 4.11 a 4.16 y gráficos 4.2 , 4.3, 4.4 A hasta 4.4 X)

Para la interpretación estadística de los datos obtenidos con el muestreo, se examinaron las siguientes técnicas estadísticas recomendadas para este fin.

- Cálculo del valor promedio
- Cálculo de la desviación estándar
- Distribución de frecuencias acumuladas
- Representaciones graficas con análisis de tendencias en el tiempo
- Intervalos de confiabilidad de valores promedios
- Comparación de valores promedio, mediante pruebas de hipótesis de significancia estadística. (Castillo, 1994).

De los métodos expuestos, se optó por el análisis de distribución de frecuencias acumuladas, debido a que este método ilustra las variaciones características en la calidad del agua, mediante una metodología de cálculo sencilla, durante los períodos de tiempo especificados para el análisis. Las variaciones son útiles al analizarlas, para establecer de mejor manera el comportamiento de los líquidos muestreados, en relación con los límites establecidos en las normas ambientales vigentes para la contaminación de los recursos hídricos.

El método de frecuencias acumuladas, consiste en ordenar los datos ascendentemente, de acuerdo a lo que en estadística descriptiva se denomina tabla o polígono de frecuencias acumuladas. Este método usa el concepto estadístico de los percentiles cuya fórmula para el percentil enésimo muestra la ecuación 4.1.

$$P = R \times \frac{N}{100} \quad (\text{Ecuación 4.1})$$

donde:

N = percentil a calcularse

R = número total de datos

P = representa al dato de la tabla ordenada, correspondiente al percentil a calcularse.  
(Castillo, 1994).

**TABLA 4. 11.- INDICADORES DEL MONITOREO IN-SITU**

Fecha	pH	Temperatura (°C)	Caudal (m <sup>3</sup> /h)
10-05-10	8	34	0,13
17-05-10	8	32	0,14

**Continúa....**

Continuación....

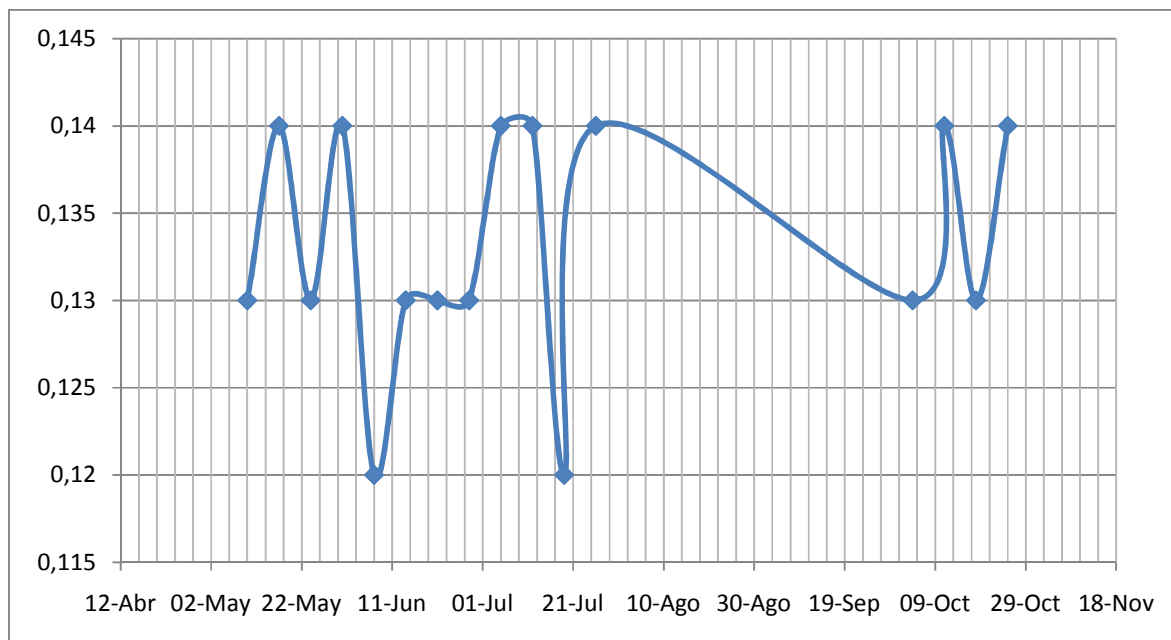
**TABLA 4.11.- INDICADORES DEL MONITOREO IN-SITU**

<b>Fecha</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Caudal (L/s)</b>
24-05-10	8	33	0,13
31-05-10	8	32	0,14
07-06-10	8	33	0,12
14-06-10	8	34	0,13
21-06-10	8	32	0,13
28-06-10	8	32	0,13
05-07-10	8	33	0,14
12-07-10	8	33	0,14
19-07-10	8	34	0,12
26-07-10	8	34	0,14
04-10-10	8	33	0,13
11-10-10	8	33	0,14
18-10-10	8	34	0,13
25-10-10	8	33	0,14
<b>Promedio</b>	8	33	0,13
<b>Máximo</b>	8	34	0,14
<b>Mínimo</b>	8	32	0,12

ELABORADO POR: Luis David López Fabara



**GRÁFICO 4. 2.- FLUCTUACIÓN DEL CAUDAL DURANTE EL TIEMPO DE ESTUDIO.**



ELABORADO POR: Luis David López Fabara

**TABLA 4. 12.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE TEMPERATURA**

Número	Datos	Percentil	Número	Valor
1	32	10	2	32
2	32	20	3	32
3	32	30	5	33
4	32	40	6	33
5	33	50	8	33
6	33	60	10	33
7	33	70	11	33
8	33	80	13	34

**Continúa....**

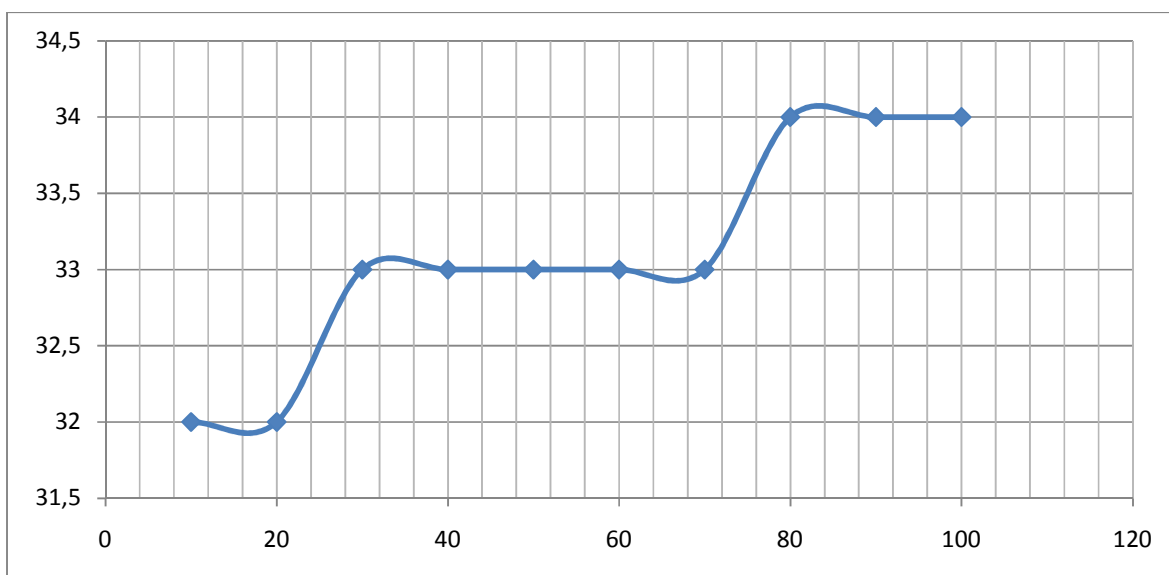
Continuación....

**TABLA 4.12.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE TEMPERATURA**

Número	Datos	Percentil	Número	Valor
9	33	90	14	34
10	33	100	16	34
11	33	<b>Mínimo</b>	32,00	
12	34	<b>Máximo</b>	34,00	
13	34	<b>Promedio</b>	33,06	
14	34			
15	34			
16	34			

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

**GRÁFICO 4. 3.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE TEMPERATURA**



ELABORADO POR: Luis David López Fabara

TABLA 4. 13.- MONITOREO DE INDICADORES DEL MES DE MAYO

Indicador	Expresado como	Unidad	10-05-10	17-05-10	24-05-10	31-05-10
<b>Físicos</b>						
Conductividad Eléctrica	CE	mS/cm	31,80	31,20	28,40	31,90
Oxígeno Disuelto	OD	mg/L	0,60	0,30	0,20	0,40
Potencial Hidrógeno	pH	-	8,33	8,74	8,45	8,50
Turbidez	Turbidez	NTU	293,00	561,00	207,00	292,00
<b>Químicos</b>						
Alcalinidad Fenoltaleína	Alcalinidad P	mg/L	3824,59	2404,03	1311,29	1529,84
Alcalinidad Total	Alcalinidad T	mg/L	17811,65	29503,97	15298,35	19887,86
Amoniaco	NH <sub>3</sub>	mg/L	2330,20	2562,00	3269,60	3751,50
Amoniaco expresado como Nitrógeno	NH <sub>3</sub> -N	mg/L	1910,00	2100,00	2680,00	3075,00
Amonio	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/L	2463,90	2709,00	3457,20	3966,75
Bicarbonatos	[HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ]	mg/L	12398,22	30129,01	15464,45	20530,39
Calcio	Ca <sup>++</sup>	mg/L	80,00	240,00	80,00	120,00
Carbonatos	[CO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ]	mg/L	4589,51	2884,83	1573,54	1835,80

Continúa....

Continuación....

**TABLA 4.13.- MONITOREO DE INDICADORES DEL MES DE MAYO**

Indicador	Expresado como	Unidad	10-05-10	17-05-10	24-05-10	31-05-10
Cromo hexavalente	Cr <sup>+6</sup>	mg/L	3,00	3,00	3,00	3,00
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	4975,00	4900,00	2500,00	2750,00
Dureza Cálcica	Dureza Ca	mg/L	200,00	600,00	200,00	300,00
Dureza Magnésica	Dureza Mg	mg/L	300,00	300,00	600,00	800,00
Dureza Total	Dureza T	mg/L	500,00	900,00	800,00	1100,00
Magnesio	Mg <sup>++</sup>	mg/L	72,00	72,00	144,00	192,00
Nitrógeno Total Kjeldahl	TKN	mg/L	3900,00	2950,00	3500,00	3990,00
Sólidos Disueltos Totales	SDT	mg/L	17317,00	17799,00	7634,00	16025,00
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/L	1572,00	1373,00	3389,00	1476,00
Sólidos Totales	ST	mg/L	18889,00	19172,00	11023,00	17501,00
Sólidos Volátiles Totales	SVT	mg/L	5445,00	9319,00	4586,00	3557,00
<b>Biológicos</b>						
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO <sub>5</sub>	mg/L	1400,00	2000,00	920,00	1200,00

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

TABLA 4. 14.- MONITOREO DE INDICADORES DEL MES DE JUNIO

Indicador	Expresado como	Unidad	07-06-10	14-06-10	21-06-10	28-06-10
<b>Físicos</b>						
Conductividad Eléctrica	CE	mS/cm	27,70	30,60	23,70	32,30
Oxígeno Disuelto	OD	mg/L	0,30	0,20	0,30	0,30
Potencial Hidrógeno	pH	-	8,72	8,49	8,56	8,63
Turbidez	Turbidez	NTU	770,00	341,00	360,00	604,00
<b>Químicos</b>						
Alcalinidad Fenoltaleína	Alcalinidad P	mg/L	1857,66	1529,84	1420,56	1529,84
Alcalinidad Total	Alcalinidad T	mg/L	18904,39	18904,39	18904,39	19450,76
Amoniaco	NH <sub>3</sub>	mg/L	2531,50	2440,00	3050,00	2958,50
Amoniaco expresado como Nitrógeno	NH <sub>3</sub> -N	mg/L	2075,00	2000,00	2500,00	2425,00
Amonio	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/L	2676,75	2580,00	3225,00	3128,25
Bicarbonatos	[HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ]	mg/L	18530,68	19330,56	19597,19	19997,13
Calcio	Ca <sup>++</sup>	mg/L	80,00	80,00	120,00	80,00
Carbonatos	[CO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ]	mg/L	2229,19	1835,80	1704,67	1835,80

Continúa....

Continuación....

TABLA 4.14.- MONITOREO DE INDICADORES DEL MES DE JUNIO

Indicador	Expresado como	Unidad	07-06-10	14-06-10	21-06-10	28-06-10
Cromo hexavalente	Cr <sup>+6</sup>	mg/L	1,00	2,00	1,00	1,00
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	6300,00	3100,00	4200,00	3900,00
Dureza Cálcica	Dureza Ca	mg/L	200,00	200,00	300,00	200,00
Dureza Magnésica	Dureza Mg	mg/L	1500,00	700,00	700,00	700,00
Dureza Total	Dureza T	mg/L	1700,00	900,00	1000,00	900,00
Magnesio	Mg <sup>++</sup>	mg/L	360,00	168,00	168,00	168,00
Nitrógeno Total Kjeldahl	TKN	mg/L	3450,00	3750,00	3300,00	3700,00
Sólidos Disueltos Totales	SDT	mg/L	15613,00	18347,00	18753,00	18168,00
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/L	11902,00	665,00	613,00	639,00
Sólidos Totales	ST	mg/L	27515,00	19012,00	19366,00	18807,00
Sólidos Volátiles Totales	SVT	mg/L	4892,00	4286,00	4526,00	10955,00
<b>Biológicos</b>						
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO <sub>5</sub>	mg/L	2500,00	1200,00	1300,00	1800,00

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

TABLA 4. 15.- MONITOREO DE INDICADORES DEL MES DE JULIO

Indicador	Expresado como	Unidad	05-07-10	12-07-10	19-07-10	26-07-10
<b>Físicos</b>						
Conductividad Eléctrica	CE	mS/cm	33,40	32,56	33,68	33,54
Oxígeno Disuelto	OD	mg/L	0,20	0,20	0,30	0,20
Potencial Hidrógeno	pH	-	8,80	8,76	8,60	8,48
Turbidez	Turbidez	NTU	543,00	439,00	347,00	456,00
<b>Químicos</b>						
Alcalinidad Fenoltaleína	Alcalinidad P	mg/L	1497,86	1724,76	1642,23	2723,97
Alcalinidad Total	Alcalinidad T	mg/L	18643,71	17947,85	18326,41	19642,24
Amoniaco	NH <sub>3</sub>	mg/L	3220,80	3391,60	3574,60	2989,00
Amoniaco expresado como Nitrógeno	NH <sub>3</sub> -N	mg/L	2640,00	2780,00	2930,00	2450,00
Amonio	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/L	3405,60	3586,20	3779,70	3160,50
Bicarbonatos	[HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ]	mg/L	19090,55	17687,96	18351,18	17317,05
Calcio	Ca <sup>++</sup>	mg/L	120,00	80,00	80,00	120,00
Carbonatos	[CO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ]	mg/L	1797,43	2069,71	1970,68	3268,76

Continúa....

Continuación....

TABLA 4.15.- MONITOREO DE INDICADORES DEL MES DE JULIO

Indicador	Expresado como	Unidad	05-07-10	12-07-10	19-07-10	26-07-10
Cromo hexavalente	Cr <sup>+6</sup>	mg/L	2,00	1,00	2,00	1,00
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	3500,00	4100,00	3700,00	4700,00
Dureza Cálcica	Dureza Ca	mg/L	300,00	200,00	200,00	300,00
Dureza Magnésica	Dureza Mg	mg/L	900,00	600,00	800,00	1000,00
Dureza Total	Dureza T	mg/L	1200,00	800,00	1000,00	1300,00
Magnesio	Mg <sup>++</sup>	mg/L	216,00	144,00	192,00	240,00
Nitrógeno Total Kjeldahl	TKN	mg/L	3550,00	3630,00	3800,00	3640,00
Sólidos Disueltos Totales	SDT	mg/L	17284,00	15632,00	18543,00	16153,00
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/L	1681,00	2211,00	933,00	1389,00
Sólidos Totales	ST	mg/L	18965,00	17843,00	19476,00	17542,00
Sólidos Volátiles Totales	SVT	mg/L	7896,00	8761,00	3542,00	4629,00
<b>Biológicos</b>						
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO <sub>5</sub>	mg/L	1200,00	1100,00	1100,00	2000,00

ELABORADO POR: Luis David López Fabara



TABLA 4. 16.- MONITOREO DE INDICADORES DEL MES DE OCTUBRE

Indicador	Expresado como	Unidad	04-10-10	11-10-10	18-10-10	25-10-10
<b>Físicos</b>						
Conductividad Eléctrica	CE	mS/cm	33,40	32,56	33,68	33,54
Oxígeno Disuelto	OD	mg/L	0,20	0,20	0,30	0,20
Potencial Hidrógeno	pH	-	8,80	8,76	8,60	8,48
Turbidez	Turbidez	NTU	543,00	439,00	347,00	456,00
<b>Químicos</b>						
Alcalinidad Fenoltaleína	Alcalinidad P	mg/L	1497,86	1724,76	1642,23	2723,97
Alcalinidad Total	Alcalinidad T	mg/L	18643,71	17947,85	18326,41	19642,24
Amoniaco	NH <sub>3</sub>	mg/L	3220,80	3391,60	3574,60	2989,00
Amoniaco expresado como Nitrógeno	NH <sub>3</sub> -N	mg/L	2640,00	2780,00	2930,00	2450,00
Amonio	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/L	3405,60	3586,20	3779,70	3160,50
Bicarbonatos	[HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ]	mg/L	19090,55	17687,96	18351,18	17317,05
Calcio	Ca <sup>++</sup>	mg/L	120,00	80,00	80,00	120,00
Carbonatos	[CO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ]	mg/L	1797,43	2069,71	1970,68	3268,76

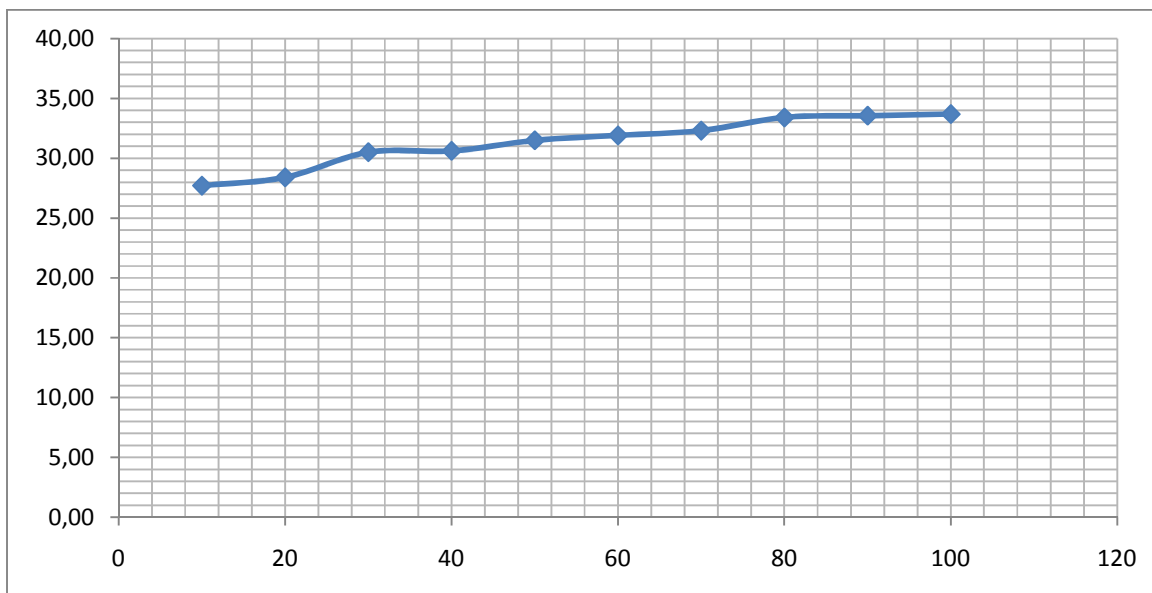
Continúa....

Continuación....

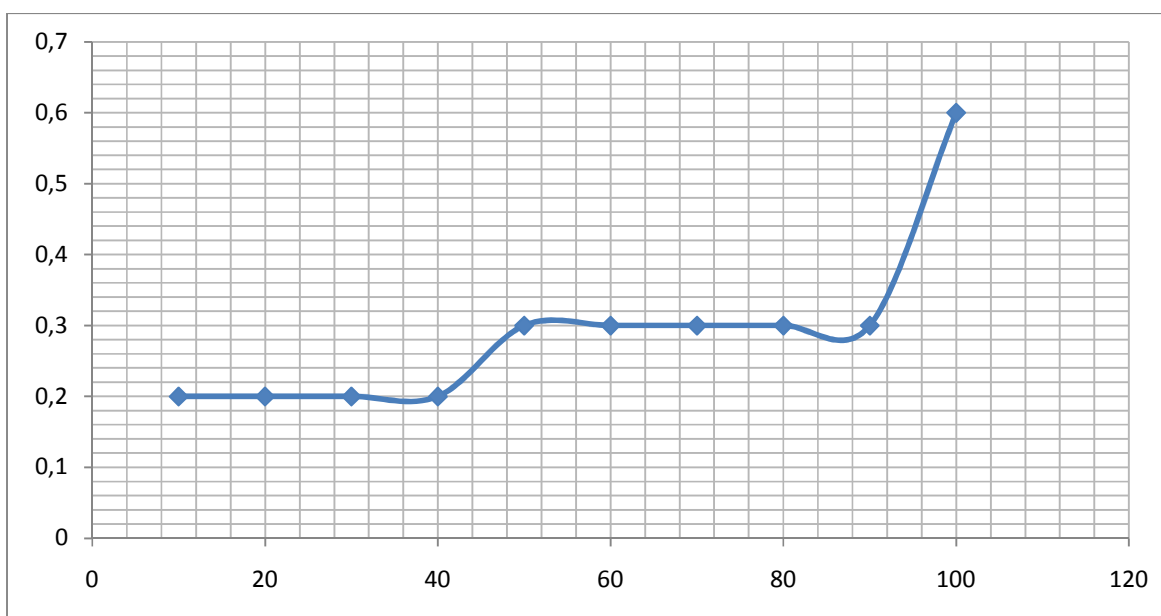
**TABLA 4.16.- MONITOREO DE INDICADORES DEL MES DE OCTUBRE**

<b>Indicador</b>	<b>Expresado como</b>	<b>Unidad</b>	<b>04-10-10</b>	<b>11-10-10</b>	<b>18-10-10</b>	<b>25-10-10</b>
Cromo hexavalente	Cr <sup>+6</sup>	mg/L	2,00	1,00	2,00	1,00
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	3500,00	4100,00	3700,00	4700,00
Dureza Cálcica	Dureza Ca	mg/L	300,00	200,00	200,00	300,00
Dureza Magnésica	Dureza Mg	mg/L	900,00	600,00	800,00	1000,00
Dureza Total	Dureza T	mg/L	1200,00	800,00	1000,00	1300,00
Magnesio	Mg <sup>++</sup>	mg/L	216,00	144,00	192,00	240,00
Nitrógeno Total Kendal	TKN	mg/L	3550,00	3630,00	3800,00	3640,00
Sólidos Disueltos Totales	SDT	mg/L	17284,00	15632,00	18543,00	16153,00
Sólidos Suspendedos Totales	SST	mg/L	1681,00	2211,00	933,00	1389,00
Sólidos Totales	ST	mg/L	18965,00	17843,00	19476,00	17542,00
Sólidos Volátiles Totales	SVT	mg/L	7896,00	8761,00	3542,00	4629,00
<b>Biológicos</b>						
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO <sub>5</sub>	mg/L	1200,00	1100,00	1100,00	2000,00

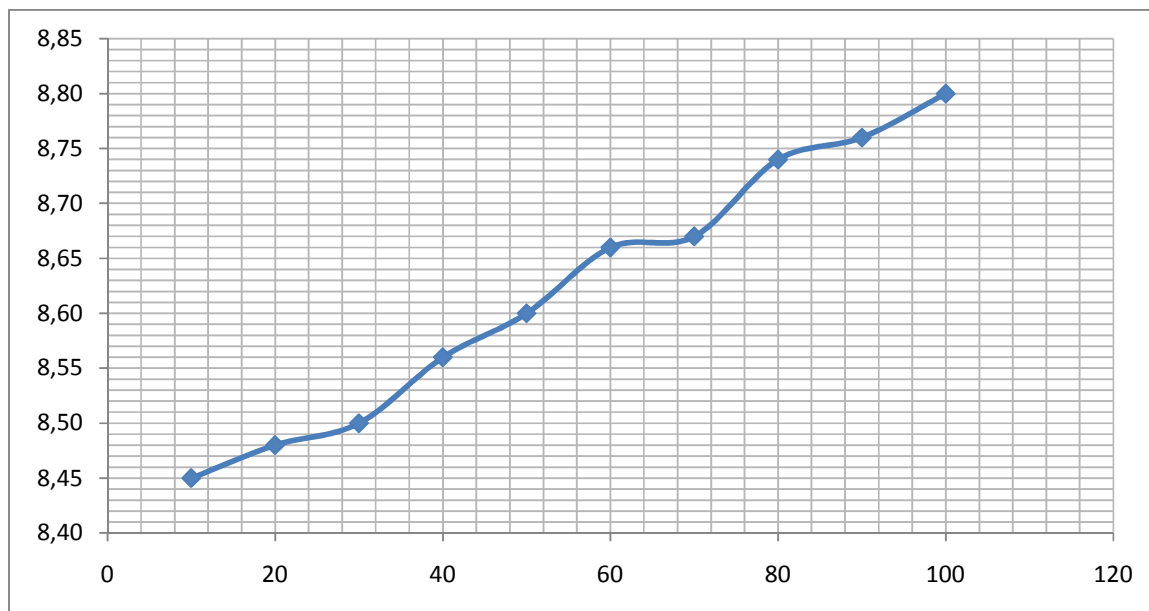
ELABORADO POR: Luis David López Fabara

**GRÁFICO 4.4 A.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE CONDUCTIVIDAD**

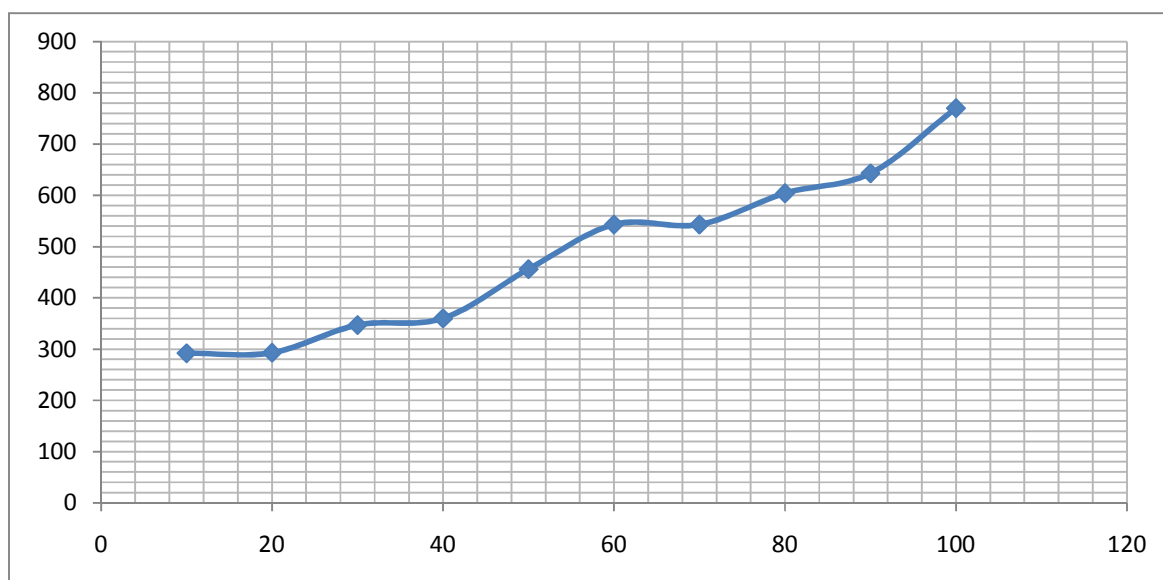
ELABORADO POR: Luis David López Fabara

**GRÁFICO 4.4 B.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE OXÍGENO DISUELTO**

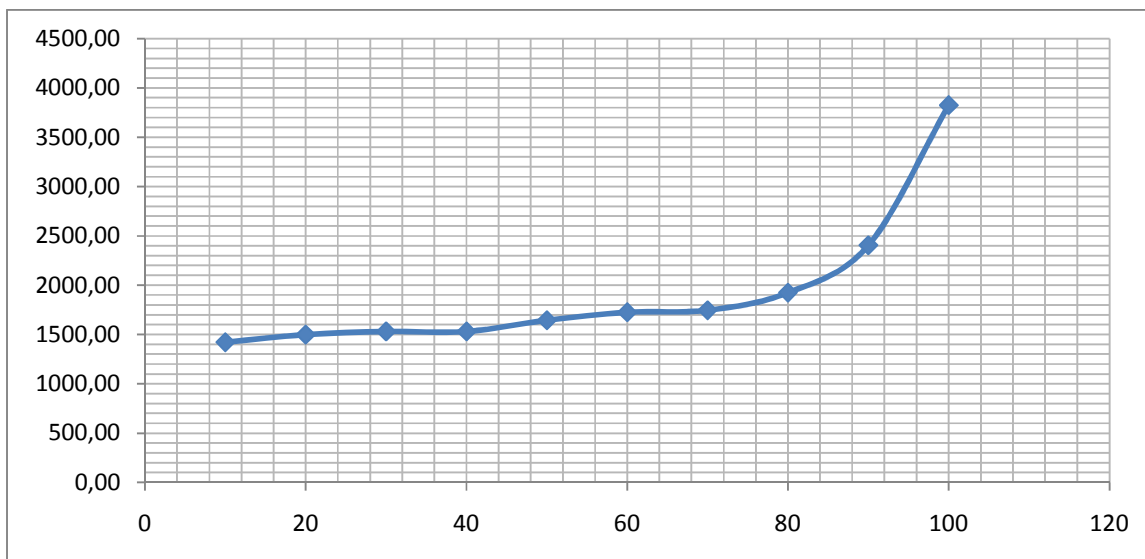
ELABORADO POR: Luis David López Fabara

**GRÁFICO 4.4 C.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE POTENCIAL HIDRÓGENO**

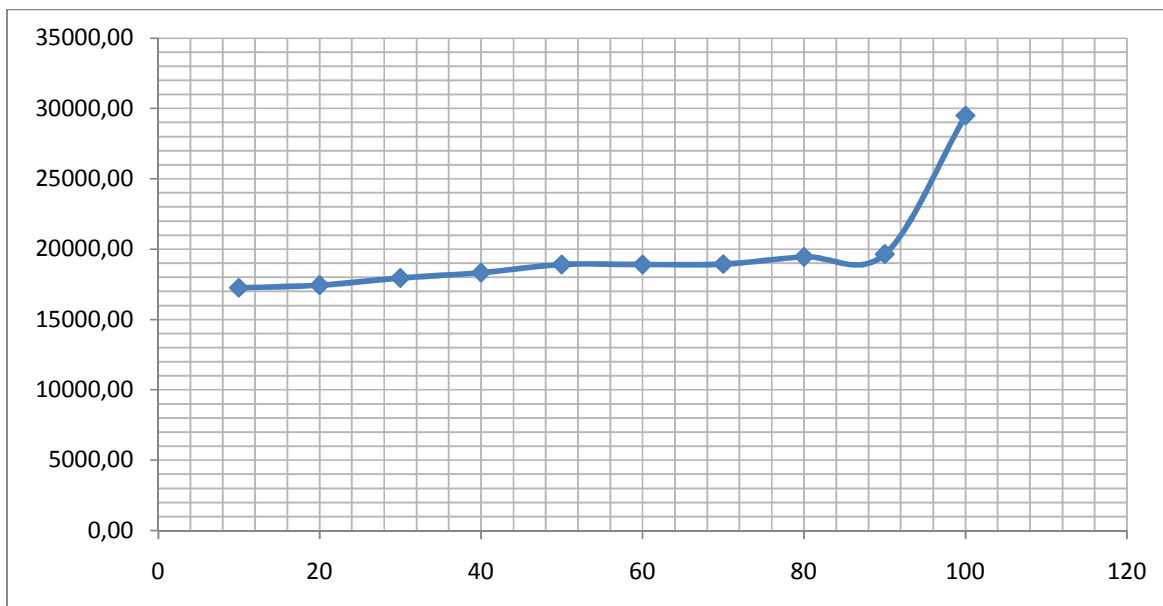
ELABORADO POR: Luis David López Fabara

**GRÁFICO 4.4 D.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE TURBIDEZ**

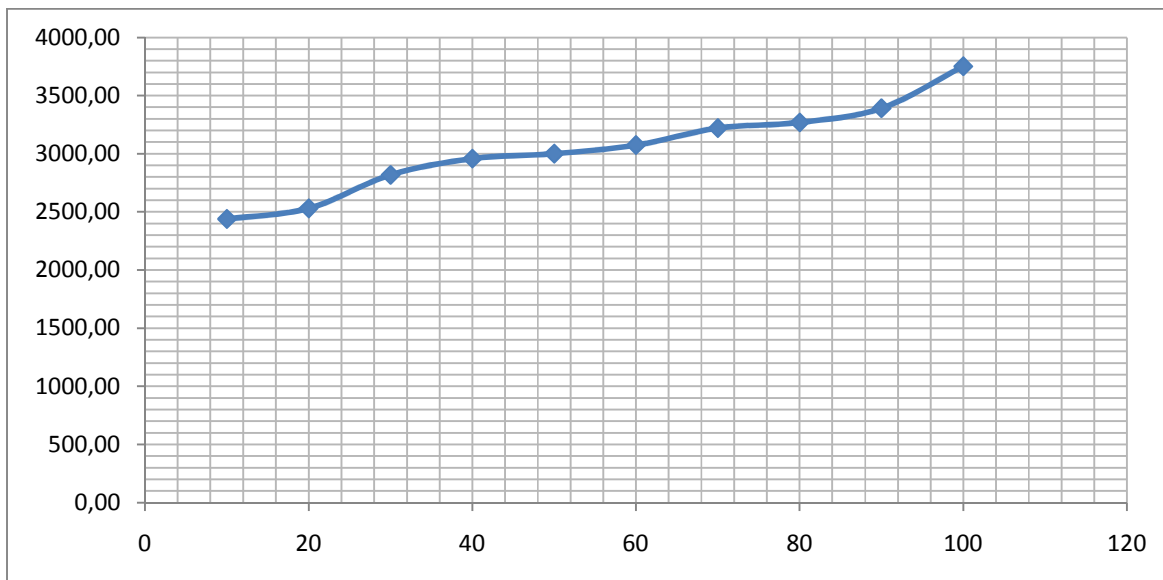
ELABORADO POR: Luis David López Fabara

**GRÁFICO 4.4 E.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE ALCALINIDAD FENOLTALÉINA**

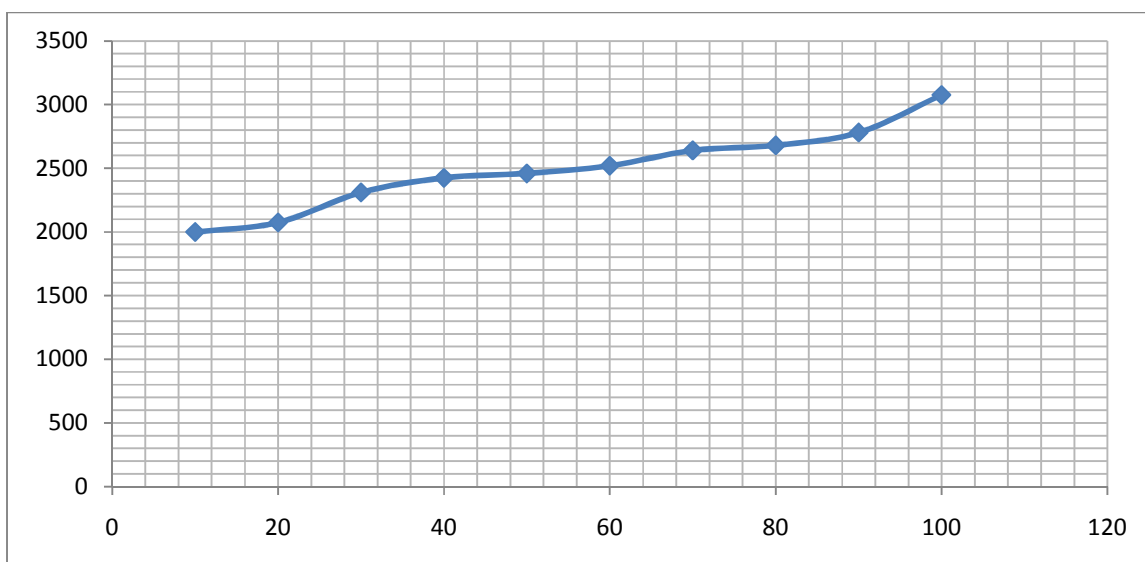
ELABORADO POR: Luis David López Fabara

**GRÁFICO 4.4 F.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE ALCALINIDAD TOTAL**

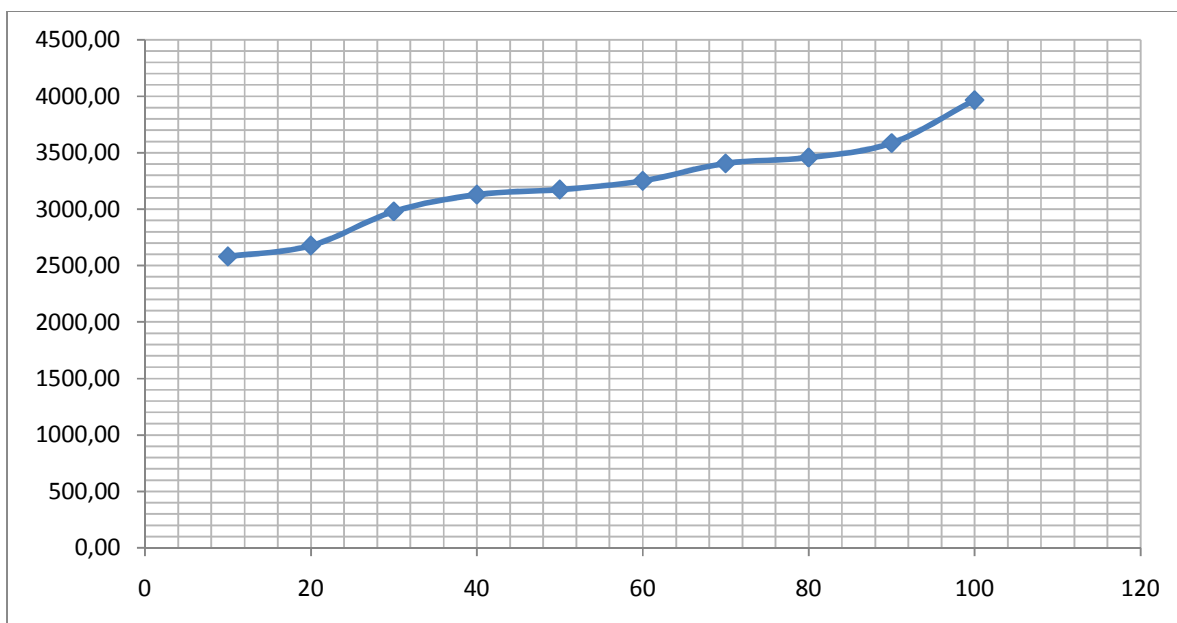
ELABORADO POR: Luis David López Fabara

**GRÁFICO 4.4 G.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE AMONIACO**

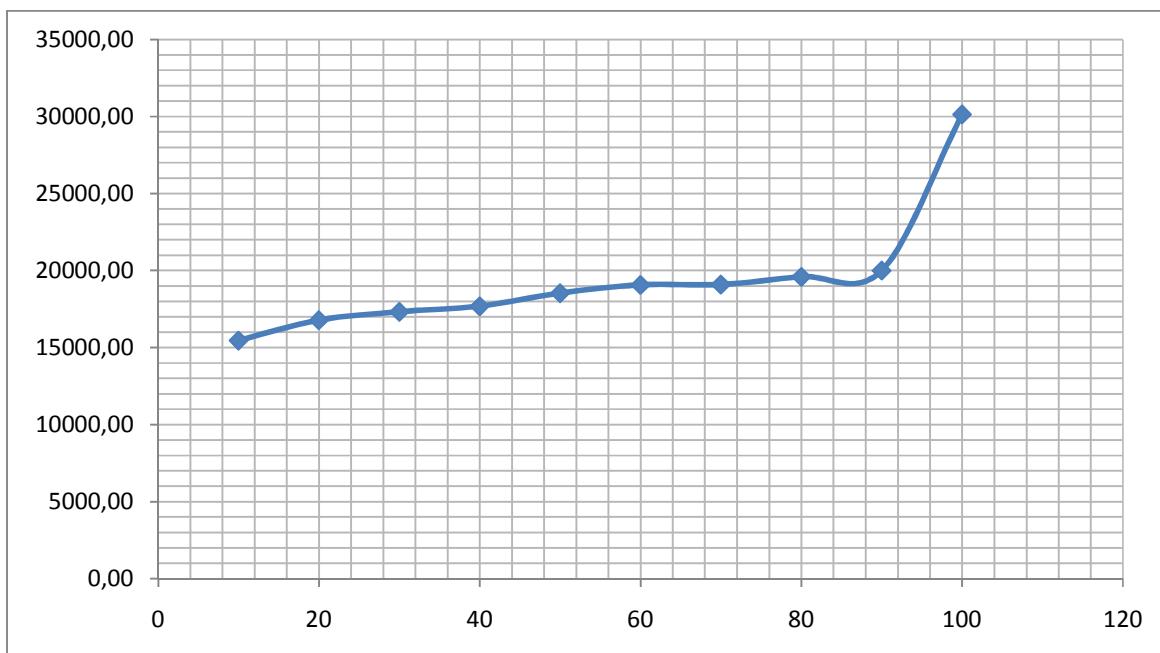
ELABORADO POR: Luis David López Fabara

**GRÁFICO 4.4 H.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE AMONIACO COMO NITRÓGENO**

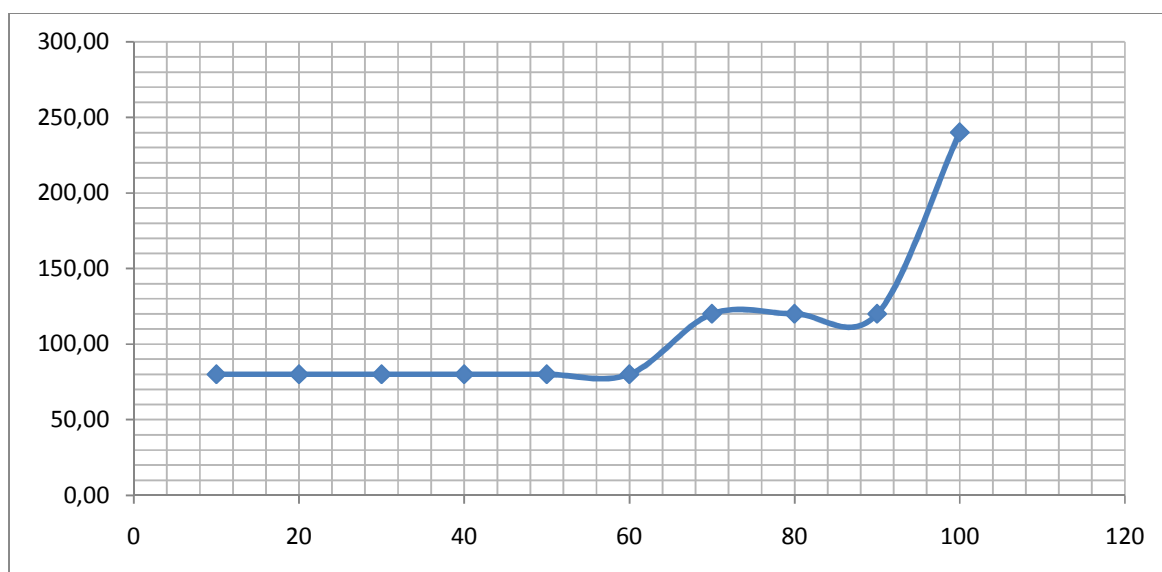
ELABORADO POR: Luis David López Fabara

**GRÁFICO 4.4 I.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE AMONIO**

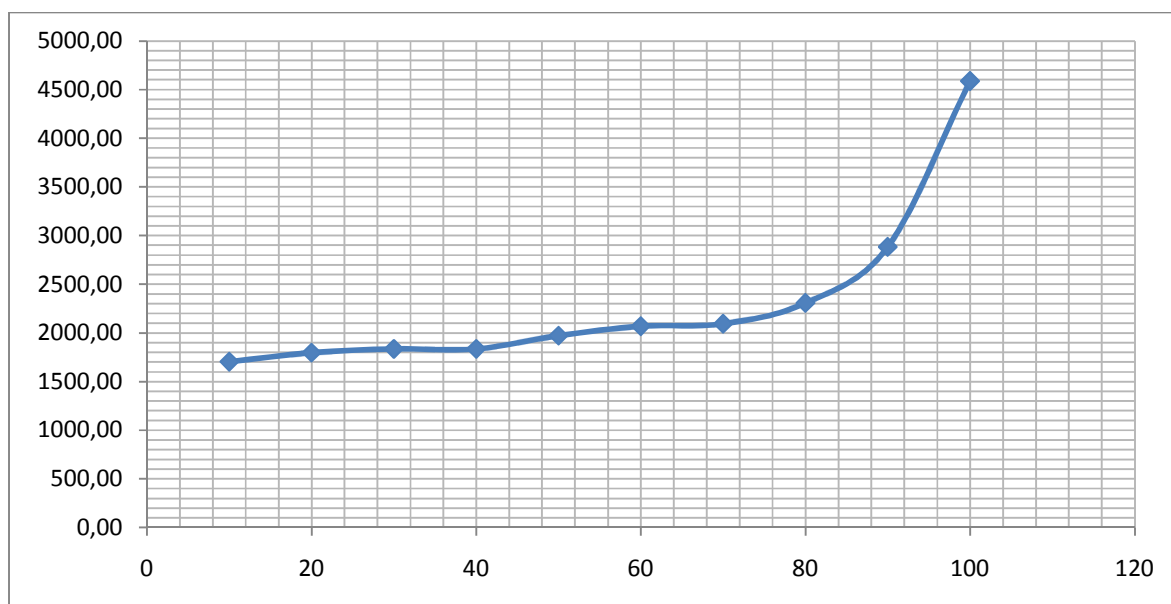
ELABORADO POR: Luis David López Fabara

**GRÁFICO 4.4 J.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE BICARBONATOS**

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

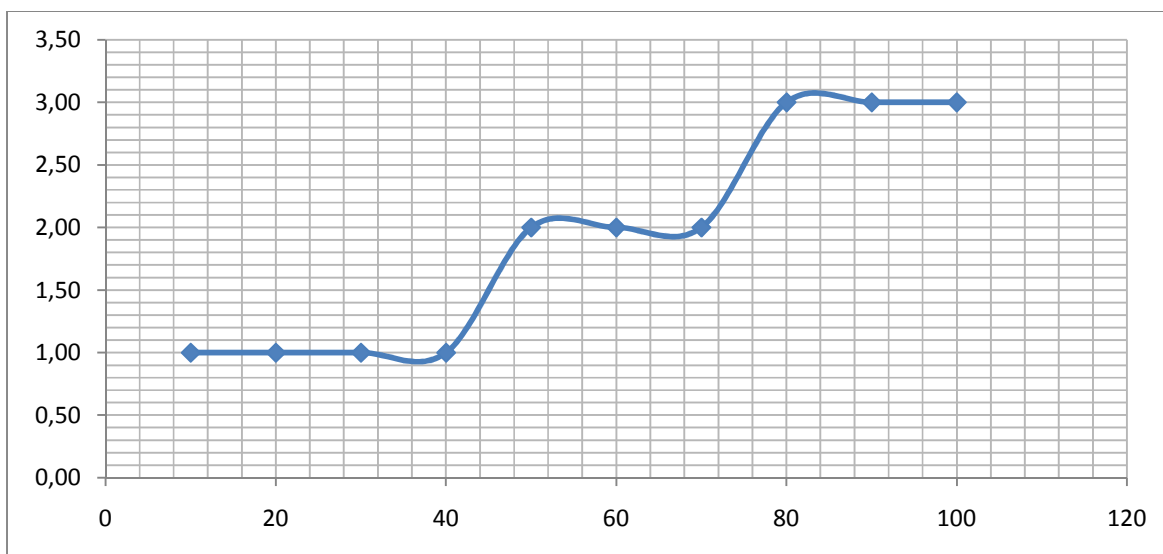
**GRÁFICO 4.4 K.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE CALCIO**

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

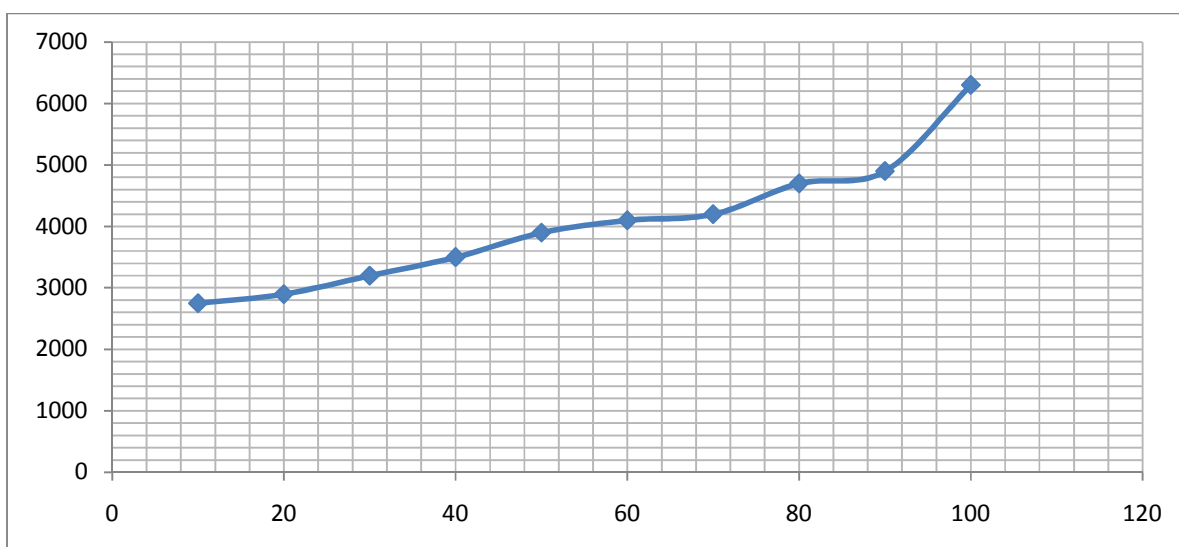
**GRÁFICO 4.4 L.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE CALCIO**

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

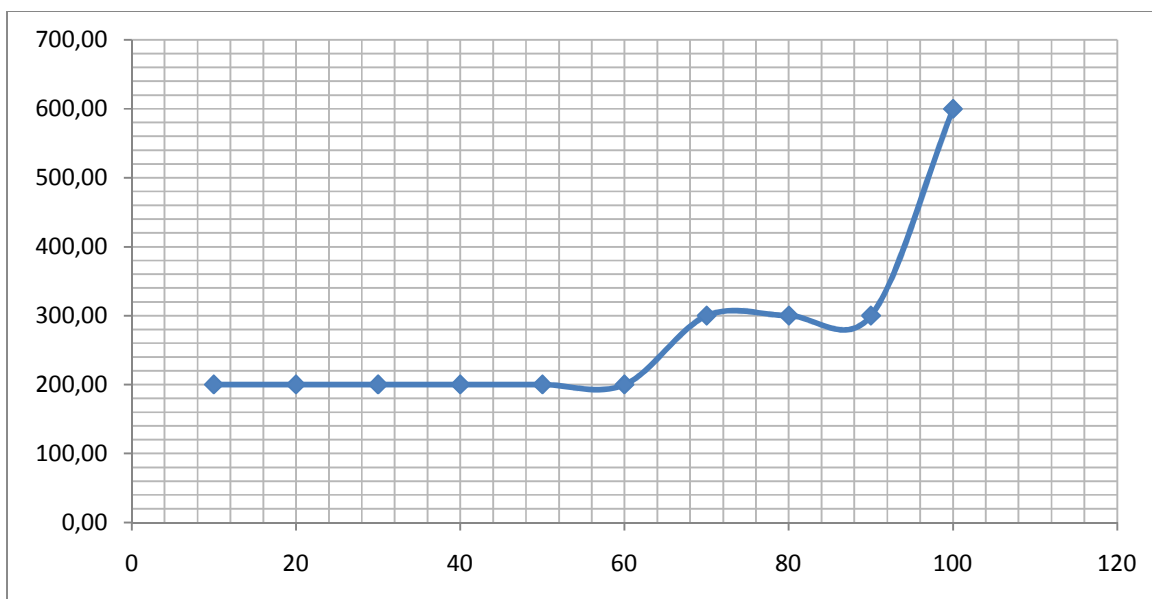


**GRÁFICO 4.4 M.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE CROMO HEXAVALENTE**

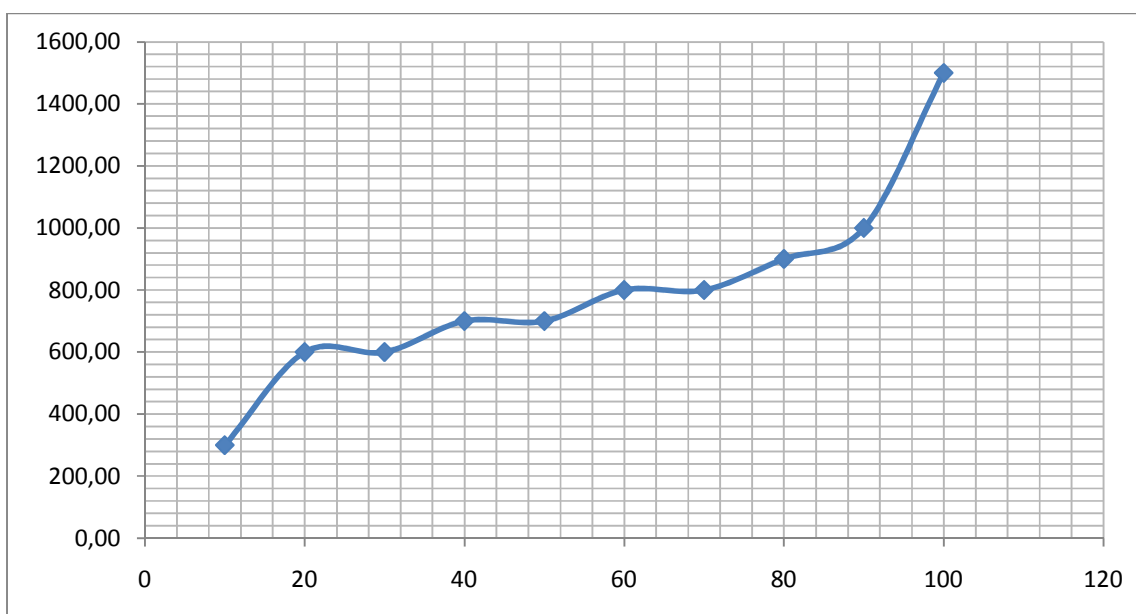
ELABORADO POR: Luis David López Fabara

**GRÁFICO 4.4 N.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO**

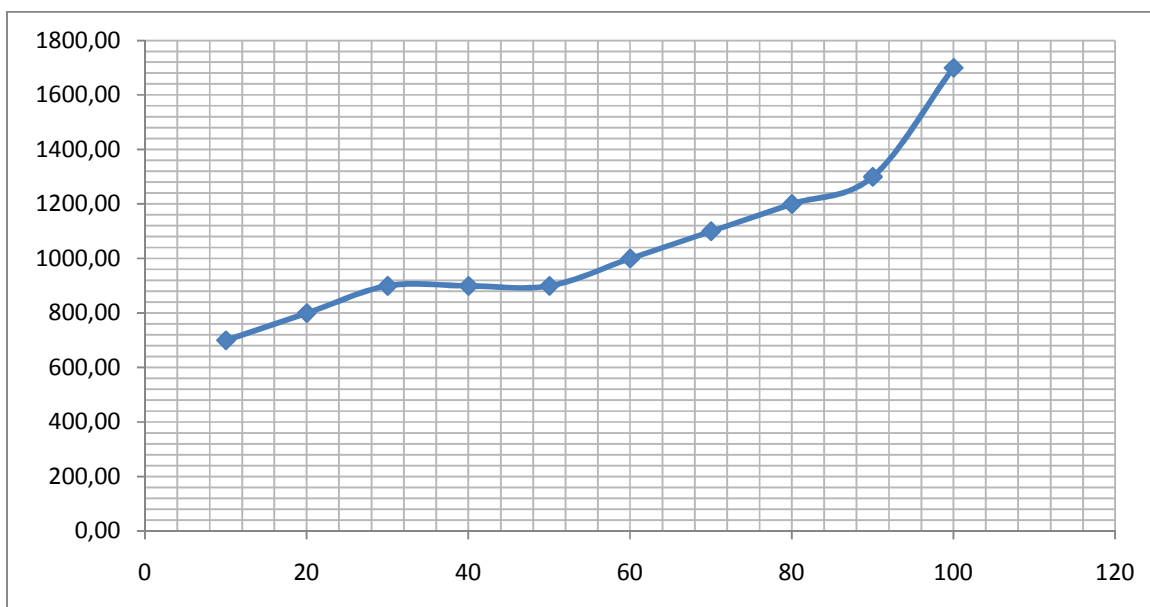
ELABORADO POR: Luis David López Fabara

**GRÁFICO 4.4 O.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE DUREZA CÁLCICA**

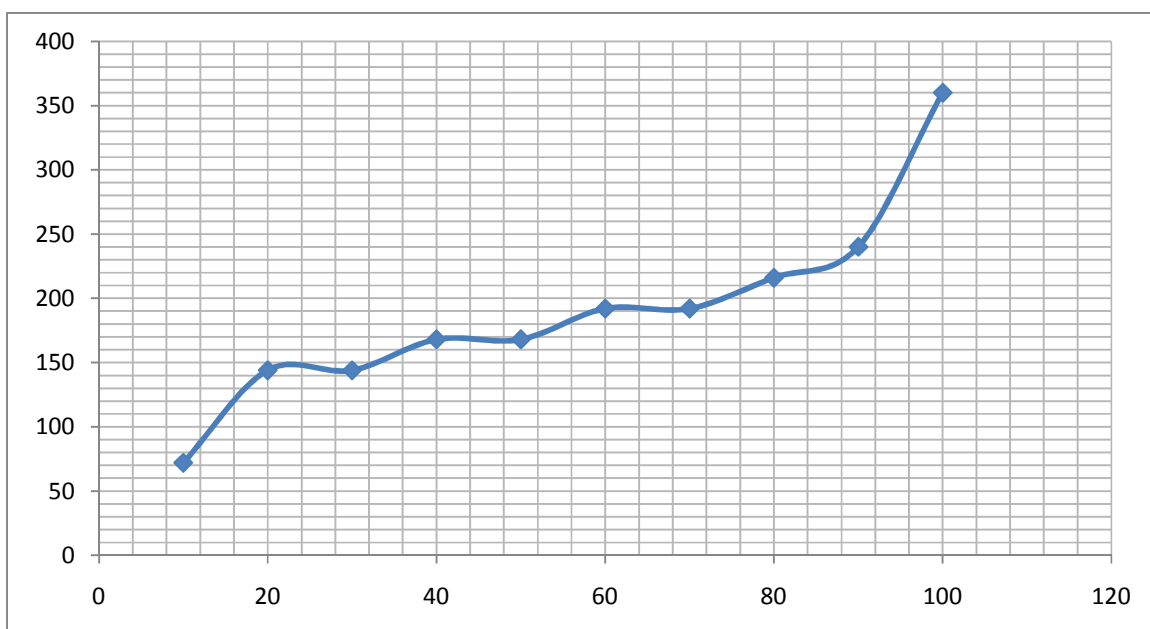
ELABORADO POR: Luis David López Fabara

**GRÁFICO 4.4 P.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE DUREZA MAGNÉSICA**

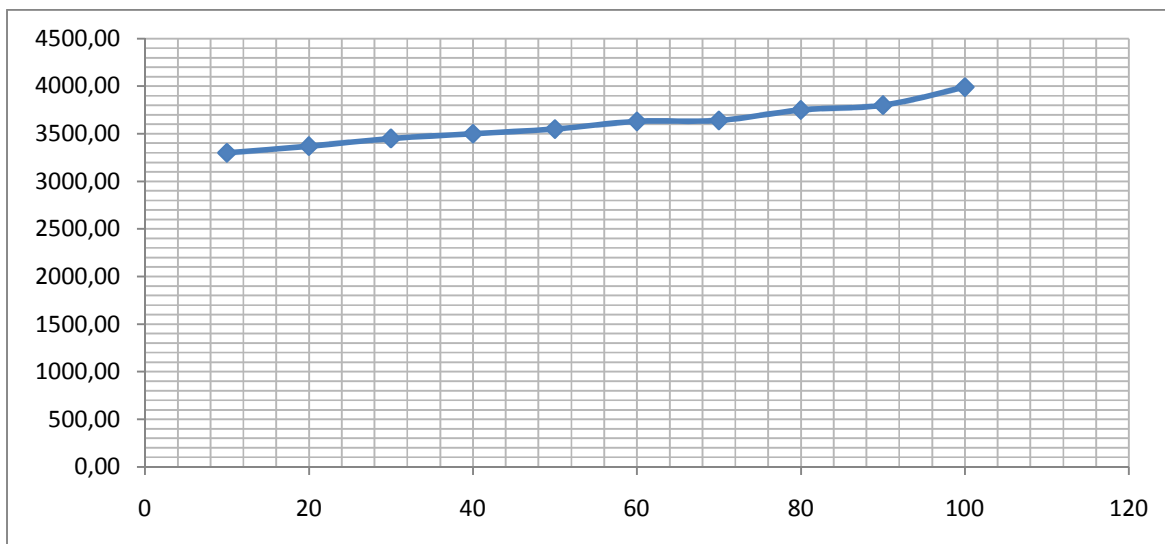
ELABORADO POR: Luis David López Fabara

**GRÁFICO 4.4 Q.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE DUREZA TOTAL**

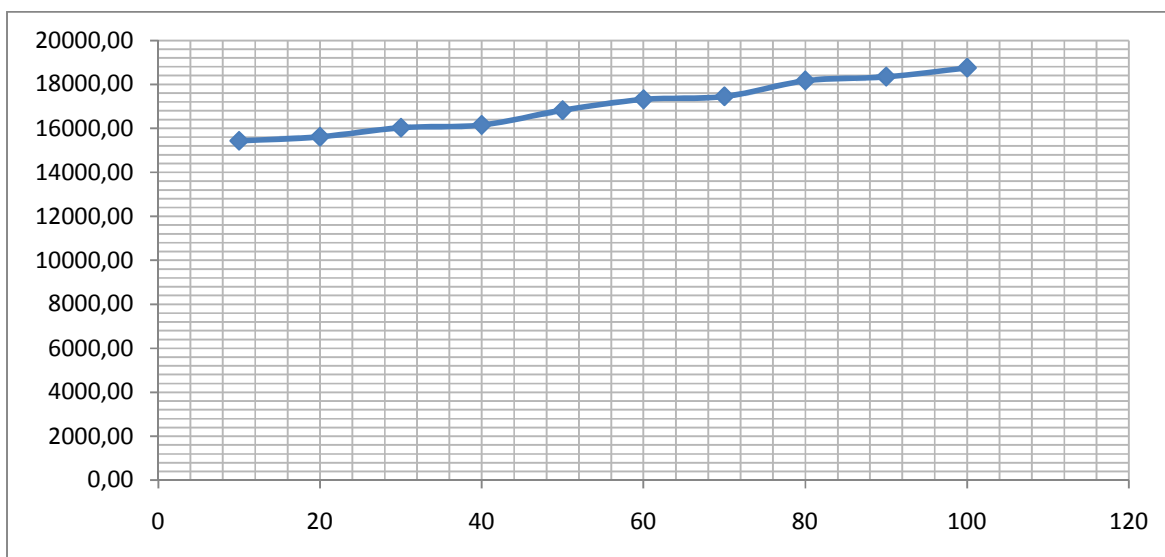
ELABORADO POR: Luis David López Fabara

**GRÁFICO 4.4 R.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE MAGNESIO**

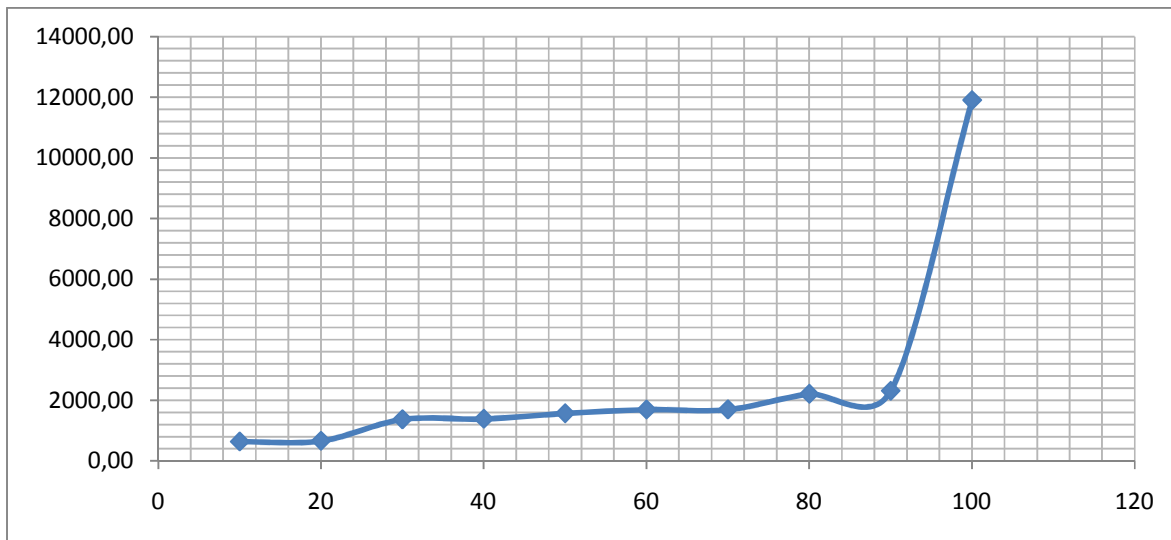
ELABORADO POR: Luis David López Fabara

**GRÁFICO 4.4 S.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE NITRÓGENO TOTAL KENDAL**

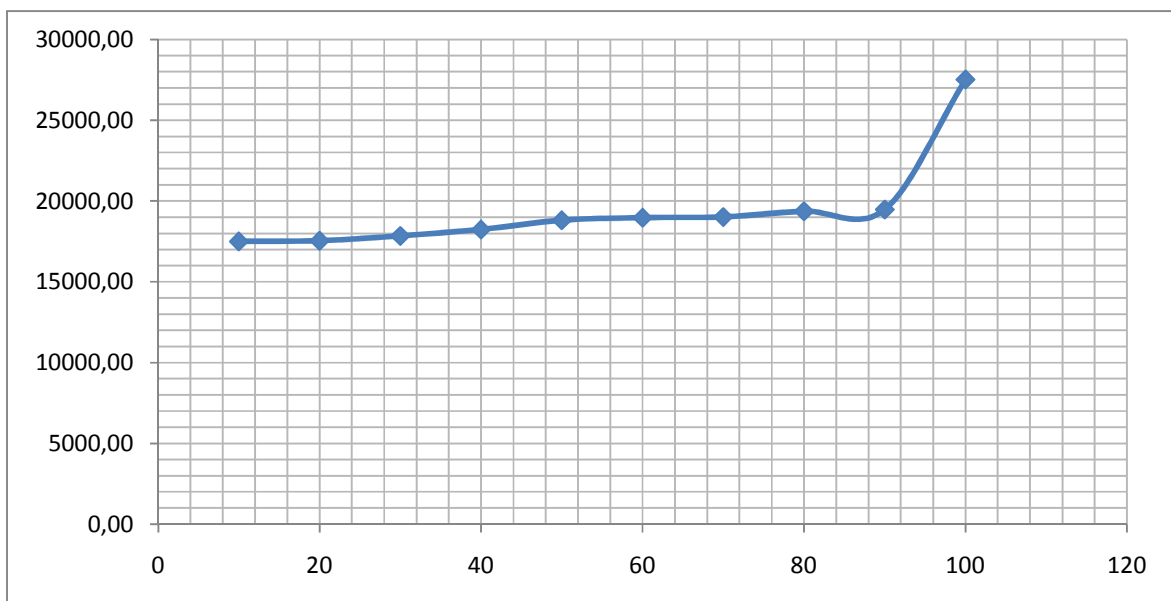
ELABORADO POR: Luis David López Fabara

**GRÁFICO 4.4 T.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES**

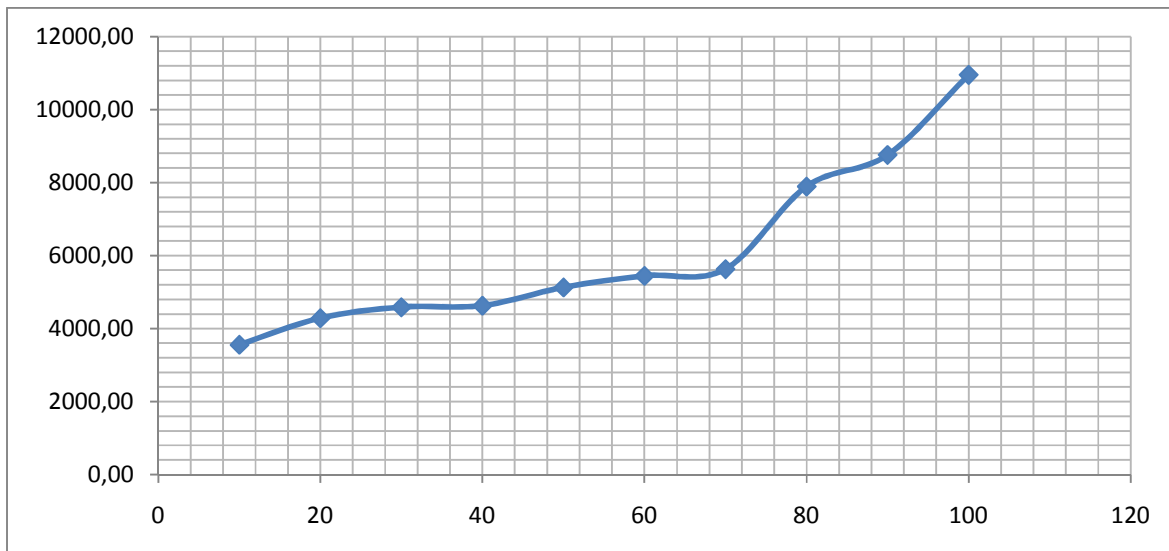
ELABORADO POR: Luis David López Fabara

**GRÁFICO 4.4 U.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES**

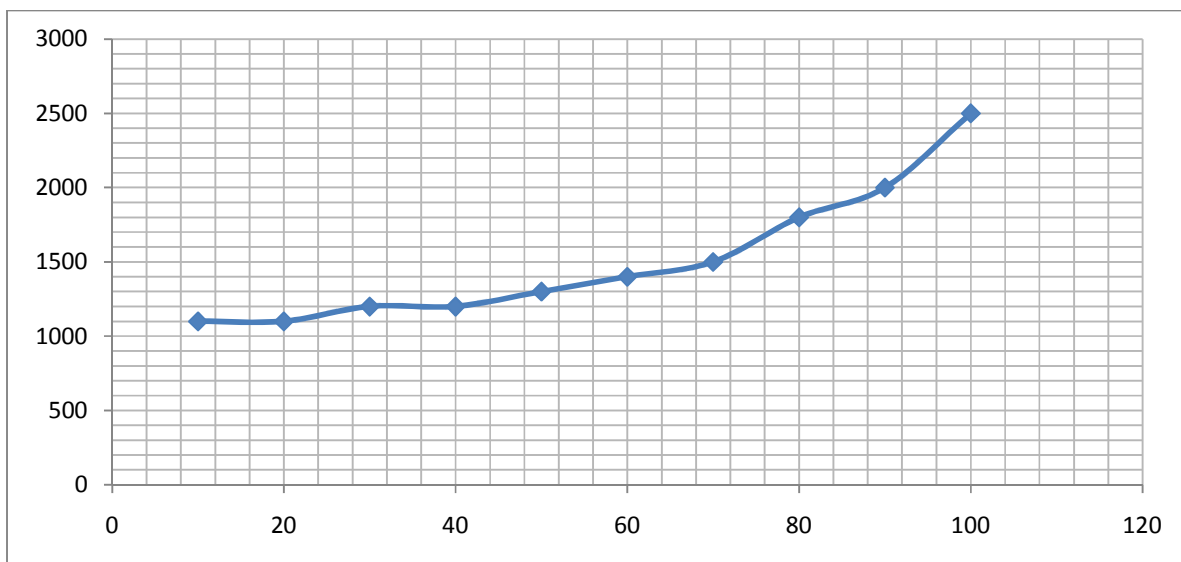
ELABORADO POR: Luis David López Fabara

**GRÁFICO 4.4 V.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE SÓLIDOS TOTALES**

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

**GRÁFICO 4.4 W.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE SÓLIDOS VOLÁTILES TOTALES**

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

**GRÁFICO 4.4 X.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO**

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

TABLA 4. 17.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS PROMEDIO POR MES

MONITOREO DE LIXIVIADOS						Percentiles			Valores característicos		
Indicador	Unidad	Mayo	Junio	Julio	Octubre	25	50	75	Mín.	Máx.	Med.
<b>Físicos</b>											
CE	mS/cm	30,8	28,6	33,3	31,3	28,6	30,8	31,3	28,6	33,3	31
OD	mg/L	0,4	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,4	0,3
pH	-	8,5	8,6	8,7	8,7	8,5	8,6	8,7	8,5	8,7	8,6
Turbidez	NTU	338,3	518,8	446,3	579,8	338,3	446,3	518,8	338,3	579,8	470,8
<b>Químicos</b>											
Alcalinidad P	mg/L	2267,4	1584,5	1897,2	1741,2	1584,5	1741,2	1897,2	1584,5	2267,4	1872,6
Alcalinidad T	mg/L	20625,5	19041,0	18640,1	18220,9	18220,9	18640,1	19041,0	18220,9	20625,5	19131,9
NH <sub>3</sub>	mg/L	2978,3	2745,0	3294,0	3037,8	2745,0	2978,3	3037,8	2745,0	3294,0	3013,8
NH <sub>3</sub> -N	mg/L	2441,3	2250,0	2700,0	2490,0	2250,0	2441,3	2490,0	2250,0	2700,0	2470,3
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/L	3149,2	2902,5	3483,0	3212,1	2902,5	3149,2	3212,1	2902,5	3483,0	3186,7
[HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ]	mg/L	19630,5	19363,9	18111,7	17981,1	17981,1	18111,7	19363,9	17981,1	19630,5	18771,8
Ca <sup>++</sup>	mg/L	130,0	90,0	100,0	80,0	80,0	90,0	100,0	80,0	130,0	100,0
[CO <sub>3</sub> <sup>--</sup> ]	mg/L	2720,9	1901,4	2276,6	2089,4	1901,4	2089,4	2276,6	1901,4	2720,9	2247,1
Cr <sup>+6</sup>	mg/L	3,0	1,3	1,5	1,8	1,3	1,5	1,8	1,3	3,0	1,9
DQO	mg/L	3781,3	4375,0	4000,0	3625,0	3625,0	3781,3	4000,0	3625,0	4375,0	3945,3
Dureza Ca	mg/L	325,0	225,0	250,0	200,0	200,0	225,0	250,0	200,0	325,0	250,0

Continúa....

Continuación....

**TABLA 4.17.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS PROMEDIO POR MES**

MONITOREO DE LIXIVIADOS						Percentiles			Valores característicos		
Indicador	Unidad	Mayo	Junio	Julio	Octubre	25	50	75	Mín.	Máx.	Med.
Dureza Mg	mg/L	500,0	900,0	825,0	825,0	500,0	825,0	825,0	500,0	900,0	762,5
Dureza T	mg/L	825,0	1125,0	1075,0	1025,0	825,0	1025,0	1075,0	825,0	1125,0	1012,5
Mg <sup>++</sup>	mg/L	120,0	216,0	198,0	198,0	120,0	198,0	198,0	120,0	216,0	183,0
TKN	mg/L	3585,0	3550,0	3655,0	3470,0	3470,0	3550,0	3585,0	3470,0	3655,0	3565,0
SDT	mg/L	14693,8	17720,3	16903,0	16562,0	14693,8	16562,0	16903,0	14693,8	17720,3	16469,8
SST	mg/L	1952,5	3454,8	1553,5	1968,0	1553,5	1952,5	1968,0	1553,5	3454,8	2232,2
ST	mg/L	16646,3	21175,0	18456,5	18530,0	16646,3	18456,5	18530,0	16646,3	21175,0	18701,9
SVT	mg/L	5726,8	6164,7	6207,0	5660,3	5660,3	5726,8	6164,7	5660,3	6207,0	5939,7
<b>Biológicos</b>											
DBO <sub>5</sub>	mg/L	1380,0	1700,0	1350,0	1425,0	1350,0	1380,0	1425,0	1350,0	1700,0	1463,8

ELABORADO POR: Luis David López Fabara



#### **4.4 EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE LÍQUIDOS LIXIVIADOS**

La cantidad de agua de los rellenos es mucho más difícil de calcular que la de un cuerpo de tierra con crecimiento natural. Una razón para ello es la estructura y la composición de los desechos dispuestos con una sola proporción de 5 a 30% de desechos menudos ( $\Phi < 8$  mm de diámetro) y el predominio de partes con un diámetro  $\Phi > 8$  mm. Esta estructura gruesa de los desechos impide que el relleno se humedezca en forma homogénea, de tal manera que es frecuente la formación de canales anchos de lixiviados. Además, el contenido de sustancias orgánicas en el suelo, con excepción, de los lodos (con aprox. 1-4%), es mucho menor que el del relleno (aproximadamente 65% del peso, sin el porcentaje de humedad alrededor de un 40%). Según las condiciones ambientales, tales como: temperatura, humedad, entre otras, las sustancias orgánicas pueden estar sometidas a procesos de reacción bioquímica que, a su vez, conducen a cambios de estructura del relleno. Por estas razones, la descripción de la cantidad de agua de un relleno sólo puede hacerse en forma muy esquemática. Al calcular las cantidades de lixiviados debe tomarse en cuenta que su producción no está distribuida en forma equitativa a lo largo del año. (Ehrigh, 1992.)

##### **4.4.1 CANTIDAD DE LIXIVIADOS EN DEPENDENCIA DE LA TÉCNICA DE OPERACIÓN**

De acuerdo con los conocimientos actuales, las cantidades de lixiviados pueden determinarse según el grado de compactación del relleno.

- Rellenos compactados con compactadores: 25% de la tasa de precipitación anual (aproximadamente  $5 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot \text{d}$  para el caso de 750 mm de precipitación anual).

- Rellenos compactados con orugas: 40% de la tasa de precipitación anual (aproximadamente 9 m<sup>3</sup>/ha\*d para el caso de 750 mm de precipitación anual).

**TABLA 4. 18.- PRODUCCIÓN DE LIXIVIADOS EN DEPENDENCIA DE LA TÉCNICA DE OPERACIÓN**

<b>Relleno</b>	<b>Precipitación (mm/año)</b>	<b>Lixiviados (% de N)</b>	<b>Producción (m<sup>3</sup>/ha*día)</b>	<b>Observaciones</b>
Compactación con oruga	571	31,3	4,9	Recubrimiento con material aglutinante parcialmente
	571	4,4	0,4	
	501-729	25-48,2	5,3-8,3	
	662	58,2	10,6	Recubierto y recultivado
	632	32,3	5,9	
	565-655	39,2-42,0	6,1-7,5	
	636	19,9-21,4	3,5-3,7	
Con producción de compost	716-936	3,9-21,3	0,8-5,2	En los últimos tres años valores altos
	-	28,9-31,8	4,4-4,8	
Compactación con compactadores	652	15,1	2,7	Recubierto en los últimos 1,5 años
	651-998	12,2-29,8	3,2-8,1	
	651-998	16,9-21,6	3,0-5,9	Relleno muy joven
	632	16,3-18,3	2,8-3,2	
	509	16,8	2,3	
	556-1057	15,6-19,6	2,6-5,1	
	770	3,3-7,2	0,7-1,1	Recubierto con material aglutinante
	-	22	3,8	
	-	38	6,7	

FUENTE: Ehrigh, 1992.

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

Estos valores representan un resumen de los análisis de lixiviados de rellenos ubicados en las zonas con 500 a 1050 mm de precipitación anual. (Ehrigh, 1992.)

Para el caso de la ciudad de Ambato, la precipitación media anual es de 542,8 mm, encontrándose en el rango de valores para los cuales estos son representativos. Además con los valores característicos del relleno sanitario del cantón Ambato y analizando la tabla 4.18, se puede observar que el caudal esperado sería alrededor de 5,3 a 8,3 m<sup>3</sup>/ha\*d, lo que representan valores de 0,8 y 1,3 L/s. Pueden aparecer desviaciones de estos valores, condicionados por mayores cantidades de lixiviados en las laderas, o compactación natural causado por el agua del subsuelo que penetra en el relleno.

#### **4.4.2 MÉTODO SUIZO PARA ESTIMAR LA CANTIDAD DE LIXIVIADOS GENERADOS**

El método suizo permite estimar de manera rápida y sencilla el caudal de lixiviado mediante la ecuación 4.2.

$$Q = \frac{P \times A \times K}{t} \quad (\text{Ecuación 4.2})$$

donde:

- Q = Caudal medio de lixiviado (m<sup>3</sup>/h.)
- P = Precipitación media anual (mm/año)
- A = Área superficial del relleno (m<sup>2</sup>)
- t = Tiempo (h)
- K = Coeficiente que depende del grado de compactación de la basura.

Los valores de K se presentan a continuación:

- Para rellenos débilmente compactados con peso específico de 0,4 a 0,7 t/m<sup>3</sup>, se estima una producción de lixiviado entre 25 y 50% (K = 0,25 a 0,50) de precipitación media anual correspondiente al área del relleno;
- Para rellenos fuertemente compactados con peso específico > 0,7 t/m<sup>3</sup>, se estima una generación de lixiviado entre 15 y 25% (K = 0,15 a 0,25) de la precipitación media anual correspondiente al área del relleno.

Para el caso del relleno sanitario del cantón Ambato se asume un peso específico de 700 Kg/m<sup>3</sup>, por lo que de los datos anteriores se toma un valor de 0,25 para el coeficiente de compactación de basura.

**TABLA 4. 19.- MÉTODO SUIZO PARA ESTIMAR LA CANTIDAD DE LIXIVIADOS GENERADOS**

Precipitación	Área relleno	Coeficiente de compactación	Tiempo	Caudal medio de lixiviados
m	m <sup>2</sup>	-	h	m <sup>3</sup> /h
0,543	140000	0,25	8760	2,17

FUENTE: Ehrigh, 1992.

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

El caudal medio de lixiviado es de 2,17 m<sup>3</sup>/h, transformado a litros por segundo se obtiene un valor de 0,6.

#### 4.4.3 BALANCE HÍDRICO

La apreciación de la cantidad de líquidos lixiviados que se generan en el relleno sanitario, se realiza mediante un balance hídrico, que incluya las variables que intervienen en la producción de estos. El caudal aumenta a medida que se dispone un

mayor volumen de basura por la mayor superficie de exposición a las aguas lluvias. Esta se reduce por la evapotranspiración, la que se ve obstaculizada por la cobertura diaria de los residuos. (Castillo, 1994).

El balance hídrico consiste en medir la continuidad y la cantidad del flujo de agua para cualquier intervalo de tiempo en la microcuenca de estudio. Para este caso, la considerada es el relleno sanitario de Ambato conjuntamente con el espacio inmediato que lo rodea.

Para el balance hídrico se analizaron los siguientes parámetros:

- Precipitación
- Escorrentía
- Evapotranspiración

En el modelo aplicado no se considera el flujo de aguas subterráneas, debido a la carencia de pozos de medida del flujo e información pertinente.

#### **4.4.3.1 Formulación del Balance Hídrico**

La generación de líquidos lixiviados (LL), corresponde a la ecuación 4.3.

$$LL = I - Ret \text{ (Ecuación 4.3)}$$

Donde:

- I = Infiltración
- Ret = Capacidad de retención de agua.

La infiltración de agua, hacia el relleno sanitario se lo calcula con la expresión de la ecuación 4.4.

$$I = P - E - ETr \quad (\text{Ecuación 4.4})$$

donde:

P = Precipitación  
 E = Escorrentía  
 ETr = Evapotranspiración real.

#### 4.4.3.2 Cálculo de la Cantidad de Líquidos Lixiviados del Relleno Sanitario de Ambato

Para cada parámetro que interviene en la ecuación 4.4, se exponen los criterios y cálculos realizados estimando de esta manera la cantidad de líquidos lixiviados que se generan en el relleno sanitario.

##### 4.4.3.2.1 Precipitación

Los valores de precipitación corresponden a la estación Chachoan, como se observa en la tabla 4.21:

**TABLA 4. 20.- PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL PROMEDIO**

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Med	32,7	52,7	61,4	65,7	57,6	45,0	26,0	23,5	27,9	50,6	54,7	45,1

FUENTE: Anuario meteorológico estación Aeropuerto Chachoan, 2010.

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

##### 4.4.3.2.2 Evapotranspiración

La evapotranspiración depende de varios factores, como son el tipo y el desarrollo de la capa vegetal, tipo de follaje y la profundidad de sus raíces, y principalmente la

humedad del suelo. Por lo anotado, los investigadores han introducido el concepto de evapotranspiración potencial. La evapotranspiración potencial, es la cantidad de agua que puede ser perdida por la evaporación del suelo y la transpiración de las plantas que la recubren. La obtención de medidas directas se las obtiene por medio de dispositivos denominados evaporímetros, pero por la carencia de estos en las estaciones meteorológicas se ha recurrido a la obtención de este parámetro por métodos empíricos, como los siguientes (Castillo, 1994).

:

- Método de Penman
- Método de Blaney & Criddle modificado
- Método de Thornthwaite
- Método de Truc
- Método de Hargreaves.

Pero para la realización de un balance hídrico, lo que realmente interesa es la determinación de la evapotranspiración real, la sobre la base de la evapotranspiración potencial y se la calcula por el método empírico de Thornthwaite & Mether. (Castillo, 1994).

La fórmula seguida por este método, es la 4.5.

$$ETp = K \times E \quad (\text{Ecuación 4.5})$$

donde:

ETp = Evapotranspiración potencial mensual (mm)

K = Coeficiente de corrección que toma en cuenta la duración real del mes y el número máximo de horas de sol, en función de la latitud.

E = Evaporación potencial diaria (mm).

El coeficiente K se calcula con la ecuación 4.6.

$$K = \frac{N}{12} \times \frac{d}{30} \times d \quad (\text{Ecuación 4.6})$$

donde:

- N = Duración máxima de la insolación (horas/día) en función de la latitud.  
 D = Número de días en el mes

La evapotranspiración diaria, se calcula con la ecuación 4.7.

$$E = 16 \times \left( \frac{10T}{I} \right) \times a \quad (\text{Ecuación 4.7})$$

donde:

- T = Temperatura media mensual (°C)  
 I = Índice térmico anual  
 a = Coeficiente adimensional, para el caso del relleno sanitario de Ambato se ha tomado un valor de 0.025 (Valor recomendado para latitudes Sur de 0 a 2°) (Castillo, 1994).

El cálculo de la evapotranspiración real (ET<sub>r</sub>), se realizó por el método de Thornthwaite & Mater, el mismo que se considera un balance hídrico, que contempla las siguientes variables:

- Precipitación (P)
- Evapotranspiración potencial (ET<sub>p</sub>)
- P – ET<sub>p</sub>



- Suma de valores negativos acumulados de  $P - E_{tp}$  (NEG.ACUM.)
- Alteración de la variación de reserva de agua del suelo. (ALT).
- Deficiencia de agua en el suelo. (DEF)
- Excedente de agua. (EXC.)

El cálculo de la evapotranspiración real ( $E_{Tp}$ ), se detalla a continuación así como la forma de cálculo. (Ver tablas 4.21 a 4.24)

- Línea 1: Precipitación (P): corresponde a los valores de precipitación de la estación meteorológica.
- Línea 2: Evapotranspiración potencial ( $E_{Tp}$ ): son los valores calculados.
- Línea 3:  $P - E_{Tp}$ : es la diferencia entre los valores de precipitación y evapotranspiración potencial.
- Línea 4: NEG.ACUM: es la sumatoria de los valores negativos de la línea anterior, iniciando este cálculo desde que comienza el período de estiaje (mes de junio). Teniendo el primer mes de estiaje el valor de  $P - E_{Tp} < 0$ , en adelante cada mes tendrá el valor de  $P - E_{Tp} < 0$  sumado el Neg.Acum anterior, hasta el último mes en presentar  $P - E_{Tp} < 0$ . Con los valores de ALM correspondientes a los  $P - E_{Tp} > 0$ , se entra en la tabla de agua retenida en el suelo para valores de evapotranspiración potencial, donde son encontrados los demás valores de NEG.ACUM
- Línea 5: Almacenamiento (ALM): almacenamiento a reserva útil de la vegetación, que corresponde al agua contenida en la zona de raíces de las plantas, este valor varía de 0 a 100 mm. Se lo obtiene con los valores de  $P - E_{Tp} < 0$ , ingresado al cuadro de agua retenida en el suelo para valores de evapotranspiración potencial, con los valores de NEG.ACUM a la izquierda, leyendo en los valores tabulados. Para el caso de  $P - E_{Tp} > 0$ , se suma este valor al

de ALM del mes anterior, obteniéndose el ALM del mes considerado. El valor máximo de ALM es 100 mm.

- Línea 6: Alteración de almacenamiento del agua en el suelo (ALT): se calcula en función de la variación de ALM, sustrayendo algebraicamente el almacenamiento del mes considerado menos el mes anterior.
- Línea 7: Evapotranspiración real (ETr): Es igual a ETp si  $P-ETp > 0$  y cuando  $P-ETp < 0$ , es la suma de P con el valor absoluto de ALT.
- Línea 8: Deficiencia de agua del suelo (DEF): es la diferencia de ETp menos ETr.
- Línea 9: Excedente de agua (EXD): es igual a cero cuando ALM es menor que 100mm, en otros casos es la diferencia entre  $P-ETp$  y ALT.

La comprobación de que el balance hídrico del modelo aplicado, esté correcto se realiza mediante las ecuaciones agrupadas en 4.8.

$$\begin{aligned} \sum P &= \sum ETp + \sum (P - ETp) \\ \sum ALT &= 0 \\ \sum ETp &= \sum ETr + \sum DEF \\ \sum P &= \sum ETr + \sum EXD \end{aligned} \quad (\text{Ecuación 4.8})$$

**TABLA 4. 21.- DURACIÓN MÁXIMA DE INSOLACIÓN (HORAS/DÍA), EN VARIOS MESES DEL AÑO, VALOR DEL DÍA 15 DE CADA MES, ENTRE LAS LATITUDES DE 0 SUR A 30 SUR, UTILIZADOS EN LOS CÁLCULOS DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL POR EL MÉTODO DE THORNTHWAITE**

Latitud	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
0 sur	12,2	12,1	12	12,1	12	11,9	12,2	12,1	12,3	12,1	12,2	12,3
6 sur	12,4	12,3	12,1	12	11,9	11,7	11,8	11,9	12,1	12,2	12,4	12,5
8 sur	12,5	12,4	12,1	11,9	11,7	11,6	11,7	11,9	12,1	12,3	12,5	12,6
10 sur	12,6	12,4	12,1	11,9	11,7	11,5	11,6	11,8	12	12,3	12,6	12,7
20 sur	13,2	12,8	12,2	11,6	11,2	10,9	11	11,4	12	12,5	13,2	13,3
30 sur	13,9	13,1	12,3	11,4	10,3	10,2	10,4	11	11,9	12,6	13,6	14,1

FUENTE: Castillo, 1994

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

**TABLA 4. 22.- CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL MENSUAL. MÉTODO DE THORNTHWAITE**

Variables	Formulación	[ ]	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
T	Tabla 3.2	°C	16,7	16,5	16,5	16,4	16,1	15,2	14,7	14,9	15,8	16,9	17,3	17,1
i	$i=(T/5)^{1,5}$	(°C) <sup>1,5</sup>	6,1	6,0	6,0	5,9	5,8	5,3	5,0	5,1	5,6	6,2	6,4	6,3
I	$I=\sum i$	(°C) <sup>1,5</sup>	69,9	69,9	69,9	69,9	69,9	69,9	69,9	69,9	69,9	69,9	69,9	69,9
N	Tabla 4.22	h/d	12,2	12,1	12,0	12,1	12,0	11,9	12,2	12,1	12,3	12,1	12,2	12,3
d	# días al mes	D	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
K	$K=(N/12)*(d/30)*d$	-	32,6	26,4	32,0	30,3	32,3	29,8	32,6	32,3	30,8	32,3	30,6	32,8
E	$E=16*((10*T)/I)^a$	mm/d	0,96	0,94	0,94	0,94	0,92	0,87	0,84	0,85	0,90	0,97	0,99	0,98
Etp	$Etp=K*E$	mm	31,1	24,9	30,3	28,4	29,5	25,9	27,4	27,5	27,8	31,2	30,2	32,1

- T = Temperatura  
i = Índice térmico mensual  
I = Índice térmico anual  
N = Duración máxima de insolación diaria en función de la latitud  
d = Número de días al mes  
K = coeficiente de corrección que toma en cuenta la duración real del mes y el número máximo de horas del sol, en función de la latitud  
E = Evapotranspiración potencial diaria  
Etp = Evapotranspiración potencial mensual

FUENTE: Castillo, 1994

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

**TABLA 4. 23.- AGUA RETENIDA EN EL SUELO (mm), PARA VALORES DE EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ETP) ENTRE 0 Y 350 mm (P-ETP) NEGATIVO ACUMULADO CAPACIDAD DE CAMPO = 100 m**

<b>P-Etp (NEG.ACUM)</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
0	100	99	98	97	96	95	94	93	92	91
10	90	89	88	88	87	86	86	84	83	82
20	81	81	80	79	78	77	77	76	75	74
30	74	73	72	71	70	70	69	68	68	67
40	66	66	65	64	64	63	62	62	61	60
50	60	59	59	58	58	57	56	56	55	54
60	54	53	53	52	52	51	51	50	50	49
70	49	48	48	47	47	46	46	45	45	44
80	44	44	43	43	42	42	41	41	40	40
90	40	39	39	38	38	38	37	37	36	36
100	36	35	35	35	34	34	34	33	33	33
110	32	32	32	31	31	31	30	30	30	30
120	29	29	29	28	28	28	27	27	27	27
130	26	26	26	26	26	25	25	24	24	24
140	24	24	23	23	23	23	22	22	22	22
150	22	21	21	21	21	20	20	20	20	20
160	19	19	19	19	19	18	18	18	18	18
170	18	17	17	17	17	17	16	16	16	16
180	16	16	15	15	15	15	15	15	14	14
190	14	14	14	14	14	14	13	13	13	13
200	13	13	12	12	12	12	12	12	12	12

**Continúa....**

Continuación....

**TABLA 4.23.- AGUA RETENIDA EN EL SUELO (mm), PARA VALORES DE  
EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ETP) ENTRE 0 Y 350 mm  
(P-ETP) NEGATIVO ACUMULADO CAPACIDAD DE CAMPO = 100  
m**

<b>P-Etp (NEG.ACUM)</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
210	12	11	11	11	11	11	11	11	11	11
220	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
230	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
240	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
250	8	8	8	7	7	7	7	7	7	7
260	7	7	7	7	7	7	6	6	6	6
270	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
280	6	6	6	6	6	5	5	5	5	5
290	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
300	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4
310	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
320	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
330	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
340	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
350	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2

FUENTE: Castillo, 1994  
ELABORADO POR: Luis David López Fabara

**TABLA 4. 24.- CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL MENSUAL. MÉTODO DE TRONTHWAITE Y MATHER**

Variables	Unidades	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Suma
1.-P	mm	32,7	52,7	61,4	65,7	57,6	45,0	26,0	23,5	27,9	50,6	54,7	45,1	542,9
2.-Etp	mm	31,1	24,9	30,3	28,4	29,5	25,9	27,4	27,5	27,8	31,2	30,2	32,1	346,4
3.-P-Etp	mm	1,6	27,8	31,1	37,3	28,1	19,1	-1,4	-4,0	0,1	19,4	24,5	13,0	196,5
4.-Neg. Acum	mm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,4	-5,4	0,0	0,0	0,0	0,0	-6,8
5.-Alm	mm	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,0	95,0	100,0	100,0	100,0	100,0	
6.-ALT	mm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,0	-4,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7.-Etr	mm	31,1	24,9	30,3	28,4	29,5	25,9	30,0	18,5	27,8	31,2	30,2	32,1	339,9
8.-Def	mm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-2,6	9,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,4
9.-Exc	mm	1,6	27,8	31,1	37,3	28,1	20,1	0,0	0,0	0,1	19,4	24,5	13,0	203,0

Fuente: Castillo, 1994

Elaborado por: Luis David López Fabara

*Comprobación del balance hídrico del modelo aplicado:*

$$\sum P = \sum ETp + \sum (P - ETp) \Rightarrow 542,9 = 346,4 + 196,5 = 542,9$$

$$\sum ALT = 0$$

$$\sum ETp = \sum ETr + \sum DEF \Rightarrow 346,4 = 339,9 + 6,4 = 346,4$$

$$\sum P = \sum ETr + \sum EXD \Rightarrow 542,9 = 339,9 + 203,0$$

L evaporación real media, adoptada para el cálculo de la producción de líquidos lixiviados es: 16,4 mm.

#### 4.4.3.2.3 Escorrentía

El porcentaje de precipitación que fluye hacia el relleno sanitario desde tierras altas adyacentes y desde el relleno hacia tierras bajas se calcula, utilizando una estimación de la escorrentía sobre la base de los valores de la tabla 4.25. (Castillo, 1994).

**TABLA 4. 25.- PORCENTAJES DE ESCORRENTÍA, EN FUNCIÓN DEL TIPO DE COBERTURA, TIPO DE SUELO Y PENDIENTE**

Condición de la superficie	Pendiente %	Porcentajes de escorrentía		
		Arena	Tierra Arcillosa	Arcilla
<b>Pasto o capa de tierra compactada</b>				
Plano	0 - 5	10	30	40
Inclinado	5 - 10	16	36	55
Montañoso	10 - 30	22	42	60
<b>Sin vegetación, no compactada</b>				
Plano	0 - 5	30	45	60
Inclinado	5 - 10	40	57	70
Montañoso	10 - 30	52	72	82

FUENTE: Castillo, 1994

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

Para el caso del relleno sanitario de Ambato, que no dispone de una vegetación y tiene una cobertura semi compactada, con una pendiente en el rango del 5 al 10% que le califica como inclinado, y con un tipo de superficie de tierra arcillosa, el porcentaje de escorrentía según la metodología antes expuesta es del 57%. Por tanto el escurrimiento es de 19,45 mm.



#### 4.4.3.2.4 Infiltración

De acuerdo a la Ecuación 4.4, la infiltración es la diferencia entre la precipitación, la evaporación y el escurrimiento, valores previamente calculados, por tanto la infiltración para el caso del relleno sanitario de Ambato es:

$$I = P - E - ETr \Rightarrow I = 45,24 - 16,4 - 19,45 \Rightarrow I = 9,39 \text{ mm / mes}$$

La conversión de este valor a litros por segundo, se considera el área total del relleno de 14 Ha, lo que da un resultado de 0,5 L/s siendo este valor la generación de líquidos lixiviados del relleno sanitario de Ambato.

## 4.5 ANÁLISIS DE EFICIENCIA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS

Para el análisis de eficiencia de la planta de tratamiento, se analizaron análisis de diferentes indicadores en el Laboratorio de Aguas Negras y Grises del Departamento de Higiene del Municipio de Ambato, que funciona desde el 30 de septiembre de 2010. Realizándose un monitoreo semanal los meses de octubre, noviembre y diciembre por cuestiones económicas y por carencia de equipos, la eficiencia de la planta de tratamiento se determinó mediante el porcentaje de remoción de la demanda química de oxígeno (DQO).

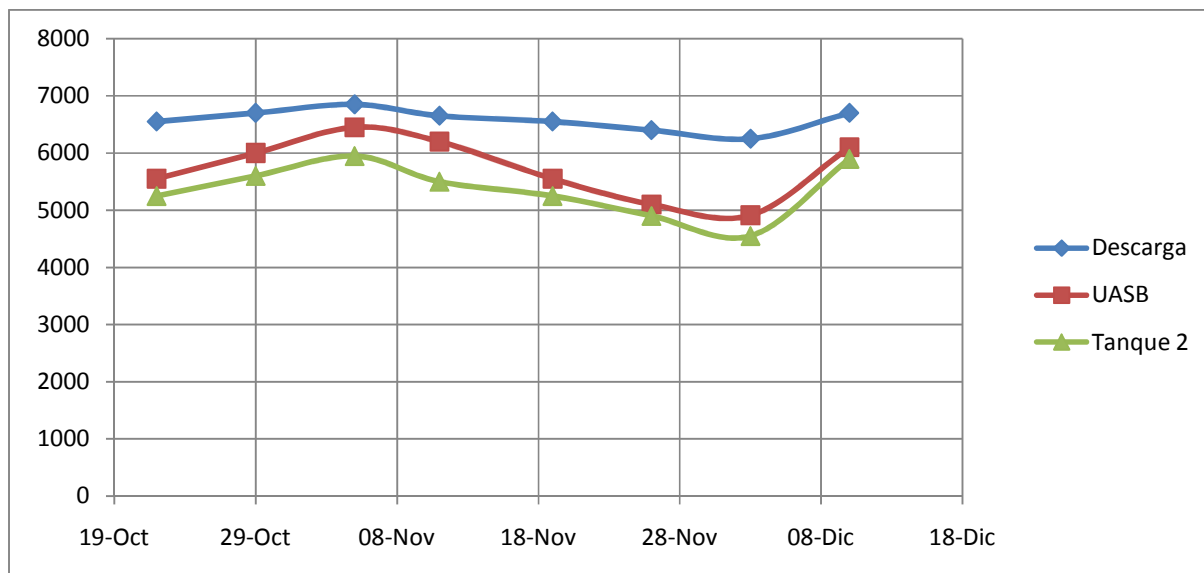
La demanda química de oxígeno fue medida tanto al ingreso de la planta, por medio de una muestra puntual, en el interior del reactor UASB, por medio de una muestra compuesta a diferentes alturas del reactor, y en la salida del filtro biológico percolador, por medio de una muestra puntual, obteniéndose los siguientes resultados, que se muestran en la tabla 4.26, tabla 4.27, gráfico 4.5 y gráfico 4.6.

**TABLA 4. 26.- MONITOREO DE LA EFICIENCIA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS**

Sitio	Indicador	[ ]	22/10	29/10	05/11	11/11	19/11	26/11	03/12	10/12
Descarga	Potencial Hidrógeno	-	8,48	8,54	8,61	8,33	8,43	8,49	8,46	8,52
	Conductividad	mS/L	37,8	36,6	38,2	35,3	38,3	37,2	36,9	38,1
	Sólidos Sedimentables	mL/L	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	DQO	mg/L	6550	6700	6850	6650	6550	6400	6250	6700
UASB	Potencial Hidrógeno	-	8,47	8,53	8,61	8,33	8,42	8,48	8,45	8,52
	Conductividad	mS/L	37,7	36,5	38,1	35,2	38,2	37,1	36,8	38
	Sólidos Sedimentables	mL/L	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	DQO	mg/L	5550	6000	6450	6200	5550	5100	4910	6100
Tanque 2	Potencial Hidrógeno	-	8,64	8,55	8,61	8,34	8,43	8,50	8,46	8,52
	Conductividad	mS/L	36,5	36,6	38,2	35,3	38,3	37,2	36,9	38,1
	Sólidos Sedimentables	mL/L	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	DQO	mg/L	5250	5600	5950	5500	5250	4900	4550	5900

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

**GRÁFICO 4. 5.- REMOCIÓN DE CARGA CONTAMINANTE EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS EN FUNCIÓN DE LA DQO mg/L**



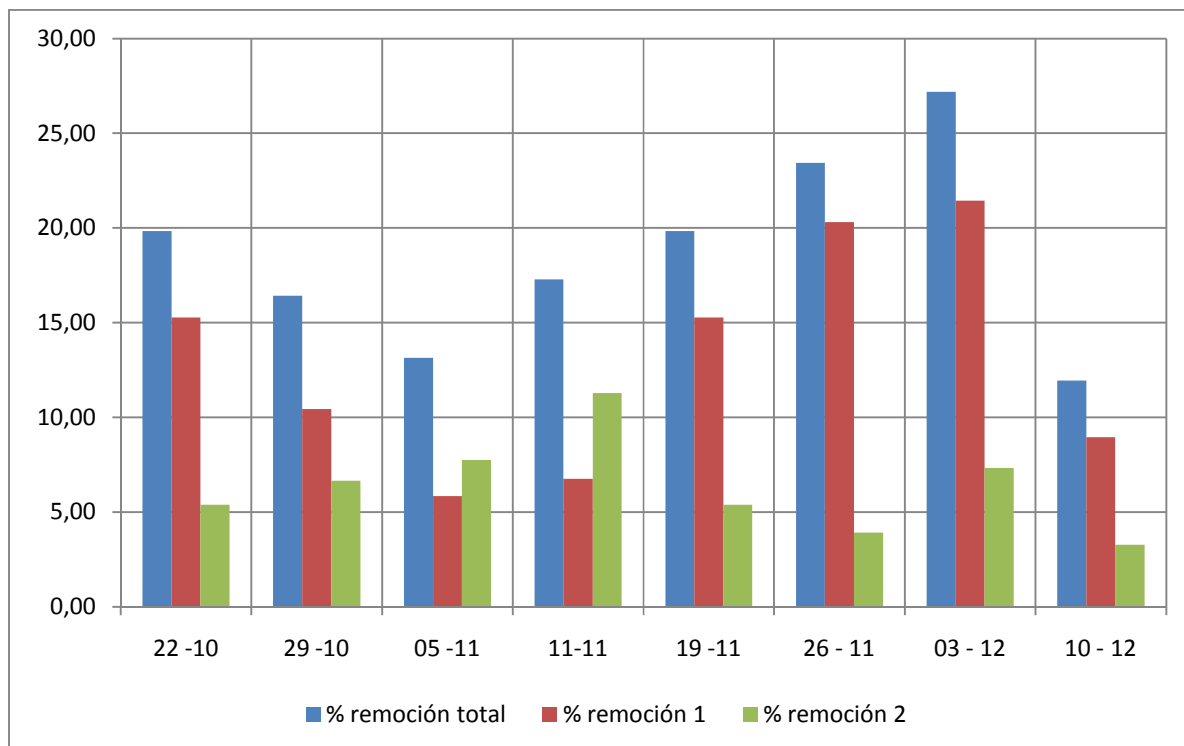
ELABORADO POR: Luis David López Fabara

**TABLA 4. 27.- REMOCIÓN DE CARGA CONTAMINANTE EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS EN FUNCIÓN DE LA DQO mg/L**

Sitio	Descarga	UASB	Tanque 2	% remoción 1	% remoción 2	% remoción total
22-Oct	6550	5550	5250	15,27	5,41	19,85
29-Oct	6700	6000	5600	10,45	6,67	16,42
05-Nov	6850	6450	5950	5,84	7,75	13,14
11-Nov	6650	6200	5500	6,77	11,29	17,29
19-Nov	6550	5550	5250	15,27	5,41	19,85
26-Nov	6400	5100	4900	20,31	3,92	23,44
03-Dic	6250	4910	4550	21,44	7,33	27,20
10-Dic	6700	6100	5900	8,96	3,28	11,94

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

**GRÁFICO 4. 6.- PORCENTAJES DE REMOCIÓN DE CARGA CONTAMINANTE EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS EN FUNCIÓN DE LA DQO.**



ELABORADO POR: Luis David López Fabara

#### **4.6 PROPUESTA DE ALTERNATIVAS PARA LA MEJORA DEL TRATAMIENTO ACTUAL**

El análisis de la eficiencia de remoción de la planta de tratamiento, muestra un porcentaje promedio del 19%, con una DQO promedio de descarga de 5300mg/L, lo que se traduce en que los líquidos lixiviados que se descargan contienen una carga contaminante muy por encima de la normativa ambiental vigente (límite máximo permisible 150 mg/L de DQO para descarga a un cuerpo de agua dulce), haciéndose necesario mejorar el funcionamiento de la planta de tratamiento, para poder cumplir con la normativa actual.

Las falencias detectadas en la planta de tratamiento, para que se reporten valores bajos de eficiencia en la remoción de carga contaminante reportada en términos de DQO, se muestra en la tabla 4.28.

**TABLA 4. 28.- PROBLEMAS DETECTADOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS**

Unidad	Problema	Causa	Observaciones	Solución
Rejilla	Obstrucción de poros	Remanentes de lodos	La limpieza es objetable, para remover los lodos (3 veces por semana) se aplasta la rejilla, y a la vez se acelera su deterioro	- Inclinar la rejilla de 45 a 60°. - Implementación de un tanque desarenador.
	Desgaste acelerado	Limpieza manual		
Bomba 1	Deterioro de sensores	Naturaleza de lixiviados	Difícil limpieza y mantenimiento	Cambio del sistema de sensores, a uno de flotación con boyas
	Taponamiento	Sedimentación de sólidos por mal funcionamiento de sensores	Al dejar de funcionar los sensores se sedimentan los sólidos y se obstruye la bomba, ocasionando derrames al tanque contiguo	Implementación de una rejilla con $\Phi < 1\text{mm}$ , con su sistema de remoción de sólidos

**Continúa....**

Continuación....

TABLA 4.28.- PROBLEMAS DETECTADOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS

Unidad	Problema	Causa	Observaciones	Solución
UASB	Lixiviado oxigenado	Turbulencia por succión de la bomba 1	El diseño de elevar el lixiviado no es adecuado, sería mejor que el lixiviado descienda al reactor	Cambiar de sistema de 2 bombas de 1HP, a 4 de 0,6 HP.
	Tiempo de retención hidráulica de 8 horas insuficiente	- Dimensionamiento del reactor - Reducción del tanque 1 a la mitad de su capacidad (4,5m <sup>3</sup> a 2,25m <sup>3</sup> )	El diseño original de la planta de tratamiento contemplaba la construcción de 2 reactores; además el tanque 1 se redujo de volumen con el fin de que el lixiviado ingrese al reactor sin disminuir sustancialmente su temperatura	Construcción de otro reactor con funcionamiento en paralelo de la misma capacidad, pero geométricamente circular, para eliminar zonas muertas.
	Muerte de microorganismos	Factores de crecimiento inadecuados	Se tiene una disminución sustancial de temperatura en el interior del reactor, además por la naturaleza de los lixiviados no se cuentan con el suficiente número de bacterias que descompongan la materia orgánica	- Inclusión de un sistema de calentamiento por medio de GLP, siendo idóneo la utilización de CH <sub>4</sub> en el interior del reactor.  - Inoculación del reactor por medio de bacterias metanogénicas, provenientes del material ruminal del ganado bovino

Continúa....

Continuación....

TABLA 4.28.- PROBLEMAS DETECTADOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS

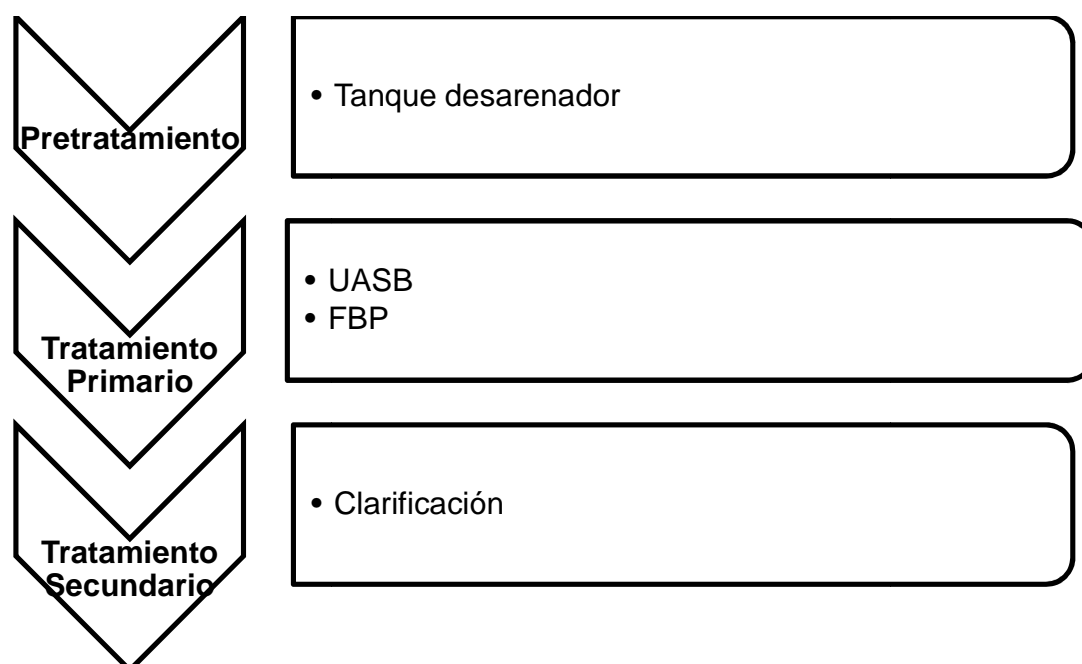
Unidad	Problema	Causa	Observaciones	Solución
FBP	Distribución del lixiviado no uniforme	Tubos de distribución desconectados	Los tubos no están sujetos adecuadamente y salen con facilidad, con la pequeña fuerza con la que ingresa el lixiviado a esta unidad	Sujetar los tubos de distribución firmemente a la salida del UASB con abrazaderas.
Lecho de secado	Ingreso de agua lluvia	Ausencia de cubierta adecuada	El actual sistema no cuenta con una cubierta apropiada que permita el ingreso de los rayos solares y a la vez impida el ingreso de agua lluvia	Construcción de una cubierta adecuada para evitar el ingreso del agua lluvia
Bomba 2	Deterioro de sensores	Naturaleza de lixiviados	Difícil limpieza y mantenimiento	Cambio del sistema de sensores, a uno de flotación con boyas
Tanque dosificador	Deterioro del tanque, y desprendimiento de manguera que conecta al tanque clarificador	Desuso, naturaleza del coagulante deterioro de mangueras	Al dejar de utilizar esta unidad por daños en su estructura, no se realiza el proceso de clarificación pues no se puede dosificar el coagulante	Reparar inmediatamente y determinar la dosis adecuada de coagulante para eliminar sólidos suspendidos por sedimentación
Medidor de caudal	Deteriorado sin uso	Obstrucción por agentes externos (hojas, tierra, ramas)	No se ha dado el mantenimiento respectivo y en la actualidad está en desuso	- Cambio por un medidor nuevo - Incorporar una rejilla después del tanque clarificador para evitar la obstrucción de agentes externos

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

## 4.7 PROPUESTA DE TRATAMIENTO

En la figura 4.2 se muestra el esquema de la propuesta para mejora del tratamiento.

**FIGURA 4. 2.- ESQUEMA DE PROPUESTA DE TRATAMIENTO**



ELABORADO POR: Luis David López Fabara

### 4.7.1 TRATAMIENTO PRELIMINAR

Es necesario remover los sólidos más grandes y pesados de tamaño de partícula hasta 0,2 mm de diámetro aproximadamente, además es necesario un pretratamiento, debido a que se tiene que proteger bombas, válvulas, tuberías y otros elementos, contra posibles daños ocasionados por sedimentación de estos sólidos; además se evita tapan las tuberías o canales durante los procesos siguientes de sedimentación y digestión.



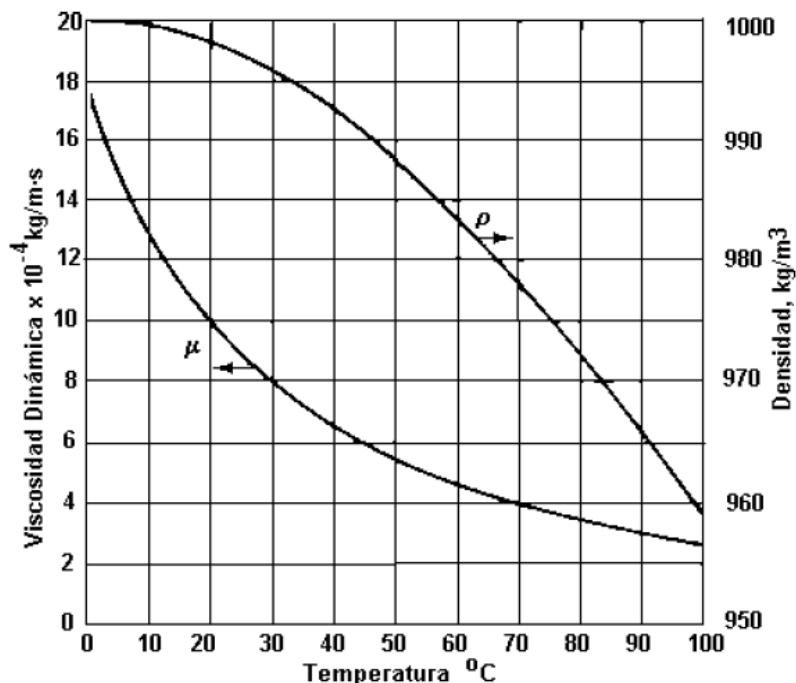
#### 4.7.1.1 Dimensionamiento del tanque desarenador

Para el diseño del tanque desarenador se utiliza un caudal máximo de 0,25 L/s, al incrementar en un 75% al 0,14L/s determinado en el monitoreo, por seguridad en el diseño. La temperatura promedio del agua es de 33 °C; y el objetivo de este tanque es remover partículas de hasta 0,2 mm de diámetro, con densidad del arena del orden de 2650 kg/m<sup>3</sup> (Valdez y Vázquez, 2003).

##### *Criterios de diseño:*

- El periodo de diseño, teniendo en cuenta criterios económicos y técnicos es de 8 a 16 años. (Relacionando con la vida útil del relleno sanitario).
- El periodo de operación es de 24 horas por día.
- Debe existir una transición en la unión del canal o tubería de llegada al desarenador para asegurar la uniformidad de la velocidad en la zona de entrada.
- La transición debe tener un ángulo de divergencia suave no mayor de 12°30´.
- La velocidad de paso por el vertedero de salida debe ser pequeña para ocasionar menor turbulencia y arrastre de material.
- La llegada del flujo de agua a la zona de transición no debe proyectarse en curva pues produce velocidades altas en los lados de la cámara.
- La relación largo/ancho debe ser entre 10 y 20.
- La sedimentación de arena fina ( $d < 0.01$  cm) se efectúa en forma más eficiente en régimen laminar con valores de número de Reynolds menores de uno ( $Re < 1.0$ ). (Ver figura 4.3).

**FIGURA 4. 3.- DENSIDAD Y VISCOSIDAD DINÁMICA DEL AGUA COMO UNA FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA**



FUENTE: Valdez y Vázquez, 2003

Para una temperatura de 33 °C, la viscosidad dinámica del agua es  $\mu = 0,0007$  Kg/m\*s; y su densidad es  $\rho = 995$  Kg/m<sup>3</sup>.

$$V_s = \frac{g \times (\rho_p - \rho_w)}{18 \times \mu} \times d^2 \quad (\text{Ecuación 4.9})$$

donde:

- $V_s$  = Velocidad de sedimentación (m/s)
- $g$  = Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)
- $\rho_p$  = Densidad de partícula (Kg/m<sup>3</sup>)
- $\rho_w$  = Densidad del agua (Kg/m<sup>3</sup>)
- $\mu$  = Viscosidad dinámica (Kg/m\*s)
- $d$  = Diámetro de la partícula (m)

De la ecuación de Stokes antes presentada se calcula la velocidad de sedimentación:

$$V_s = \frac{g \times (\rho_p - \rho_w)}{18 \times \mu} \times d^2 \Rightarrow V_s = \frac{9,8 \times (2650 - 995)}{18 \times 0,0007} \times 0,0002^2 \Rightarrow V_s = 0,05 \text{ m/s}$$

Se comprueba el número de Reynolds:

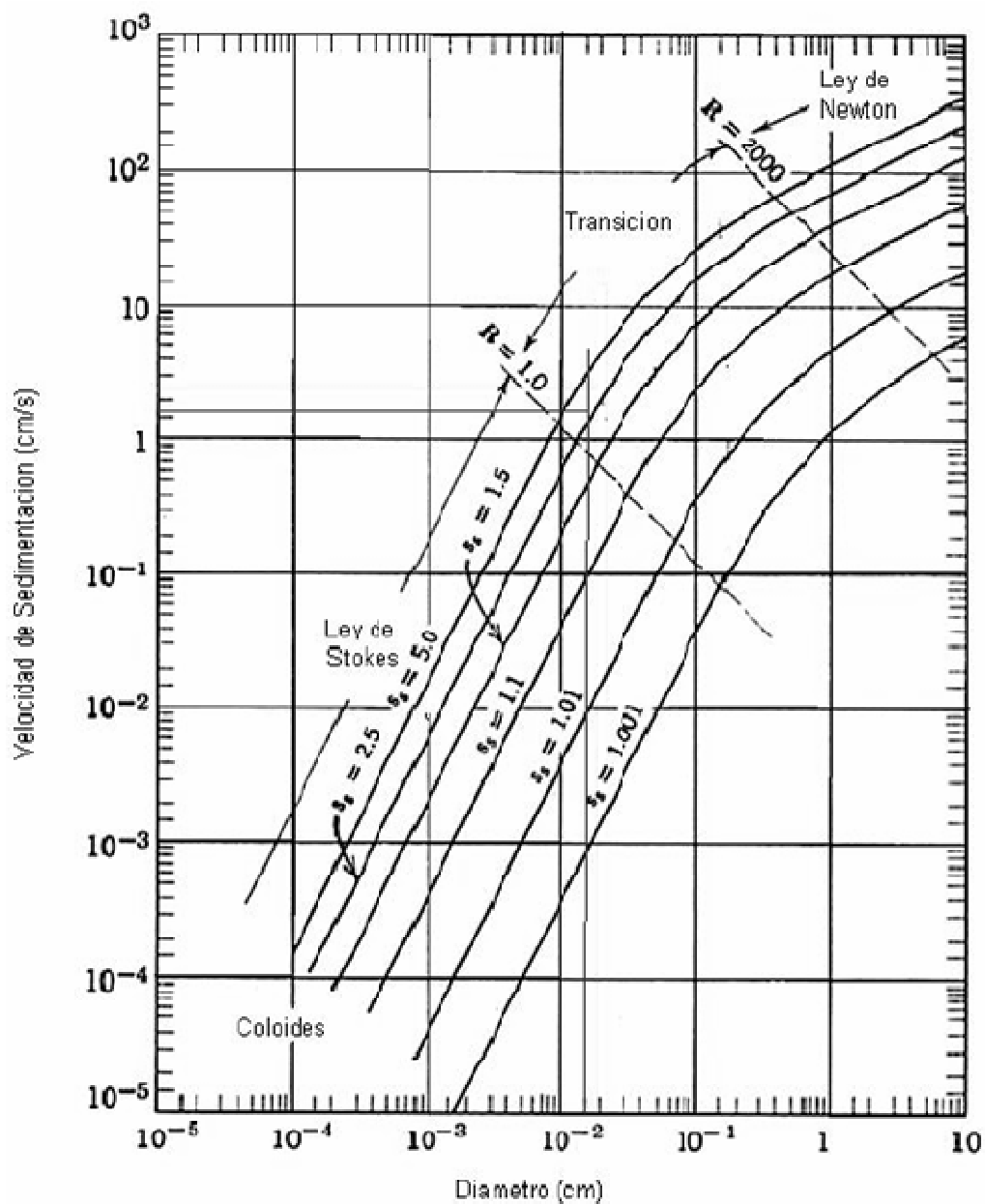
$$\text{Re} = \frac{V_s \times d}{\eta} \quad (\text{Ecuación 4.10})$$

donde:

- Re = Número de Reynolds
- $V_s$  = Velocidad de sedimentación (m/s)
- d = Diámetro de la partícula (m)
- $\eta$  = Viscosidad cinemática ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

$$\text{Re} = \frac{V_s \times d}{\eta} \Rightarrow \text{Re} = \frac{0,05 \times 0,0002}{0,7551 \times 10^{-6}} \Rightarrow \text{Re} = 13,24$$

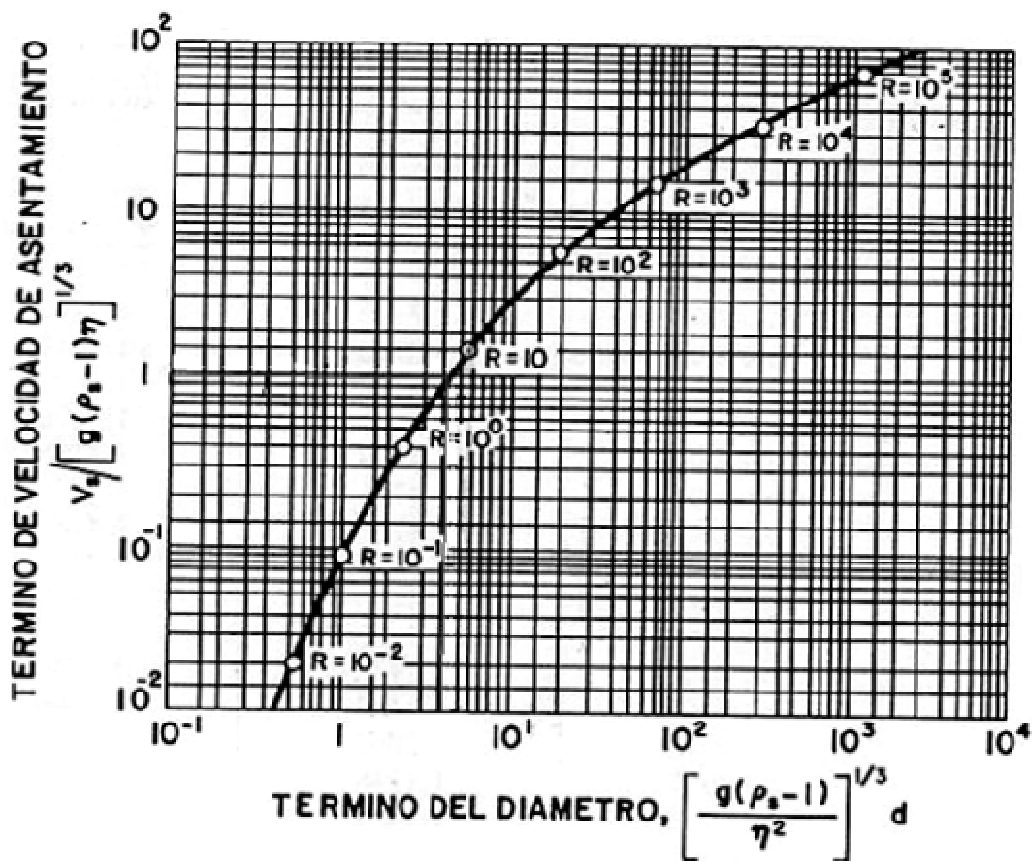
FIGURA 4. 4.- VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN



FUENTE: OPS, 2005.

$Re = 13,24 > 0,5$ ; por lo tanto, no se encuentra en la zona de la ley de Stokes.

FIGURA 4. 5.- VALORES DE SEDIMENTACIÓN



FUENTE: OPS, 2005.

La figura 4.5 muestra valores del número de Reynolds, en función de término del diámetro y término de la velocidad. A continuación se realizan los cálculos requeridos.

Término del diámetro:

$$\left( \frac{g(\sigma_s - 1)}{\eta^2} \right)^{1/3} \times d \Rightarrow \left( \frac{g(\sigma_s - 1)}{\eta^2} \right)^{1/3} \times d = \left( \frac{981 \times (2,65 - 1)}{(0,7551 \times 10^{-2})^2} \right)^{1/3} \times 0,02 \Rightarrow \left( \frac{g(\sigma_s - 1)}{\eta^2} \right)^{1/3} \times d = 6,10$$

Término de la velocidad:

$$\frac{V_s}{(g(\sigma_s - 1)\eta)^{1/3}} = 1,5 \Rightarrow \frac{V_s}{(981 \times (2,65 - 1) \times 0,7551 \times 10^{-2})^{1/3}} = 1,5 \Rightarrow V_s = 3,43 \text{ cm/s}$$

Se calcula nuevamente Reynolds:

$$\text{Re} = \frac{V_s \times d}{\eta} \Rightarrow \text{Re} = \frac{3,43 \times 0,02}{0,7551 \times 10^{-2}} \Rightarrow \text{Re} = 9,08$$

Por tanto se encuentra en la zona de transición (Aplica la ley de Allen).

Se determina el coeficiente de arrastre con la ecuación 4.11.

$$Cd = \frac{24}{\text{Re}} + \frac{3}{\sqrt{\text{Re}}} + 0,34 \quad (\text{Ecuación 4.11})$$

donde:

Cd = Coeficiente de arrastre

Re = Número de Reynolds

$$Cd = \frac{24}{\text{Re}} + \frac{3}{\sqrt{\text{Re}}} + 0,34 \Rightarrow Cd = \frac{24}{9,08} + \frac{3}{\sqrt{9,08}} + 0,34 \Rightarrow Cd = 3,99$$

Por tanto la velocidad de sedimentación será:

$$V_s = \sqrt{\frac{4}{3} \times \frac{g}{Cd} (\sigma - 1) \times d} \Rightarrow V_s = \sqrt{\frac{4}{3} \times \frac{9,81}{3,99} (2,65 - 1) \times 0,0002} \Rightarrow V_s = 0,03 \text{ m/s}$$

Con el valor de la velocidad de sedimentación y el caudal de diseño, se calcula el área de sedimentación, utilizando la ecuación 4.12.

$$A_s = \frac{Q}{V_s} \quad (\text{Ecuación 4.12})$$

donde:

$A_s$  = Área superficial ( $m^2$ )

$Q$  = Caudal (L/s)

$V_s$  = Velocidad de sedimentación (dm/s)

$$A_s = \frac{Q}{V_s} \Rightarrow A_s = \frac{0,25}{0,3} \Rightarrow A_s = 0,83 dm^2 \Rightarrow A_s = 0,083 m^2$$

Se determinan las dimensiones de largo, ancho y profundidad respetando los criterios de diseño.

Largo:  $l = 4 \text{ m}$

Ancho:  $B = 0,4 \text{ m}$

Profundidad:  $h = 0,3 \text{ m}$

Se determina la velocidad horizontal:

$$V_H = \frac{Q}{A_T} \Rightarrow V_H = \frac{0,00025}{0,12} \Rightarrow V_H = 0,003 m/s$$

La velocidad de resuspensión, se determina mediante la ecuación 4.12.

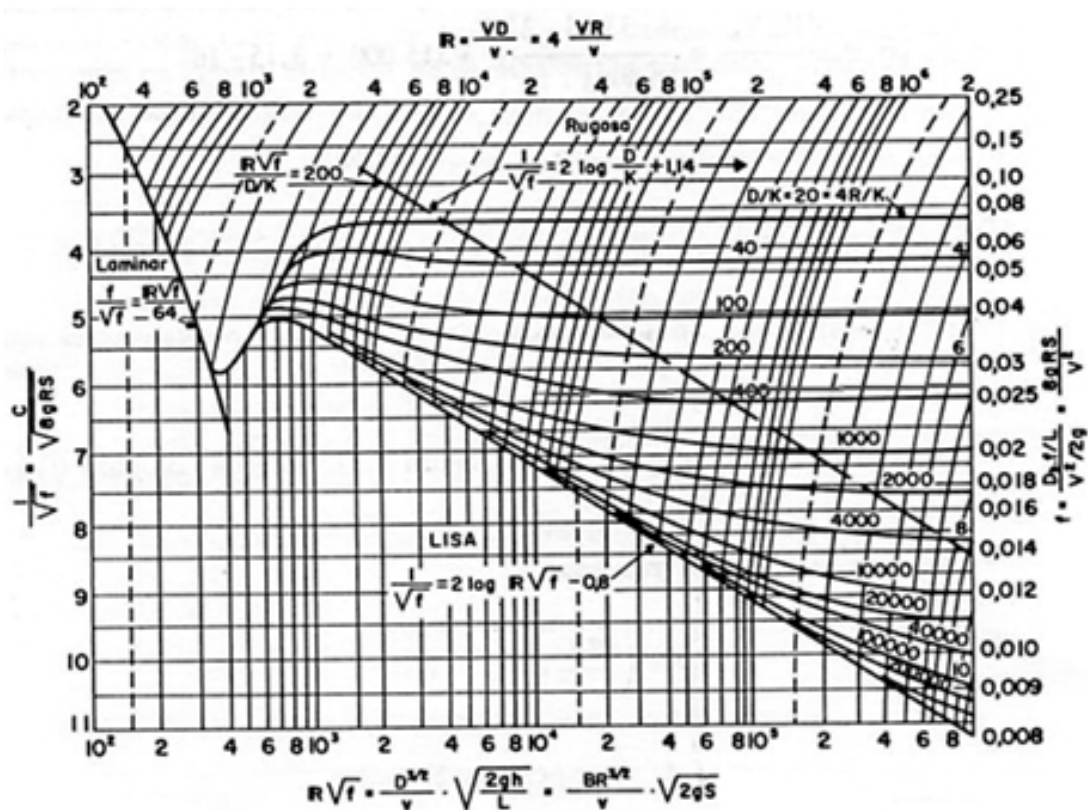
$$V_R = \sqrt{\frac{8K}{f} \times g(\sigma_s - 1) \times d} \quad (\text{Ecuación 4.13})$$

donde:

- $V_R$  = Velocidad de resuspensión (cm/s)  
 $f$  = factor de rugosidad  
 $K$  = Factor de forma (0,04 arenas uniangulares no adheribles)  
 $g$  = Aceleración de la gravedad (981 cm/s<sup>2</sup>)  
 $\sigma_s$  = Densidad relativa del arena (2,65)  
 $d$  = Diámetro de la partícula (cm)

El factor de rugosidad  $f$ , se obtiene de la figura 4.6.

**FIGURA 4. 6.- RESISTENCIA DE CORRIENTES**



FUENTE: OPS, 2005.

Se tiene que  $f = 0,027$ ; entonces se calcula  $V_R$ .



$$V_R = \sqrt{\frac{8K}{f} \times g(\sigma_s - 1) \times d} \Rightarrow V_R = \sqrt{\frac{8 \times 0,04}{0,027} \times 981 \times (2,65 - 1) \times 0,02} \Rightarrow V_R = 19,58 \text{ cm/s}$$

De lo que se puede observar que no habrá resuspensión puesto que  $V_R > V_H$ .

Para la determinación del tiempo de retención hidráulico, se utiliza la ecuación 4.14.

$$THR = \frac{V}{Q} \quad (\text{Ecuación 4.14})$$

donde:

THR = Tiempo de retención hidráulico (h)

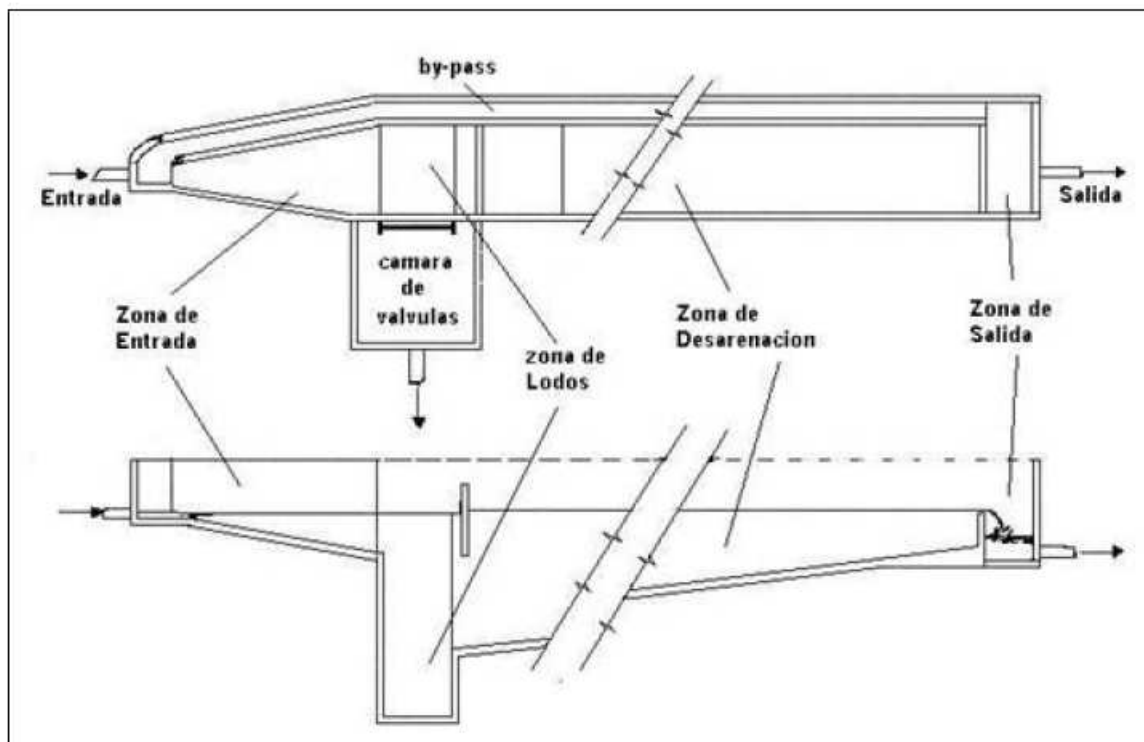
V = Volumen ( $\text{m}^3$ )

Q = Caudal ( $\text{m}^3/\text{h}$ )

$$THR = \frac{V}{Q} \Rightarrow THR = \frac{4 \times 0,4 \times 0,3}{0,9} \Rightarrow THR = 0,53 \text{ h}$$

En la figura 4.7 se muestra el esquema del desarenador en planta y en corte.

**FIGURA 4. 7.- DESARENADOR (PLANTA Y CORTE LONGITUDINAL)**



Fuente: OPS, 2005.

## 4.7.2 TRATAMIENTO PRIMARIO

### 4.7.2.1 Potencia de bomba de ingreso

Para impulsar el lixiviado, luego de que este sale del tanque desarenador, al reactor UASB, se necesita de un sistema de bombas que lo impulsen sin adicionar oxígeno pues el proceso en el interior del UASB es anaerobio y la oxigenación del lixiviado es un problema para obtener un buen rendimiento en la remoción de carga contaminante.

La ecuación 4.15, permite calcular la potencia de la bomba.

$$P = \rho \times g \times H \times Q \quad (\text{Ecuación 4.15})$$

donde:

P	=	Potencia (W)
$\rho$	=	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )
g	=	Aceleración de la gravedad (m/s)
H	=	Altura del UASB (m)
Q	=	Caudal (m <sup>3</sup> /s)

$$P = \rho \times g \times H \times Q \Rightarrow P = 1000 \times 9,81 \times 4,5 \times 0,25 \times 1000^{-1} \Rightarrow P = 11,04W \Rightarrow P = 0,02hp$$

Comercialmente se tienen bombas desde 0,6hp, por lo que se recalcula el caudal de ingreso al UASB:

$$Q = \frac{P}{\rho \times g \times H} \Rightarrow Q = \frac{14,91}{1000 \times 9,81 \times 4,5} \Rightarrow Q = 0,34 L/s$$

Con lo que se establece que se debería contar con un sistema de 4 bombas de 0,6 hp cada una, funcionando alternadamente, con un tiempo aproximado de tres horas de intervalo, garantizando un flujo continuo al interior del UASB y que el lixiviado no se oxigene en gran medida por la turbulencia generada, pues la velocidad de ascensión se calcula que sería de 0,2 m/s al utilizar una tubería de 2 pulgadas de diámetro.

#### 4.7.2.2 Rediseño del reactor UASB

Para el diseño del reactor UASB se deben considerar varios factores, que se listan a continuación:

- Se asume un tiempo de retención hidráulica inicial  $THR_0$  24 horas.
- El reactor debe contar con una campana separadora de gases
- Teniendo en cuenta la concentración tan variable de los lixiviados, se toma como base de cálculo para el diseño  $2,5 \text{ Kg DBO}_5/\text{m}^3$ , valor máximo durante el monitoreo realizado, utilizado por representar el caso más desfavorable.
- El reactor debe dispone de una altura efectiva no menor de 3 m. En algunas experiencias en otros países que emplean este tipo de tecnología de UASB's de baja altura, tienen baja producción de biogás debido a la pérdida de lodo, ya que el burbujeo aumenta al incrementarse la carga, y al tener un recorrido tan corto se impide la separación de las dos fases, presentándose en algunos casos el lavado de lodos del reactor, por lo que se diseña al reactor con una altura efectiva de 4,5 m.
- Se escoge la forma cilíndrica del reactor por ventajas hidrodinámicas, con la ventaja de que no se generan zonas muertas.

Para determinar la velocidad de flujo ascendente como uno de los parámetros de diseño, se parte de variables conocidas tales como: área y volumen del reactor a partir del diámetro y altura efectiva, carga máxima de diseño y concentración promedio de lixiviado.

En la tabla 4.29 se muestran las dimensiones del reactor y la carga de  $\text{DBO}_5$  volumétrica.

**TABLA 4. 29.-VARIABLES CONOCIDAS DE PARÁMETROS DE DISEÑO**

Diámetro del reactor (m)	Altura del reactor (m)	Concentración (Kg $\text{DBO}_5/\text{m}^3$ )
3,2	4,5	2,5

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

Se realiza a continuación un nuevo cálculo del reactor.

Área del reactor:

$$A_R = \frac{\pi \times D^2}{4} \Rightarrow A_R = \frac{(3,14159) \times (3,2)^2}{4} \Rightarrow A_R = 8,04 m^2$$

Volumen del reactor:

$$V_R = A_R \times H \Rightarrow V_R = 8,04 \times 4,5 \Rightarrow V_R = 36,2 m^3$$

Flujo másico:

$$Q^* = Q \times C \Rightarrow Q^* = 1,22 \times 2,5 \Rightarrow Q^* = 3,1 \text{ Kg/h}$$

Tiempo de retención hidráulico:

$$THR = \frac{V_R}{Q} \Rightarrow THR = \frac{36,2}{1,22} \Rightarrow THR = 29,6 h$$

Carga hidráulica:

$$C_H = \frac{Q}{A_R} \Rightarrow C_H = \frac{1,22}{8,04} \Rightarrow C_H = 0,15 m/h$$

Este resultado garantiza incrementos mayores de carga orgánica sin exceder la carga hidráulica típica, que se considera en 1m/h. (Caicedo y Molina, 2003).

Velocidad de flujo en la campana:

$$V_F = 4C_H \Rightarrow V_F = 4 \times 0,15 \Rightarrow V_F = 0,6 m/h$$

Una parte importante y crítica en el diseño de un reactor UASB es la campana o separador de gas, líquidos y sólidos, que es fundamental para lograr un buen

funcionamiento, a fin de mantener un lodo sedimentable (en su mayoría granular), un efluente tratado (libre de gases) y gases adecuadamente separados. (Caicedo y Molina, 2003).

*Campana:*

Área de abertura:

$$A_{abertura} = \frac{Q}{V_F} \Rightarrow A_{abertura} = \frac{1,22}{0,6} \Rightarrow A_{abertura} = 2,04m^2$$

Área de la sección transversal:

$$A_{campana} = A_R - A_{abertura} \Rightarrow A_{campana} = 8,04 - 2,04 \Rightarrow A_{campana} = 6m^2$$

De experiencias anteriores se asume un ancho mínimo interno de la campana y la altura tope del separador sobre la superficie del líquido igual a 0,1 m.

.

Ancho de la abertura:

$$W_A = R_R - R_C \Rightarrow W_A = 1,60 - 0,81 \Rightarrow W_A = 0,79m$$

$$W_G = R_R - W_A - 0,5(H_T) \Rightarrow W_G = 1,60 - 0,79 - 0,5(0,1) \Rightarrow W_G = 0,76m$$

Altura de la campana:

$$H_G = W_G \tan \alpha \Rightarrow H_G = 0,76 \tan 45 \Rightarrow H_G = 0,76m$$

Traslape:

$$T_V = 1,5W_A \Rightarrow T_V = 1,5(0,79) \Rightarrow T_V = 1,19m$$

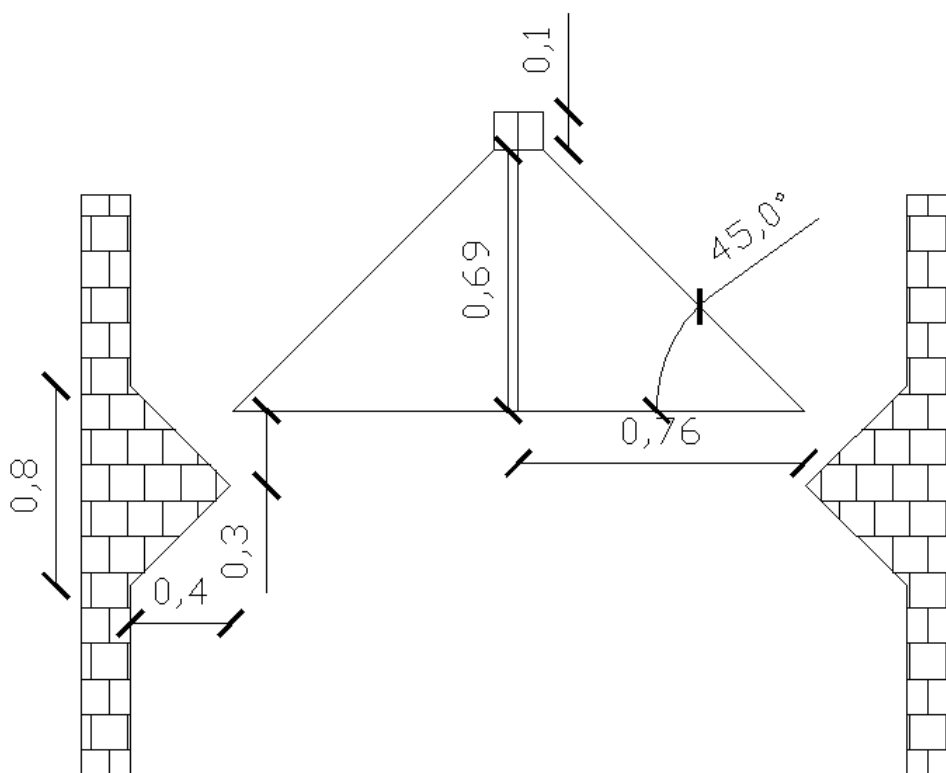
Ancho de deflectores:

$$W_D = T_V - W_A \Rightarrow W_D = 1,19 - 0,79 \Rightarrow W_D = 0,4m$$

Longitud de los deflectores:

$$L_D = 2W_D \tan \alpha \Rightarrow L_D = 2(0,4)\tan 45 \Rightarrow L_D = 0,8m$$

**FIGURA 4. 8.- DISEÑO DE LA CAMPANA Y DEFLECTORES**



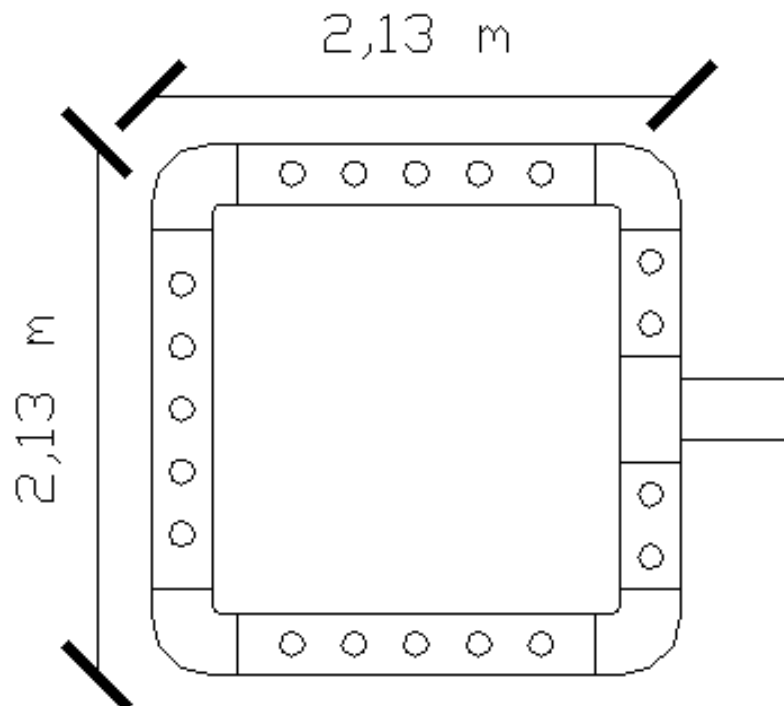
FUENTE: Caicedo y Molina, 2003.  
ELABORADO POR: Luis David López Fabara

La alimentación se la realiza por medio de un sistema de 3 tuberías de PVC de 2 pulgadas de diámetro, para repartir homogéneamente el lixiviado, desde el fondo hasta la cima del reactor, este tubo atraviesa cada reactor de arriba hacia abajo, de tal forma que, cuando se alimenta, el lixiviado cae a través de estos tubos y se distribuye en el fondo poniéndose en contacto con el manto de lodos y emergiendo nuevamente a lo largo de todo el reactor. Este sistema de alimentación no llega completamente hasta el fondo del reactor, ya que se taponaría, rebosaría y no

ejercería la función para el cual se asignó, por lo que se dejó un espacio de aproximadamente 10 – 15 cm para la correcta salida del afluente en el fondo del reactor.

Con respecto al efluente de cada reactor, se diseña un sistema de recolección tipo flauta de forma cuadrada con tubería PVC de 2 in, de 2,13 m de lado. (Ver figura 4.9).

**FIGURA 4. 9.- ESQUEMA SUPERIOR DE LAS FLAUTAS RECOLECTORAS DEL EFLUENTE**



FUENTE: Caicedo y Molina, 2003.  
ELABORADO POR: Luis David López Fabara

Entre cada orificio hay una distancia de 8 cm y los orificios tienen un diámetro de 1 cm. Se escogen estas medidas para asegurar que no haya taponamiento de las flautas debido al arrastre de lodos u otros materiales junto con el lixiviado.



Para la descarga de lodos se establece un sistema de purga y/o evacuación en la parte inferior del reactor. Este sistema consta de una válvula de 2 pulgadas, con adaptadores machi-hembrados y una llave de apertura rápida del mismo diámetro.

Para la inoculación del reactor se utilizan 15 m<sup>3</sup> de lodo anaerobio proveniente del reactor UASB existente, una vez provisto completamente el reactor con lixiviado, se suministran 150 L de material líquido ruminal procedente del camal municipal para una correcta activación del inóculo.

La digestión anaerobia, por ser un proceso biológico, requiere ciertos nutrientes inorgánicos esenciales para el crecimiento en proporciones ideales de 100 C : 5 N : 1P (donde C = carbono; N = nitrógeno y P = fósforo). El defecto o exceso en la relación de estos nutrientes limita el proceso metanogénico, aumentando los tiempos de residencia y los costos de operación, con la consecuente disminución de la eficiencia del sistema. Es por esto necesario asegurar que el lixiviado contiene una cantidad rica o aceptable al inóculo de éstos nutrientes a fin de obtener los resultados esperados. (Caicedo y Molina, 2003).

Asumiendo la menor eficiencia para este tipo de reactores, de acuerdo a METCALF & EDDY, INC, se tendría una eficiencia de remoción del 75%, lo que reportaría valores de DBO<sub>5</sub> del orden de 625 mg/L y de DQO aproximadamente 1575 mg/L, aún muy por encima de la normativa ambiental nacional vigente.

#### **4.7.2.3 Rediseño del filtro biológico percolador (FBP)**

Luego de que el lixiviado pase el por el reactor UASB, se complementará con un tratamiento aerobio, cuyo cálculo de la superficie necesaria para el tratamiento del lixiviado, mediante filtros sintéticos de 3,2 m de profundidad, (ver fotografía 4.1) suponiendo una constante de tratabilidad del orden de 0,058 m<sup>3</sup>/min, y deseando que se tenga una DBO<sub>5</sub> del orden de 25 mg/L, se plantea a continuación:

$$A = Q \left( \frac{-\ln\left(\frac{S_e}{S_i}\right)}{kD} \right)^{1/n} \quad (\text{Ecuación 4.15})$$

donde:

- A = Área del reactor (m<sup>2</sup>)  
 Q = Caudal (m<sup>3</sup>/min)  
 S<sub>e</sub> = DBO<sub>5</sub> efluente (mg/L)  
 S<sub>i</sub> = DBO<sub>5</sub> afluente (mg/L)  
 k = Coeficiente de tratabilidad (m<sup>3</sup>/min)  
 D = Altura del filtro (m)  
 n = 0,5

$$A = Q \left( \frac{-\ln\left(\frac{S_e}{S_i}\right)}{kD} \right)^{1/n} \Rightarrow A = 0,0204 \times \left( \frac{-\ln\left(\frac{25}{625}\right)}{0,058 \times 3,2} \right)^{1/0,5} \Rightarrow A = 6,1 \text{ m}^2$$

#### FOTOGRAFÍA 4. 3.- MEDIO FILTRANTE



FUENTE: Moncayo, 2009.

### 4.7.3 TRATAMIENTO SECUNDARIO

Esta etapa de tratamiento combina un proceso mecánico de sedimentación en el tanque de clarificación y un tratamiento químico por medio de un floculante, en este caso cloruro férrico o sulfato de aluminio.

Siendo la forma del tanque clarificador cónica con un diámetro de 5,5 m y una altura de 4 m se determina su volumen:

$$V = \frac{\pi \times D^2 \times H}{14} \Rightarrow V = \frac{3,14159... \times 5,5^2 \times 4}{14} \Rightarrow V = 27,15m^3$$

Para determinación de la dosis óptima de coagulante se hicieron pruebas en el laboratorio del Centro de Investigación y Control Ambiental (CICAM) de la Escuela Politécnica Nacional, cuyos resultados se exponen en las tablas 4.31 y 4.32.

**TABLA 4. 30.- CARACTERÍSTICAS DE COAGULANTE FLOCULANTE EMPLEADO**

Coagulante empleado	Estado	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Porcentaje de alúmina (%)
Sulfato de aluminio	Líquido	1,1	8
Cloruro férrico	Líquido	N/D	N/A

FUENTE: Informe Técnico ensayo de tratabilidad de efluentes líquidos para el Municipio de Ambato, octubre 2010.

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

*Las condiciones de operación fueron las siguientes:*

Una vez añadida la cantidad de floculante en cada jarra para cada etapa, se procedió a agitar de la siguiente manera:

Mezcla rápida:

- Velocidad de agitación 100 RPM
- Gradiente de velocidad  $105 \text{ s}^{-1}$
- Tiempo de agitación 60 segundos

Mezcla lenta:

- Velocidad de agitación 30 RPM
- Gradiente de velocidad  $30 \text{ s}^{-1}$
- Tiempo de agitación 15 minutos

Sedimentación: La formación de flocúlos grandes ayuda a que el tiempo de sedimentación sea menor, se deja sedimentar por un tiempo de 20 min, dependiendo del grado de floculación, y se procede a medir, turbidez, pH y conductividad en cada una de las jarras.

**TABLA 4. 31.- CARACTERÍSTICAS DE COAGULANTE FLOCULANTE EMPLEADO**

Prueba	Coagulante	Concentración óptima mg/L	Turbidez NTU	% remoción turbidez	TDS mg/L	C.E. mS/cm	pH
1	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	31	149	17,2	21,6	35,8	8,8
2	$\text{FeCl}_3$	520	124	31,1	21,7	35,6	9,5
3	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	484	194	7,8	20,9	34,6	8,3
4	$\text{FeCl}_3$	509	150	16,7	20,7	34,0	8,9

FUENTE: Informe Técnico ensayo de tratabilidad de efluentes líquidos para el Municipio de Ambato, octubre 2010.

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

Los mejores resultados se obtienen con el uso de cloruro férrico, con valores altos (520 mg/L).

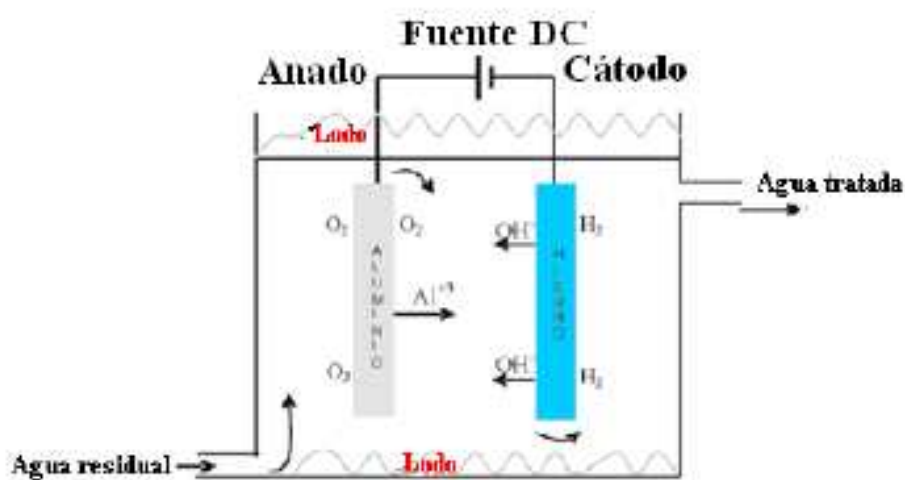
## 4.8 PROPUESTA DE TRATAMIENTO NO CONVENCIONAL

Se han realizado estudios y proyectos de titulación dentro de la Escuela Politécnica Nacional, sobre tratamiento de efluentes acuosos por medio de técnicas no convencionales, específicamente utilizando la técnica de electrocoagulación, electroflotación, obteniéndose excelentes resultados; por lo que se propone utilizar este método como alternativa para tratar los lixiviados provenientes del relleno sanitario de Ambato.

### 4.8.1 ELECTROCOAGULACIÓN

La electrocoagulación es un proceso electroquímico, que prosigue mediante la conversión de energía eléctrica a energía química, donde, las partículas suspendidas, disueltas o emulsificadas, presentes en el efluente se aglomeran debido a la presencia de iones cargados positivamente, producto de la aplicación de una diferencia del potencial eléctrico, a través de un sistema cátodo ánodo inmerso en la solución. (Manangón, 2003; Cazco y Jarrín, 2011).

FIGURA 4. 10.- SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN



FUENTE: Cazco y Jarrín, 2011

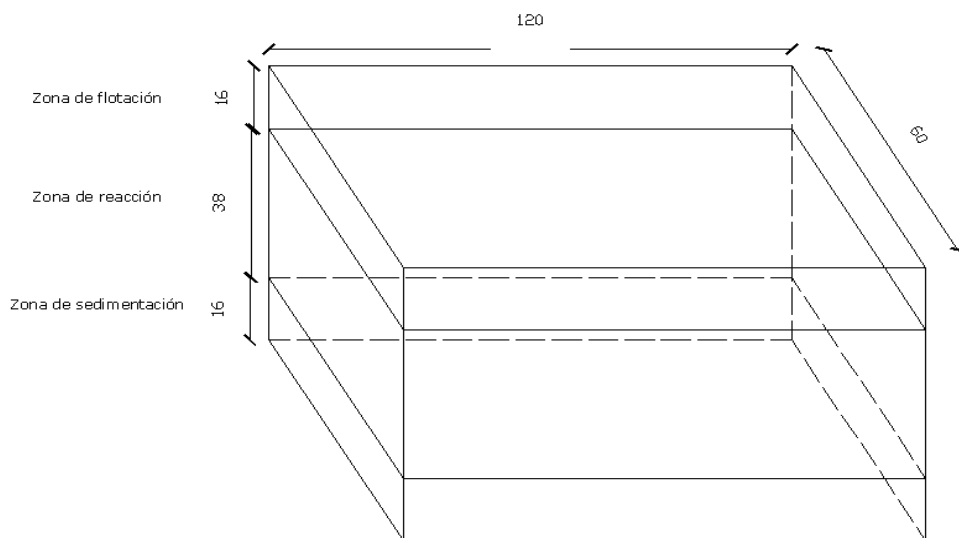
El sistema de electrocoagulación está compuesto por:

- Celdas de electrocoagulación (electrodos y disolución electrolítica).
- Fuente de poder de corriente continua (rectificador capaz de transformar corriente alterna en continua, con controles de voltaje y amperaje).

#### 4.8.2 DISEÑO

El reactor es de tipo flujo pistón, fraccionado en varios, compartimentos de reacción, permitiendo un desplazamiento vertical del flujo de agua por cada una de las celdas, optimizando el ambiente de mezcla para la formación del coagulante y flóculos.

**FIGURA 4. 11.- ZONAS DEL REACTOR DE ELECTROCOAGULACIÓN**

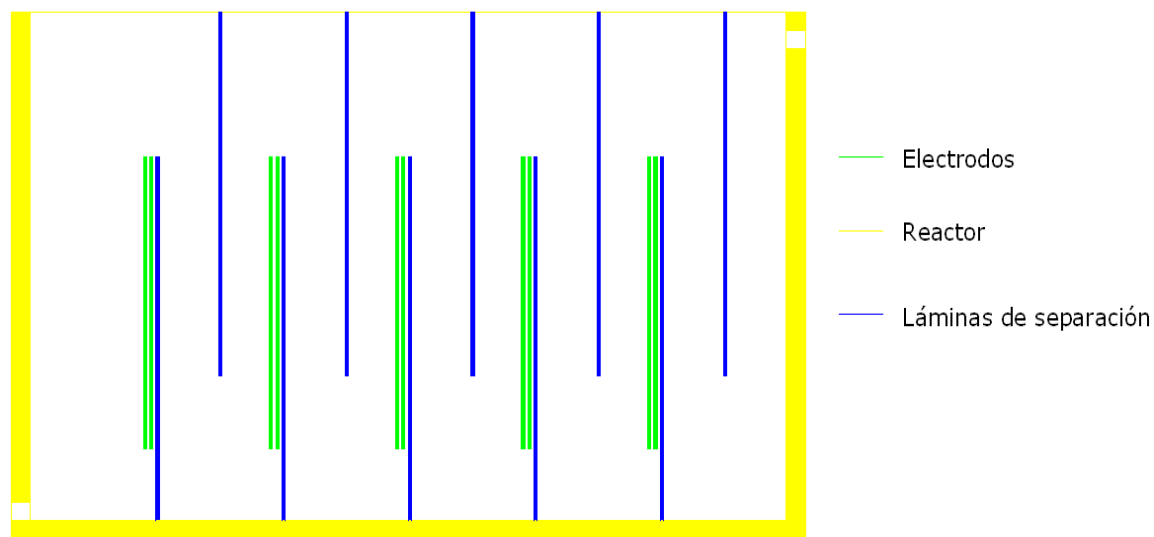


Elaborado por: Luis David López Fabara

Los electrodos acoplados al reactor, son láminas de aluminio rectangulares dispuestas en serie intercaladas en el reactor. Una lámina se conecta al ánodo y otra al cátodo, a distancias de 0,5 cm; las láminas tienen un altura igual a la zona de reacción del

reactor; se escoge este tipo de material debido a su disponibilidad en el mercado local, costo relativamente bajo (ver figura 4.12).

**FIGURA 4. 12.- ESQUEMA DEL PROCESO (CORTE LONGITUDINAL)**



Elaborado por: Luis David López Fabara

El sistema de electrocoagulación está conformado por el reactor de electrocoagulación, los electrodos metálicos y la fuente de poder, con su respectivo control eléctrico.

La fuente reguladora de corriente continua debe poseer una capacidad de al menos 18 A de intensidad y 60 V de voltaje, siendo la densidad de corriente máxima aproximada  $315 \text{ A/m}^2$ .

#### **4.8.3 PRUEBA EXPERIMENTAL DE ELECTROCOAGULACIÓN**

Se realizó una prueba de electrocoagulación con electrodos de aluminio, tomando corriente alterna de 220 V y mediante un rectificador transformándola en corriente continua; se la aplicó un volumen controlado de 500 mL, reactor Batch, luego de la

prueba se midieron el potencial hidrógeno, la temperatura y la demanda química de oxígeno, ésta última para determinar la oxidación de las especies químicas. En la tabla 4.32

**TABLA 4. 32.- VALORES MEDIDOS EN LA PRUEBA DE ELECTROCOAGULACIÓN**

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor lixiviado crudo</b>	<b>Valor lixiviado tratado</b>
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	6850	5480
Temperatura	°C	22	75
Potencial Hidrógeno	-	8,8	9,00

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

Como se observa de la tabla anterior la temperatura obtenida que fue sumamente alta, llegando a pasar el 20% del líquido lixiviado a fases de espuma y gas, y aproximadamente un 1% pasó a estado sólido. La espuma del lixiviado luego de dejarse secar pasa a estado sólido y el gas va a la atmósfera; la prueba se la realizó con 10 min de tiempo de retención hidráulico y con 2 %A de corriente continua.

Se tiene una eficiencia de remoción de carga contaminante en cuanto a especies químicas susceptibles a oxidarse una eficiencia del orden del 20% estableciéndose así que por este método se tiene una baja eficiencia de remoción de carga contaminante; aunque visualmente se pudo observar la remoción de color, pasa de un color negro a café, además por los sólidos sedimentados se estima que la turbidez del lixiviado también bajó.



#### FOTOGRAFÍA 4. 4.- ENSAYO DE ELECTROCOAGULACIÓN



ELABORADO POR: Luis David López Fabara

### 4.9 ANÁLISIS DE COSTOS

En las tablas 4.33, 4.34, 4.35 y 4.36 se muestran los costos de implementación de las alternativas de tratamiento.

**TABLA 4. 33.- COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN Y OPERACIÓN DE LA PROPUESTA DE TRATAMIENTO**

Unidad	Costo Implementación (USD)	Costo Operación (USD/mes)
Desarenador	2894,53	160,00
Bomba 1	5400,00	2581,22
UASB	28000,00	160,00
FBP	12800,00	160,00
Tanque dosificador	1500,00	673,92
<b>Total</b>	<b>50594,53</b>	<b>3735,14</b>

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

**TABLA 4. 34.- COSTOS MENSUALES EQUIPOS ELÉCTRICOS**

Equipos eléctricos	Unidad	Potencia (HP)	Costo KW/h (USD)	Costo mensual (USD)
Bomba 1	4,00	0,60	1,41	1822,04
Bomba 2	1,00	1,00	1,41	759,18
<b>Total</b>				2581,22

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

**TABLA 4. 35.- COSTOS MENSUALES QUÍMICOS REQUERIDOS**

Químicos requeridos	Cantidad requerida (mg/L)	Caudal promedio (m3/mes)	Costo Kg FeCl <sub>3</sub> (USD)	Costo USD/mes
Cloruro Férrico	520,00	1296,00	1,00	673,92

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

**TABLA 4. 36.- COSTO POR METRO CÚBICO TRATADO**

Caudal promedio (L/s)	Costo Operación USD/mes	Costo m <sup>3</sup> lixiviado tratado (USD)
0,50	3735,14	2,88

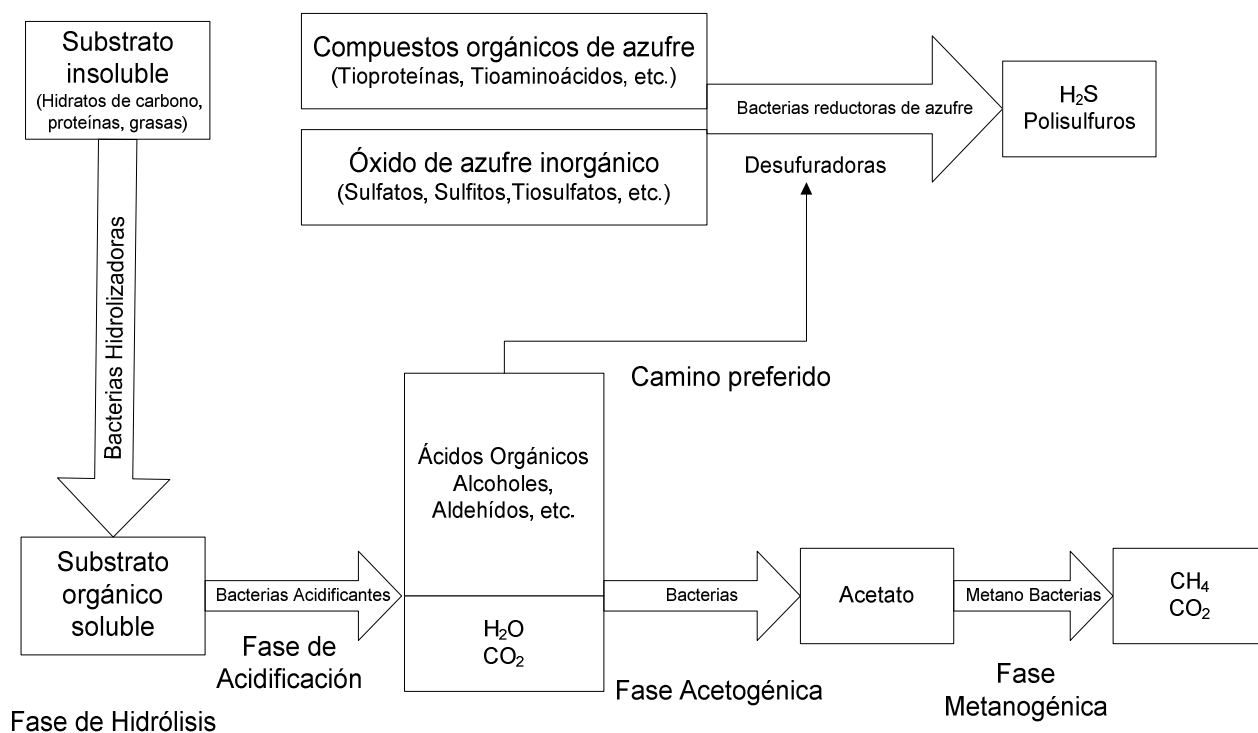
ELABORADO POR: Luis David López Fabara

## CAPÍTULO 5.

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

Sobre la base de los resultados obtenidos en el capítulo anterior y considerando los procesos de degradación de la materia orgánica dentro de un relleno sanitario, a continuación se analizan y discuten de los valores de los distintos indicadores obtenidos durante el muestreo de caracterización de los líquidos lixiviados, teniendo en cuenta la descomposición de la materia orgánica. (Ver figura 5.1).

**FIGURA 5. 1.- ESQUEMA DE LA DESCOMPOSICIÓN ANAEROBIA DE LA MATERIA ORGÁNICA.**



FUENTE:  
ELABORADO POR:

Castillo, 1994.  
Luis David López Fabara

## 5.1 CARGA CONTAMINANTE DE LOS LÍQUIDOS PERCOLADOS, EN FUNCIÓN DE LOS INDICADORES OBTENIDOS EN LA FASE DE MUESTREO

Para analizar la carga contaminante de los lixiviados se comparan los resultados obtenidos con los límites máximos de descarga a un cuerpo de agua dulce, según el Anexo 1 del Libro VI del TULAS, y el cumplimiento de los mismos, con el fin de observar el poder su poder contaminante.

**TABLA 5. 1.- ANÁLISIS DEL CUMPLIMIENTO DE NORMATIVA**

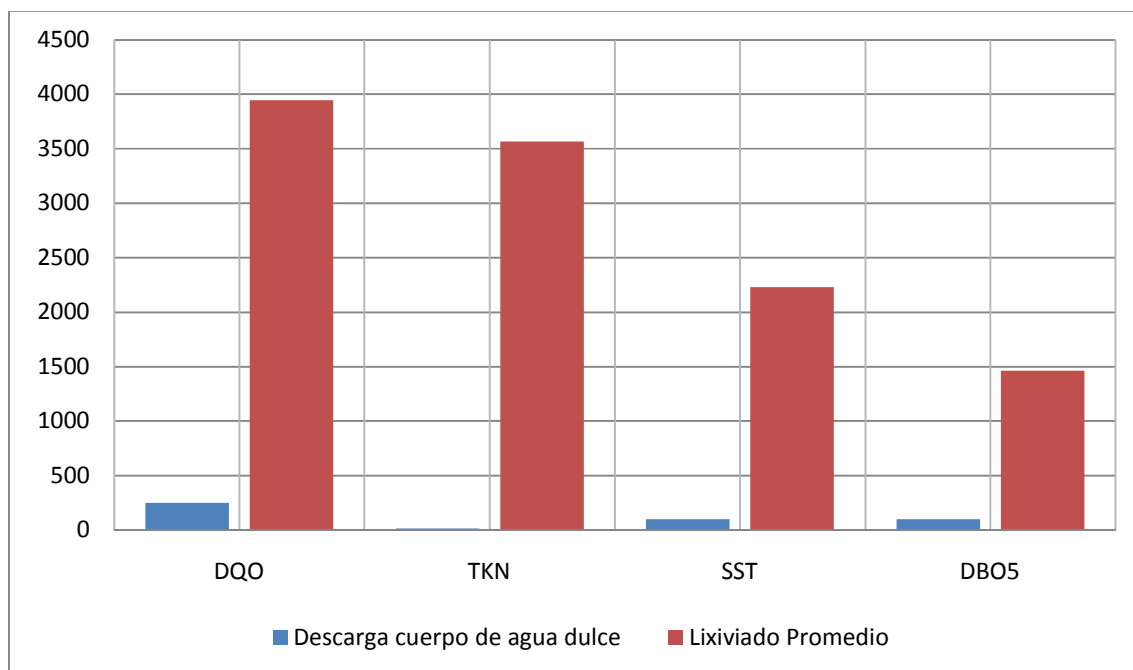
Indicador	Unidades	Descarga cuerpo de agua dulce	Lixiviado Promedio	Cumple con la norma
pH	-	5 - 9	8,6	Si
Cr <sup>+6</sup>	mg/L	0,5	1,9	No
DQO	mg/L	250	3945,3	No
TKN	mg/L	15	3565	No
SST	mg/L	100	2232,2	No
ST	mg/L	1600	18701,9	No
DBO <sub>5</sub>	mg/L	100	1463,8	No

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

Al comparar los indicadores muestreados con los que son establecidos en el Anexo 1 del Libro VI del TULAS, donde no solo se puede apreciar que se incumple la normativa ambiental vigente, sino también que el porcentaje de excedencia es muy grande, pues los valores se encuentran muy por encima del valor máximo permitido. Además, la principal característica de los líquidos lixiviados, radica en su altísima carga orgánica, característica que se apreció durante todo el período de muestreo, ya que el color de

los líquidos lixiviados es negro y con un fuerte olor a descomposición, además de una temperatura elevada. (Ver gráfico 5.1).

### GRÁFICO 5. 1.- COMPARACIÓN DE LA NORMATIVA AMBIENTAL CON LOS VALORES DE INDICADORES PROMEDIOS DEL LIXIVIADO MONITOREADO



ELABORADO POR: Luis David López Fabara

#### 5.1.1 CÁLCULO DE LA CARGA CONTAMINANTE

La carga contaminante para descargas líquidas es el valor empleado en el seguimiento de las descargas líquidas no domésticas, determinado a través de la ecuación 5.1.

$$CC = \left( \frac{2DBO_5 + DQO}{3} + SST \right) \times Q / 1000 \quad (\text{Ecuación 5.1})$$

donde:

CC = Carga Contaminante (Kg/h)

DBO <sub>5</sub>	=	Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)
DQO	=	Demanda Química de Oxígeno (mg/L)
SST	=	Sólidos Suspendidos (mg/L)
Q	=	Caudal (m <sup>3</sup> /h)

**TABLA 5. 2.- CÁLCULO DE LA CARGA CONTAMINANTE**

Fecha	DBO <sub>5</sub>	DQO	SST	Caudal	CC
10-May	1400,00	4975,00	1572,00	0,47	1,95
17-May	2000,00	4900,00	1373,00	0,50	2,19
24-May	920,00	2500,00	3389,00	0,47	2,26
31-May	1200,00	2750,00	1476,00	0,50	1,61
14-Jun	1200,00	3100,00	665,00	0,47	1,17
21-Jun	1300,00	4200,00	613,00	0,47	1,35
28-Jun	1800,00	3900,00	639,00	0,47	1,47
05-Jul	1200,00	3500,00	1681,00	0,50	1,84
12-Jul	1100,00	4100,00	2211,00	0,50	2,17
19-Jul	1100,00	3700,00	933,00	0,43	1,25
26-Jul	2000,00	4700,00	1389,00	0,50	2,16
04-Oct	1400,00	3200,00	1694,00	0,47	1,73
11-Oct	1200,00	2900,00	2167,00	0,50	1,98
18-Oct	1600,00	4300,00	2313,00	0,47	2,25
25-Oct	1500,00	4100,00	1698,00	0,50	2,05

Elaborado por: Luis David López Fabara

Del análisis de valores de la tabla 5.2, se obtiene:

Mínimo = 1,17 Kg/h

Máximo = 2,26 Kg/h

Promedio = 1,83 Kg/h

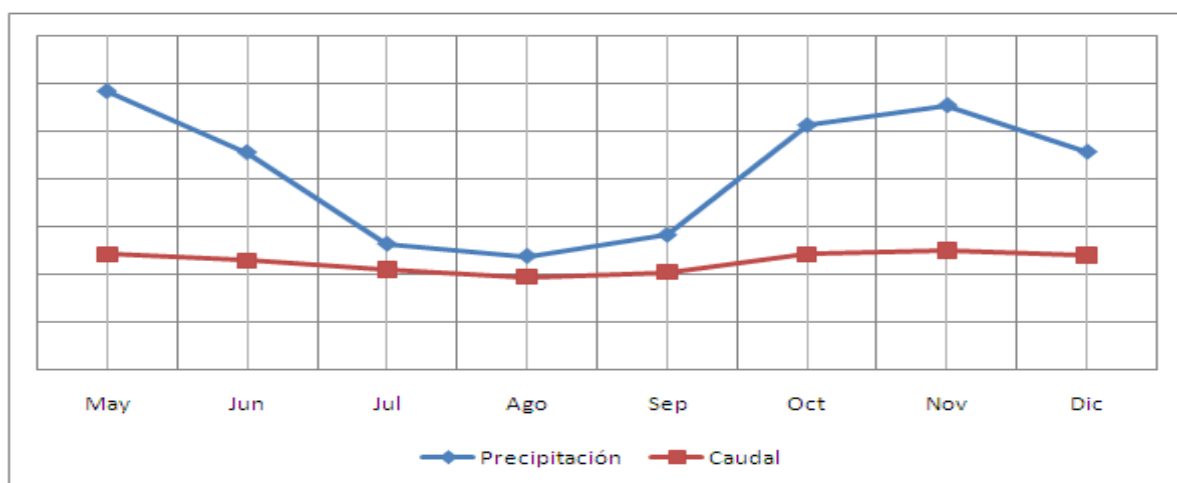
Del dato obtenido sobre la remoción de carga contaminante en función de la DQO, que en el mejor de los casos sería de alrededor del 27% de eficiencia en la planta de tratamiento, implica que se obtendría un valor de carga contaminante promedio al cauce receptor 1,34 Kg/h, siendo 0,02 Kg/h el valor máximo permitido para este caso según la normativa ambiental (Resolución Nº 0002 – DMA - 2008). Se aprecia así un alto grado de contaminación y deterioro de la calidad ambiental.

## 5.2 DISCUSIÓN DE LOS DIFERENTES INDICADORES UTILIZADOS EN LA CARACTERIZACIÓN DE LOS LÍQUIDOS LIXIVIADOS

En este numeral se discute sobre los indicadores utilizados para la caracterización de los líquidos lixiviados, relacionándolos con los procesos de degradación de la materia orgánica en el interior del relleno y la relación de estos valores característicos con los desechos sólidos depositados.

Se elaboró el gráfico 5.2 que representa la precipitación en un año típico en la ciudad de Ambato, con los datos de la estación meteorológica Chachoán. Con este gráfico se analiza el comportamiento de los diferentes parámetros en función de la precipitación.

**GRÁFICO 5. 2.- PRECIPITACIÓN Y CAUDAL DE LIXIVIADOS**

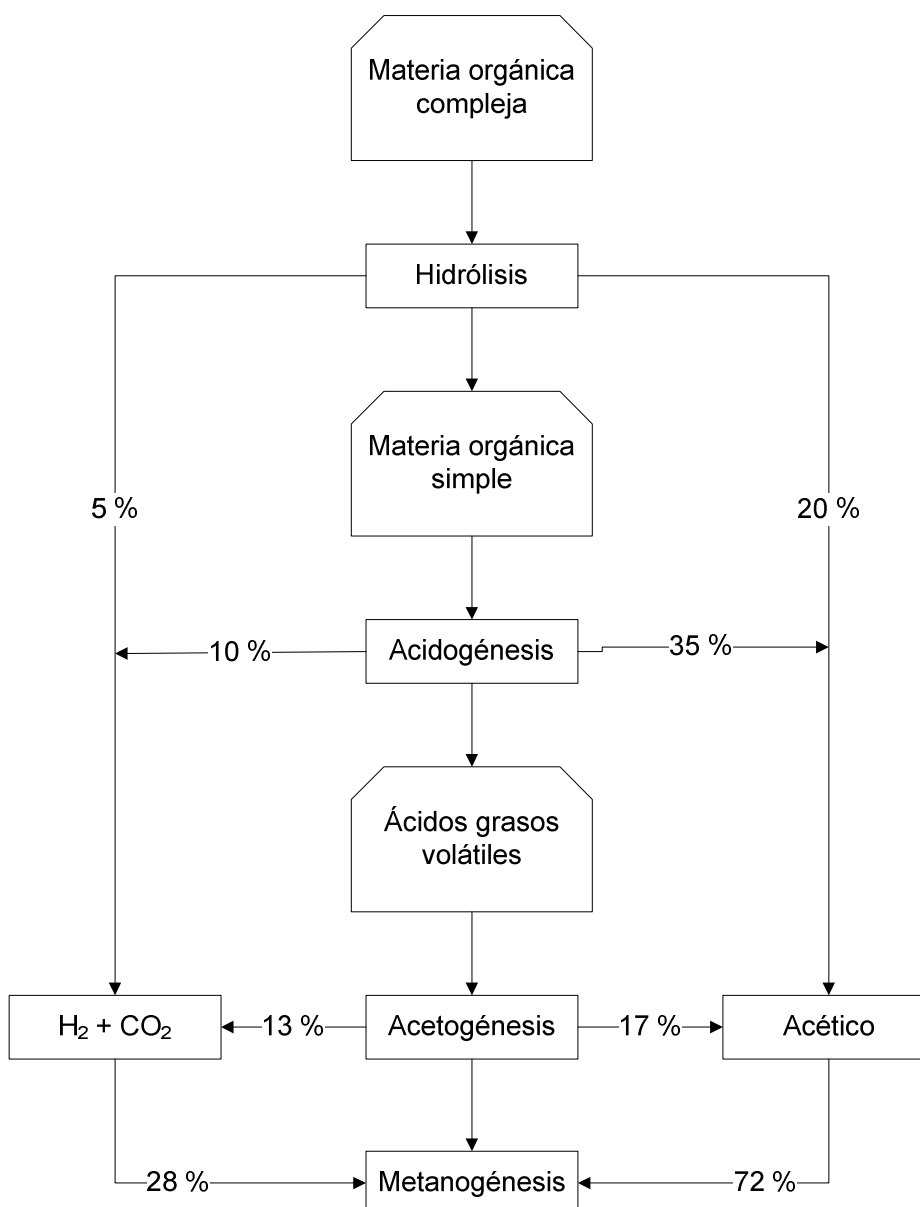


ELABORADO POR: Luis David López Fabara

### 5.2.1 INDICADORES FÍSICOS

En la figura 5.2, se muestran las principales etapas de la descomposición anaerobia de la materia orgánica. Sirve para divisar los indicadores físicos de análisis.

**FIGURA 5. 2.- DIAGRAMA DE FLUJO SIMPLIFICADO Y BALANCE DE MATERIA DE LA DESCOMPOSICIÓN ANAEROBIA DE LA MATERIA ORGÁNICA.**



FUENTE:

Jiménez, 2004.

ELABORADO POR:

Luis David López Fabara



### **5.2.1.1 Conductividad eléctrica**

Este indicador es utilizado, cuando se monitorea aguas subterráneas, para conocer las fluctuaciones temporales de concentración de sólidos disueltos. El valor de la conductividad específica es un indicador que puede ser determinado rápida y fácilmente, no es costoso y se lo puede determinar con equipos portátiles. (Castillo, 1994).

El valor de la conductividad eléctrica de los líquidos lixiviados se encuentra en un rango de 28,6 mS/cm y 33,3 mS/cm; teniendo un valor promedio de 31,0 mS/cm.

El proceder de las lecturas de conductividad, en conjunto con la precipitación, expresan que las concentraciones en la temporada de lluvia tienden a bajar, puesto que los líquidos lixiviados son diluidos por las aguas lluvias que escurren desde las partes altas del relleno. Los valores de la conductividad alta son el fruto del arrastre de sustancias orgánicas e inorgánicas producto de las actividades de descomposición de la materia orgánica.

### **5.2.1.2 Oxígeno disuelto**

El factor más importante que limita la capacidad de purificación de las aguas naturales es la baja solubilidad del oxígeno; pues determina que los cambios biológicos sean producidos por organismos aeróbicos o anaeróbicos. La velocidad de la oxidación bioquímica se puede calcular determinando el oxígeno disuelto residual de un sistema a diferentes intervalos de tiempo. (Sawyer, 2001).

Las condiciones críticas relacionadas con la deficiencia del oxígeno disuelto ocurren con mayor frecuencia en los meses de baja pluviosidad con elevadas temperaturas, puesto que la solubilidad del oxígeno es mínima.

En el caso particular de los líquidos lixiviados del relleno sanitario de la ciudad de Ambato, se tienen valores entre 0,2 mg/L y 0,4 mg/L, con un promedio de 0,3 mg/L, esto confirma el carácter anóxico de los lixiviados que se tratan; además, no se tiene una variación considerable de este indicador a lo largo del período de muestreo.

#### **5.2.1.3 Potencial hidrógeno (pH)**

Los valores de pH de los líquidos lixiviados se encuentran en un rango de 8,5 a 8,7; teniendo un valor promedio de 8,6. Cabe recalcar que en la medición in-situ de este indicador con cintas de pH, siempre se obtuvo el valor de 8, en el laboratorio se obtuvieron valores de 8 con decimales randómicos.

Los valores de pH obtenidos, indican que el relleno se encuentra en la fase de metanogénesis, debido a que en esta fase se producen  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  y  $\text{CO}_2$ , en su mayoría, estos compuestos no tienen un carácter ácido por lo que se establece que el relleno se encuentra en la fase metanogénica de la descomposición anaerobia.

El pH relativamente alto, comparado con otros lixiviados, puede explicarse por la elevada alcalinidad, producida fundamentalmente por la presencia de Amonio, lo que le otorga una gran capacidad buffer a pesar de la elevada concentración de ácidos volátiles.

#### **5.2.1.4 Temperatura**

Estos líquidos presentan una temperatura elevada debido a la actividad de degradación materia orgánica en el interior del relleno, independientemente de la temperatura del medio ambiente.

Este parámetro fue medido in-situ obteniéndose valores que oscilaron entre 32 °C a 34 °C, con una media de 33 °C, estos valores no fluctuaron mayormente a lo largo del muestreo realizado.

#### **5.2.1.5 Turbidez**

Los valores de turbidez obtenidos son sumamente altos, y evidencian la gran presencia de sólidos coloidales. Los valores obtenidos estuvieron en el rango de 338,3 NTU y 579,8 NTU, con una media de 470,8 NTU. Los valores más altos se obtuvieron durante los meses de menor precipitación, mientras que los valores bajos se obtuvieron en los meses de mayor precipitación, evidenciándose una subordinación de dilución de los líquidos lixiviados al tener mayor aporte de aguas lluvias.

### **5.2.2 INDICADORES QUÍMICOS**

#### **5.2.2.1 Demanda química de oxígeno (DQO)**

La demanda química de oxígeno (DQO), es de suma importancia, pues es el parámetro que determina la cantidad de oxígeno necesario para oxidar todas las especies químicas presentes en la muestra; además, este parámetro es necesario para dar un estimado de la demanda bioquímica de oxígeno y posteriormente determinarla, y muestra la carga contaminante diaria.

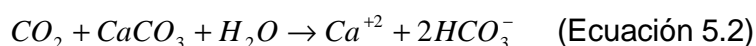
Los valores de la DQO, en épocas de invierno como es lógico suponer descienden, ya que existe dilución con las aguas que escurren.

Los valores de DQO obtenidos durante el período de monitoreo para la caracterización de los líquidos lixiviados se encuentra en un rango de 3625 mg/L a 4375 mg/L; teniendo un valor promedio de 3945,3 mg/L. Mientras que la media durante el análisis de la eficiencia de la planta de tratamiento fue 6581,3 mg/L, y el promedio DQO en la descarga al efluente acuoso luego de pasar por la planta de tratamiento tubo una

media de 5362,5 mg/L. Estos valores más altos se debe a la utilización de otros equipos, puesto que el monitoreo de la caracterización se lo llevó a cabo en el laboratorio de microbiología y aguas de la Escuela Politécnica Nacional, mientras que para la determinación de la eficiencia de remoción de carga contaminante se lo realizó en el laboratorio de aguas negras del Municipio de Ambato, el mismo que todavía se encuentra en su fase de implementación y calibración.

### 5.2.2.2 Alcalinidad

La alcalinidad es la capacidad de neutralizar los ácidos, las especies químicas que contribuyen más a este indicador son los bicarbonatos, que se forman en cantidades considerables por la acción del dióxido de carbono sobre la materia básica del suelo. (Sawyer, 2001).

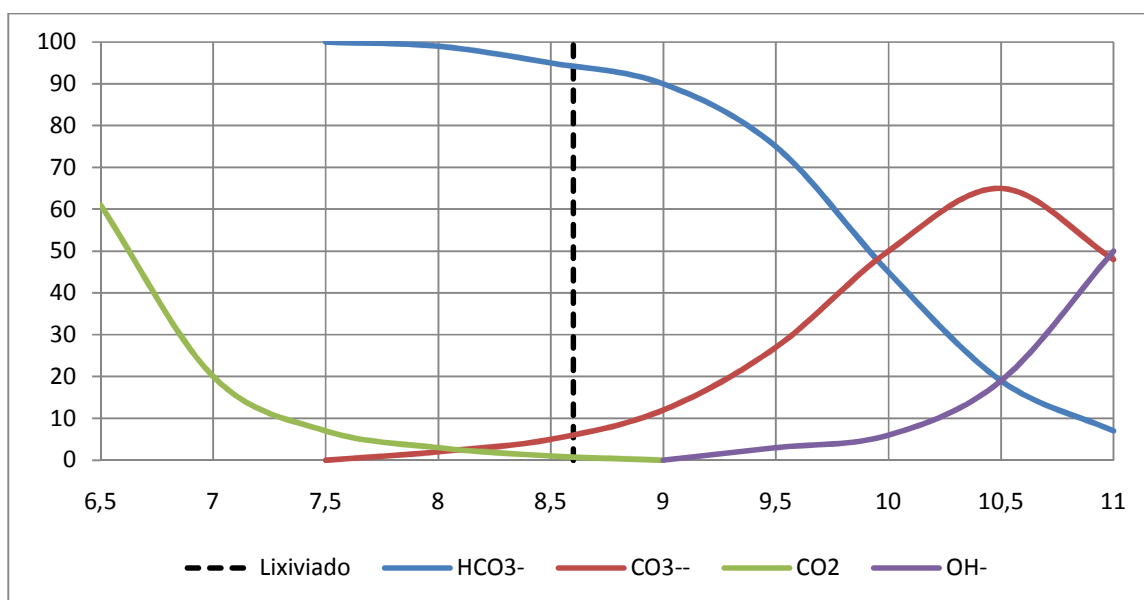


Los valores obtenidos estuvieron en el rango de 1584,5 mg/L y 2267,4 mg/L, con una media de 1872,6 mg/L, para la alcalinidad fenolftaleína, mientras que para la alcalinidad total se obtuvieron valores en el rango de 18220,9 mg/L y 20625,5 mg/L con una media de 19131,9 mg/L.

Los valores de los indicadores obtenidos de la alcalinidad y pH, son: bicarbonatos 17981,1 mg/L a 19630,5 mg/L, con una media de 18771,8 mg/L, y carbonatos 1901,4 mg/L a 2720,9 mg/L con una media de 2247,1 mg/L.

Los resultados obtenidos se muestran con el gráfico 5.3 en donde se evidencia la supremacía de los bicarbonatos sobre las demás especies químicas a pH 8,6 que es el pH promedio del lixiviado generado por el relleno sanitario.

**GRÁFICO 5. 3.- RELACIONES ENTRE EL CO<sub>2</sub> Y LAS TRES FORMAS DE ALCALINIDAD A DIFERENTES VALORES DE pH CON 100 mg/L CaCO<sub>3</sub>.**



FUENTE: Sawyer, 2001.  
ELABORADO POR: Luis David López Fabara

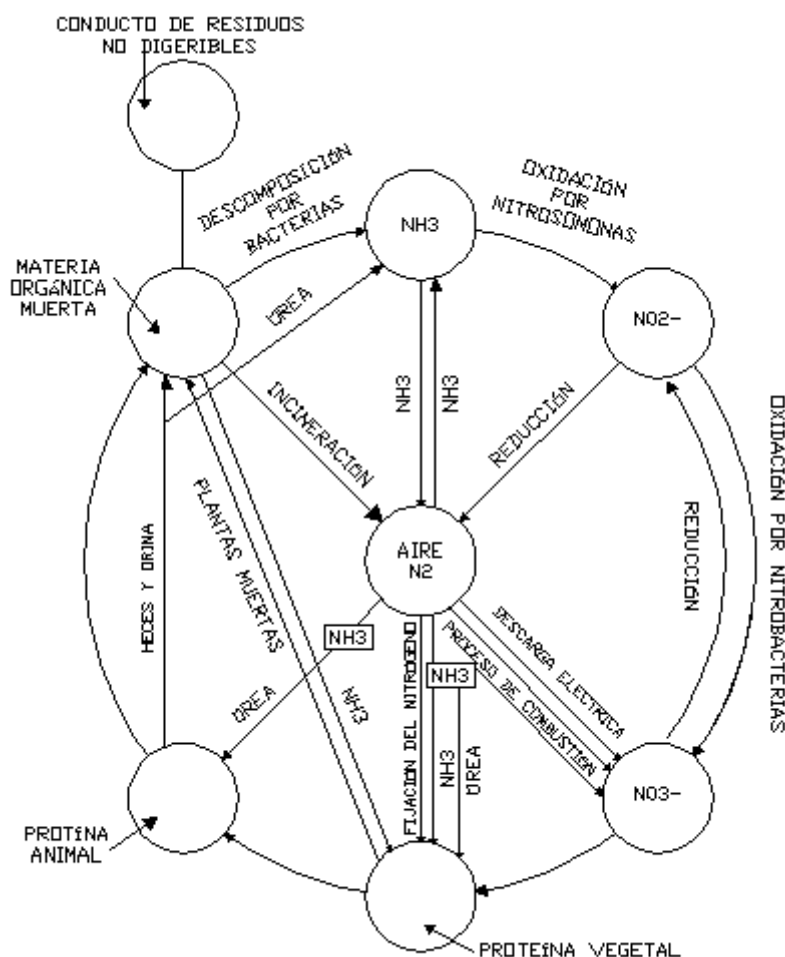
En el caso de los líquidos lixiviados del relleno sanitario de Ambato, de los datos obtenidos, se aprecia valores altos y en concordancia con el pH, se puede aseverar que se producen sales de ácidos débiles, como: ácido acético, propiónico y sulfuros de hidrógeno, que contribuyen a los valores altos de alcalinidad.

El comportamiento de la alcalinidad respecto a la precipitación es diferente al resto de indicadores analizados pues el valor máximo de la alcalinidad coincide con el pico de la precipitación en el mes de mayo, esto se explica por el arrastre de las sustancias al interior del relleno, en los meses subsiguientes el indicador se comporta directamente proporcional a la precipitación como la mayoría de los indicadores.

### 5.2.2.3 Nitrógeno

Los compuestos de nitrógeno son de gran interés por su importancia con la atmósfera y en los procesos vitales de las plantas y los animales. La química del nitrógeno es compleja debido a que este puede tomar diferentes estados de oxidación que pueden ser inducidos por los organismos vivos; los cambios del estado de oxidación inducidos por las bacterias pueden ser positivos o negativos y dependen de que las condiciones predominantes sean aerobias o anaerobias. (Sawyer, 2001).

**FIGURA 5. 3.- CICLO DEL NITRÓGENO**



FUENTE:

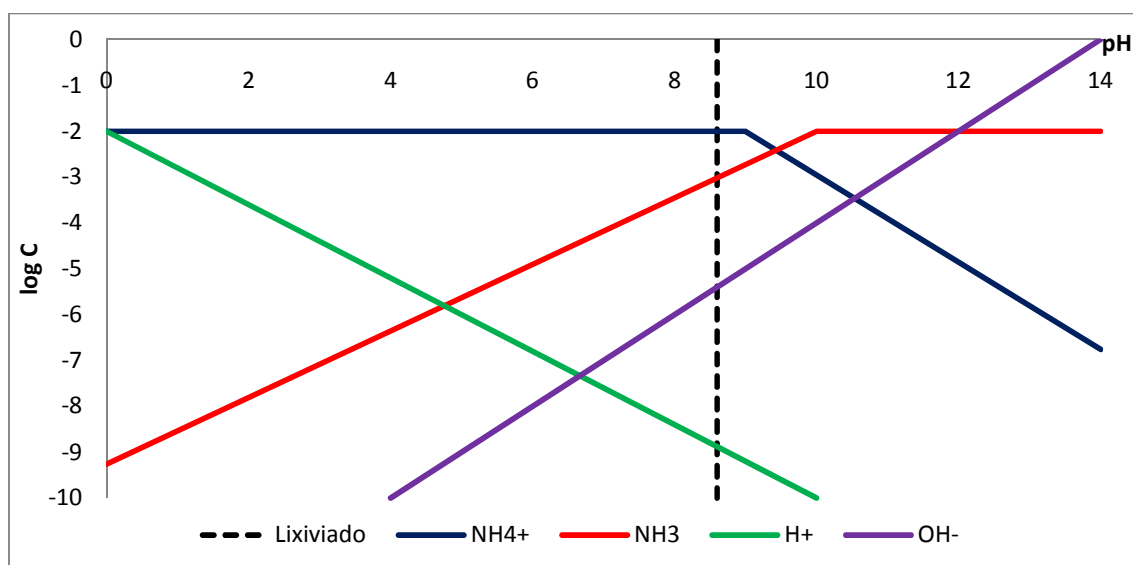
Sawyer, 2001.

ELABORADO POR:

Luis David López Fabara

La mayor parte del nitrógeno inicialmente está presente en forma de nitrógeno orgánico y amoniaco. A medida que el tiempo pasa el nitrógeno orgánico se convierte gradualmente en nitrógeno amoniacal, y luego si existen condiciones aerobias, ocurre la oxidación a nitritos y nitratos. El amoniaco no ionizado es tóxico, pero el ión amonio no lo es, la relación de los dos depende del pH.

**GRÁFICO 5. 4.- DIAGRAMA pC-pH DEL AMONIACO**



FUENTE: Sawyer, 2001.  
ELABORADO POR: Luis David López Fabara

Los valores obtenidos estuvieron en el rango de 3470,0 mg/L y 3655,0 mg/L, con una media de 3565,0 mg/L, para el Nitrógeno Total Kjeldahl (TKN), mientras que para el amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) se obtuvieron valores en el rango de 2902,5 mg/L y 3483,0 mg/L con una media de 3186,7 mg/L, y para el caso del amoniaco ( $\text{NH}_3$ ) valores en el rango de 2745,0 mg/L y 3294,0 mg/L con una media de 3013,8 mg/L.

De los valores obtenidos, el pH característico del lixiviado estudiado (ver gráfico 5.4), se aprecia que el lixiviado cuenta con mayor cantidad de amonio que como se indicó previamente no es tóxico como el amoniaco.

En cuanto al comportamiento de estos indicadores en relación con la precipitación, el valor más alto se registra en el mes de julio, respondiendo a lo que se esperaba, puesto que es el mes en el que se registra menor precipitación, de acuerdo a los datos recopilados de la estación meteorológica del Aeropuerto de Chachoán.

#### **5.2.2.4 Sólidos totales**

Estos sólidos, además de evidenciar la presencia de cuerpos o sustancias extrañas que pudieran no ser recomendables, aumentan la turbidez del agua y disminuyen la calidad de la misma. Representa la totalidad de los sólidos orgánicos e inorgánicos, o la totalidad de sólidos suspendidos y disueltos. En los lixiviados aproximadamente la mitad de los sólidos son de origen orgánico y lo restante corresponde a sólidos inorgánicos, correspondiente al material arrastrado por los líquidos. (Castillo, 1994).

Los valores obtenidos estuvieron en el rango de 16646,3 mg/L y 21175,0 mg/L, con una media de 18701,9 mg/L. El límite máximo permitido de descarga a un cuerpo receptor de agua dulce en cuanto a sólidos totales se refiere es 1600 mg/L, por lo que se tiene un excedente promedio de más del 1000%.

El comportamiento de este parámetro con respecto a la precipitación, se observa que los valores más bajos son en los meses de mayor precipitación, pues los líquidos lixiviados son diluidos por las aguas lluvia que escurren desde las partes altas del relleno.

#### **5.2.2.5 Sólidos disueltos**

Los sólidos disueltos están relacionados con el grado de mineralización del agua ya que son iones de sales minerales que el agua ha conseguido disolver a su paso. Están relacionados con la conductividad del agua ya que un aumento de estos iones aumenta la capacidad conductiva. Sin embargo en el caso de los líquidos lixiviados no



se los puede correlacionar puesto que tienen alto color y turbidez que interfieren para dar un estimado de los sólidos disueltos totales a partir de la conductividad eléctrica.

Los valores obtenidos estuvieron en el rango de 14693,8 mg/L y 17720,3 mg/L, con una media de 16469,8 mg/L.

Al analizar el comportamiento de este parámetro con respecto a la precipitación, se observa que los valores mínimos registrados se obtuvieron en los meses de mayo y octubre, cuando las lluvias fueron mayores, reflejando que las concentraciones en época lluviosa tienden a bajar, pues los líquidos lixiviados son diluidos por las aguas lluvia que escurren desde las partes altas del relleno.

#### **5.2.2.6 Sólidos suspendidos**

Se mantienen en el agua debido a su naturaleza coloidal que viene dada por las pequeñas cargas eléctricas que poseen estas partículas que las hacen tener una cierta afinidad por las moléculas de agua. Este tipo de sólidos como tales son difíciles de eliminar siendo necesaria la adición al agua de agentes coagulantes y floculantes que modifican la carga eléctrica de estas partículas consiguiendo que se agrupen en flóculos de mayor tamaño para así poder separarlos mediante filtración.

Los valores obtenidos estuvieron en el rango de 1553,5 mg/L y 3454,8 mg/L, con una media de 2232,2 mg/L. Es necesario señalar que el límite máximo permitido de descarga a un cuerpo receptor de agua dulce en cuanto a sólidos suspendidos se refiere es 100 mg/L, por lo que se tiene un excedente promedio de más del 2000%.

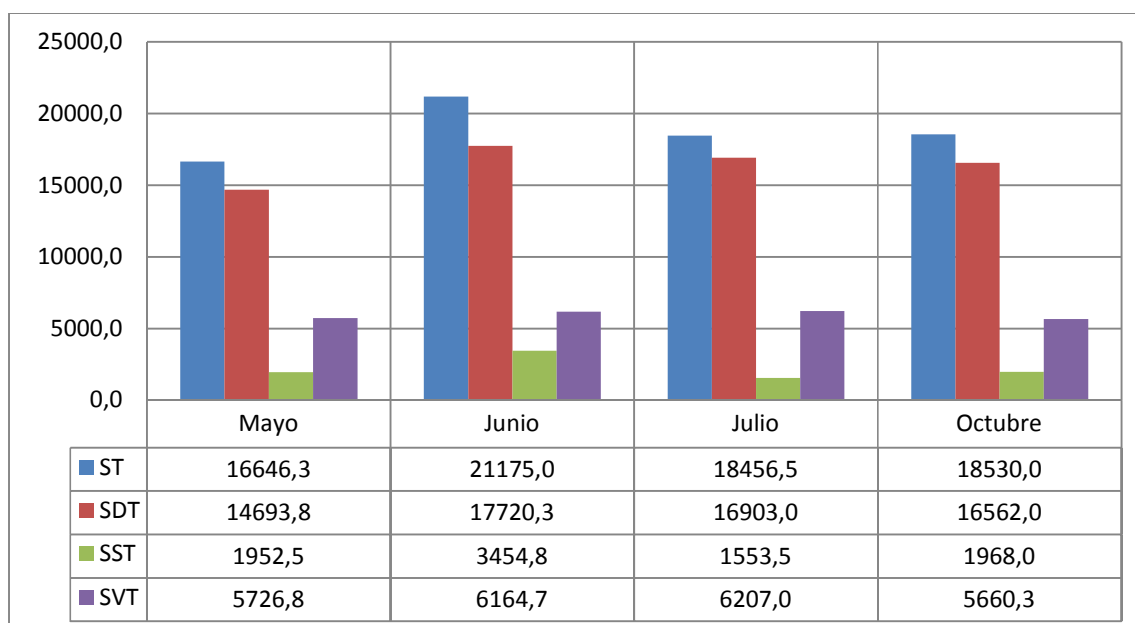
Al analizar el comportamiento de este parámetro con respecto a la precipitación, se observa que los valores mínimos registrados se obtuvieron en los meses de octubre y mayo, cuando las lluvias fueron mayores, reflejando que las concentraciones en época lluviosa tienden a bajar, pues los líquidos lixiviados son diluidos por las aguas lluvia que escurren desde las partes altas del relleno.

#### **5.2.2.7 Sólidos volátiles**

Son los productos de desecho de la vida animal y vegetal, la materia animal muerta, organismos o tejidos vegetales, pero pueden también incluirse compuestos orgánicos sintéticos. Son sustancias que contienen carbono, hidrógeno y oxígeno, pudiendo algunas estar combinadas con nitrógeno, azufre o fósforo. Los grupos principales son las proteínas, los hidratos de carbono, las grasas, junto con sus productos de descomposición. Están sujetos a degradación por la actividad de las materias y otros organismos vivos; además son combustibles pueden ser quemados. (Castillo, 1994).

Los valores obtenidos estuvieron en el rango de 5660,3 mg/L y 6207,0 mg/L, con una media de 5939,7 mg/L. (Ver gráfico 5.5).

Al analizar el comportamiento de este parámetro con respecto a la precipitación, se observa que los valores mínimos registrados se obtuvieron en los meses de octubre y mayo, cuando las lluvias fueron mayores, reflejando que las concentraciones en época lluviosa tienden a bajar, pues los líquidos lixiviados son diluidos por las aguas lluvia que escurren desde las partes altas del relleno.

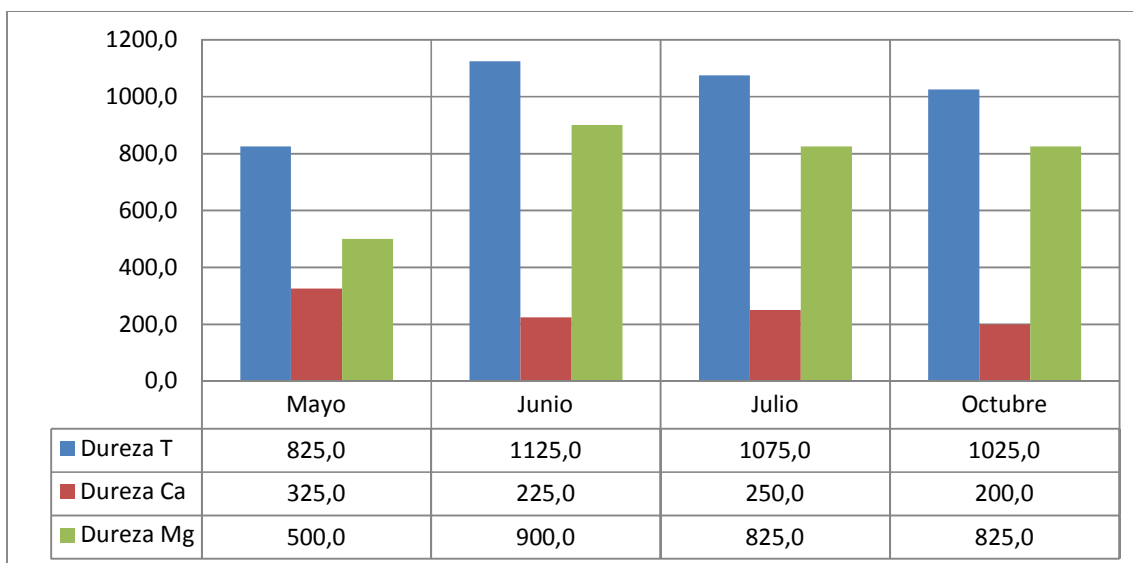
**GRÁFICO 5. 5.- RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE SÓLIDOS (mg/L).**

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

### 5.2.2.8 Dureza

La dureza es causada por cationes metálicos polivalentes. Estos iones pueden reaccionar con el jabón para producir precipitados y con ciertos aniones presentes en el agua para formar costras. Los principales cationes causantes de la dureza son los iones bivalentes de calcio, magnesio, estroncio, hierro ferroso e ion manganeso. Algunas veces los iones aluminio y férrico contribuyen a la dureza del agua, sin embargo su solubilidad es limitada a niveles de pH básicos que las concentraciones iónicas son insignificantes. El sodio no es un catión que produce dureza y por tanto, este efecto que se muestra cuando está presente en concentraciones altas se denomina pseudodureza. (Sawyer, 2001).

Los valores obtenidos estuvieron en el rango de 825,0 mg/L y 1125,0 mg/L, con una media de 1012,5 mg/L. (Ver gráfico 5.6).

**GRÁFICO 5. 6.- RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE DUREZA (mg/L).**

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

**TABLA 5. 3.- CLASIFICACIÓN DEL AGUA EN FUNCIÓN DE SU CONTENIDO DE DUREZA**

Concentración mg/L	Grado de dureza
0 – 75	Blandas
75 – 150	Moderadamente duras
150 – 300	Duras
300 – más	Muy duras

FUENTE: Sawyer, 2001.

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

Por lo que se puede apreciar que los líquidos lixiviados son aguas muy duras con muchos cationes metálicos bivalentes. (Ver tabla 5.3).

El comportamiento de este parámetro con respecto a la precipitación, es similar a los anteriores, registra un valor mínimo en el mes de mayo cuando la precipitación fue máxima, y un valor máximo de dureza en el mes de junio cuando la precipitación fue

mínima; esto se debe pues los líquidos lixiviados son diluidos por las aguas lluvias que escurren desde las partes altas del relleno.

#### **5.2.2.9 Calcio**

El calcio es un indicador de escombros y materiales de construcción. De acuerdo con los resultados obtenidos en este indicador, se confirma la presencia de escombros y desechos de construcción depositados en el relleno.

Los valores obtenidos estuvieron en el rango de 80,0 mg/L y 130,0 mg/L, con una media de 100,0 mg/L.

El comportamiento de este parámetro respecto a la precipitación, es similar a los anteriores, produciéndose un valor mínimo en el mes de octubre, cuando las precipitaciones tenían valores máximos, siendo las muestras concentradas. El valor obtenido en el mes de mayo, no demuestra un comportamiento regular, de acuerdo a lo observado con los demás indicadores, pues con un pequeño incremento de precipitación los valores de calcio ascienden incluso más que en los meses de menor precipitación. Esta situación podría deberse al potencial del lavado y a las máximas concentraciones obtenidas los meses anteriores.

#### **5.2.2.10 Magnesio**

Los valores obtenidos estuvieron en el rango de 120,0 mg/L y 216,0 mg/L, con una media de 183,0 mg/L.

El comportamiento de este parámetro respecto a la precipitación, es similar a los anteriores, produciéndose un valor mínimo en el mes de octubre, cuando las precipitaciones tenían valores máximos.

### **5.2.2.11 Cromo**

Los valores obtenidos estuvieron en el rango de 1,3 mg/L y 3,0 mg/L, con una media de 1,9 mg/L. Cabe recalcar que la concentración máxima permitida en la descarga a un cuerpo receptor de agua dulce es 0,5 mg/L, con el valor medio obtenido se tiene un porcentaje de excedencia del orden del 280%.

El comportamiento de este parámetro en relación con la precipitación es de manera contraria al de los demás parámetros puesto que para el mes de mayor pluviosidad, como son los meses de mayo y octubre, se tienen valores máximos; mientras que para los meses de menor pluviosidad, como son los meses de junio y julio, se tienen valores mínimos. Esto se asume a un mayor aporte de desechos de fábricas de cuero, curtiembres y tenerías.

## **5.2.3 INDICADORES BIOLÓGICOS**

### **5.2.3.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)**

La cantidad de oxígeno que requieren las bacterias durante la estabilización de la materia orgánica susceptible de descomposición, y que hace referencia a que la materia orgánica puede servir de alimento a las bacterias y que su oxidación genera energía, es lo que se conoce como DBO<sub>5</sub>.

La relación DBO<sub>5</sub>/DQO, da una idea de la cantidad de sustancias inorgánicas oxidables y las sustancias orgánicas de fácil degradación. Esta relación es del orden del 37%. Esto indica que la mayor cantidad son sustancias inorgánicas oxidables correspondiente al 63 %, proveniente de residuos domiciliarios y posiblemente de residuos industriales como aquellos de tratamiento de madera, alimentos, cueros, etc., y el resto son sustancias orgánicas degradables biológicamente.

Los valores obtenidos estuvieron en el rango de 1350,0 mg/L y 1700,0 mg/L, con una media de 1463,8 mg/L.

El comportamiento de este parámetro respecto a la precipitación, es similar a los anteriores, produciéndose un valor mínimo en el mes de octubre, cuando las precipitaciones tenían valores máximos.

#### 5.2.4 RELACIÓN DE CONTAMINANTES NO DEGRADABLES, Y RESIDUOS

En la tabla 5.4 se muestran los componentes de flujo diario de residuos sólidos que genera la ciudad de Ambato y la densidad de cada uno de ellos.

**TABLA 5. 4.- DENSIDAD PROMEDIO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN LA CIUDAD DE AMBATO**

RESIDUO	DENSIDAD (Kg/m <sup>3</sup> )
Orgánico	584
Papel blanco	126
Papel periódico	172
Cartón	145
Madera	450
Tetra pack	113
Tetra pack compactado	844
Estireno y poliestireno (plásticos desechables)	35
Envases	66
Plástico embalaje	142
Vidrio	1000
Textil	200

**Continúa...**

Continuación....

**TABLA 5.4.- DENSIDAD PROMEDIO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN LA CIUDAD DE AMBATO**

Metales	150
Cerámica	2000
Caucho	950
Domésticos peligrosos	222
Otros	126

FUENTE: Tamayo, 2009.

En la tabla 5.4 se puede apreciar que se tienen residuos como el vidrio, la cerámica, el caucho y los tetra packs, cuyas densidades son elevadas, lo que implica que al momento de descomponerse estos residuos y en conjunto con las precipitaciones pluviales se tendrían aportes considerables, de diferentes elementos químicos contaminantes, a los líquidos lixiviados, como: boro, silicio, cromo, arsénico, entre otros.

### 5.2.5 INDUSTRIALES ESPECÍFICOS

A continuación se muestran las diferentes ramas industriales localizadas en el cantón Ambato, de acuerdo a la clasificación internacional (CIUU).

**TABLA 5. 5.- INDUSTRIAS EN FUNCIONAMIENTO EN LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA**

CIUU	Descripción	No.	Industrias
3116	Productos de Molinos	4	Avihol, Industrias Catedral, Molinos Tililum, Molinos Miraflores
3117	Fabricación de productos para panadería	2	Disama, Plastificio Ambato

Continúa...



Continuación....

**TABLA 5.5.- INDUSTRIAS EN FUNCIONAMIENTO EN LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA**

3119	Fabricación de cacao, chocolate, y artículos de confitería	1	Confiteca
3122	Elaboración de alimentos preparados para animales	4	Nutripaz, Avimentos, Agrocueros, Daivet
3131	Destilación, rectificación y mezcla de bebidas	1	Industria Licorera y Asociados
3132	Industrias Vinícolas	1	Don Guido
3211	Hilado, tejidos y acabados textiles	4	Gamatex, Tecnorizo, Intecas, Textil Buenaño
3215	Cordelería	1	Sogaplast
3220	Fabricación de prendas de vestir	1	American Jeans
3221	Curtiduría y talleres de acabado	9	Agrocueros, Curtiduría Castro, Curt. La Merced, Pigalte, Tenería AGA, Ten. Alemania, Ten Cumandá, Ten, Díaz, Ten. San José
3232	Industria de la preparación y tejido de pieles	2	Propiel, Tenería San Agustín
3240	Fabricación de Calzado	3	Calzafer, Pisa, Promecalza
3320	Fabricación de muebles y accesorios	1	Camirex
3522	Fabricación de productos de productos farmaceuticos y medicamentos	1	Laboratorio Neofármaco
3529	Fabricación de productos químicos	1	Ocipsa - Vvelas
3559	Fabricación de productos de caucho	1	Piavi
3560	Fabricación de productos plásticos	4	PAG, Plásticos Brothers, Plavise, Tor División de plásticos
3620	Fabricación de vidrio y productos de vidrio	1	Fairis
3691	Fabricación de productos de arcilla para la construcción	1	Ladrillería Santa
3710	Industrias básicas de hierro y acero	1	Fundiciones Lasser

Continúa...

Continuación....

**TABLA 5.5.- INDUSTRIAS EN FUNCIONAMIENTO EN LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA**

3811	Fabricación de cuchillería, herramientas manuales y artículos generales de ferretería	1	Fundimega
3813	Fabricación de productos metálicos estructurales	1	Acerías Romano
3822	Construcción de maquinaria y equipos para agricultura	1	Herramientas Agrícolas Ecuatorianas
3823	Construcción de maquinaria para trabajo con metales y madera	2	Troquelería Crame, Mecánica Guerrero
3831	Construcción, renovación y preparación de motores eléctricos	1	Ecuatran
3843	Fabricación de vehículos automóviles	8	Carrocerías Cepeda, Carrocerías Metálicas Fiallos, Carrocerías Patricio Cepeda, Ecuamatriz, IMCE, Varma, Mastermetálica, Picoso

FUENTE: Departamento de Higiene Municipio de Ambato, 2008

### 5.2.6 ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN DE LÍQUIDOS PERCOLADOS

En el capítulo anterior se obtuvo la cantidad de líquidos lixiviados generados en función de la técnica de operación empleada, está en el orden de 0,8 a 1,3 L/s, con el método Suizo para el cálculo de líquidos lixiviados generados se obtuvo un valor de 0,6 L/s, y para el caso del balance hídrico se obtuvo en valor esperado de generación de líquidos lixiviados del orden de 0,5 L/s.

Los valores obtenidos del muestreo estuvieron en el rango de 0,12 L/s y 0,14 L/s, con una media de 0,13 L/s.

El valor del caudal aforado tiene una íntima relación con la precipitación, siendo el comportamiento del caudal aforado creciente con las lluvias.

## **CAPÍTULO 6.**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **6.1 CONCLUSIONES**

En base a los resultados de este trabajo, expuestos anteriormente se puede concluir lo siguiente:

1. Es necesario destacar el esfuerzo de la Dirección de Higiene y Medio Ambiente de la Ilustre Municipalidad de Ambato por resolver la problemática de los residuos sólidos, mediante la construcción y operación del relleno sanitario, más el tratamiento de los lixiviados, con resultados parcialmente buenos.
2. La tecnología escogida para la planta de tratamiento con la suma de los procesos anaerobio más aerobio, muestra que no es la adecuada por los pobres resultados de su funcionamiento. Es evidente el subdimensionamiento de la planta.
3. La incidencia del relleno sanitario, tiene incidencia directa en la mayor o menor generación de lixiviados. Celdas con material de cobertura adecuado (baja permeabilidad) y bien compactadas dificulta la generación de lixiviados en buena medida. El control de las aguas lluvias con un sistema de drenaje bien dimensionado y construido es otro factor que se debe señalar. En el relleno sanitario de la ciudad de Ambato, ni las celdas son bien compactadas, ni la escorrentía superficial es controlada.

4. Los lixiviados generados en el relleno sanitario del cantón de Ambato, son captados, tratados con una eficiencia de remoción de carga contaminante promedio en forma de DQO de 19% y descargados a la quebrada Chasinato.
5. Las características físicas, químicas y biológicas de los lixiviados son inadecuadas para cualquier uso posterior, pues el grado de contaminación alcanzado, fruto de los diversos desechos depositados en relleno sanitario, imposibilita la utilización de estos líquidos, aún siendo tratados de la manera implementada.
6. De acuerdo a los resultados teóricos obtenidos sobre la generación de los líquidos lixiviados, por tres métodos diferentes, se obtuvieron valores semejantes entre sí. De estos resultados si se hiciera un promedio se tendría una generación de 0,63 L/s, valor que dista de los resultados obtenidos de la medición in-situ del caudal de ingreso a la planta de tratamiento, que su valor promedio es de 0,13 L/s.
7. De los datos obtenidos del muestreo realizado a los líquidos lixiviados, se evidencia que en la composición de los desechos sólidos depositados en el relleno sanitario del cantón Ambato, existe la presencia de material de construcciones y escombros, a más de residuos industriales representados principalmente por desechos metálicos.
8. En el relleno sanitario del cantón Ambato, se dan indistintamente las diversas fases de la descomposición de la materia orgánica, esto es, en las antiguas deposiciones de la materia orgánica debe estar degradándose la fase metanogénica, mientras tanto en las deposiciones últimas, se está dando reacciones en la fase de hidrólisis y de acidificación.
9. Los valores de pH encontrados durante el período de muestreo, con percentiles entre el 25 y el 75 % del tiempo, con valores de 8,5 y 8,7, indican que la mayor

parte del relleno está funcionando en la fase metanogénica, ya que en este rango el pH es adecuado para las bacterias metanogénicas responsables de la degradación.

10. De acuerdo con los valores indicados de alcalinidad, DBO5 y DQO especialmente, se concluye que las lluvias intervienen en el proceso de descomposición, especialmente en aquellos que se encuentran en la fase ácida, pues en los meses de estiaje se tiene la máxima concentración de estos indicadores y luego con el inicio de las primeras lluvias, estos valores descienden a valores mínimos, lo que se puede relacionar al lavado de los ácidos orgánicos producto de la degradación biológica y la salida concentrada en los primeros meses de estiaje.
11. La temperatura de los líquidos percolados, permite tener una idea de la temperatura en el interior del botadero, característica del proceso de degradación de la materia orgánica, este indicador es independiente de las condiciones atmosféricas.
12. El poder contaminante de los líquidos lixiviados es detrimento hacia las aguas subterráneas del sector y es minimizado superficialmente, debido a la dilución de la cual es objeto.
13. El tratamiento de efluentes acuosos por medio de reactores UASB, es un método que puede ser utilizado para disminuir la carga que sobre el medio ambiente ejerce, ya que se puede obtener un 80% en la remoción de la DQO.
14. En los procesos anaerobios es importante el control de la temperatura alrededor de un rango mesofílico, de alrededor de 30°C, ya que esto permite la más rápida aclimatación de las bacterias de la población mezclada al proceso, con el consiguiente aumento en el rendimiento del reactor, tanto en la reducción de la

DQO como en la producción de biogás, que están estrechamente relacionados entre sí.

15. Los rendimientos esperados tanto por el UASB como FBP son de alrededor del 75-80% en lo que se refiere a la remoción de la DQO, con cargas contaminantes de hasta 85 Kg DQO/d, pH en el efluente entre 7,6 y 8,2.
16. El uso de reactores de película fija con material sintético, es una buena alternativa moderna para el tratamiento de aguas de desecho, y específicamente para el líquido lixiviado de desechos sólidos. El lixiviado que se genera en los rellenos sanitarios es muy variable en su composición ya que mucho depende de la fase de degradación anaerobia existente.
17. El sistema anaerobio-aerobio de película fija presenta buenas condiciones de adaptabilidad al sustrato utilizado, y se ha demostrado que tienen gran capacidad de resistir choques orgánicos, sin llegar a correr el riesgo de falla de los reactores en ningún momento.
18. La disponibilidad de presupuesto y personal técnico para la operación de la planta de tratamiento es inexistente. La operación es continua durante toda la vida útil del relleno, lo que deben recordar las autoridades municipales.

## **6.2 RECOMENDACIONES**

Se hacen las siguientes recomendaciones:

1. Se sugiere realizar de una manera inmediata arreglos en el relleno, como cunetas emergentes que impidan el ingreso de escorrentías al relleno, además de modificar la forma de operación.

2. Se sugiere diseñar y crear una instalación de compostaje, para los residuos residenciales y de los desechos producidos en los mercados, con lo cual al relleno sanitario ingresaría una menor cantidad de desechos sólidos, alargándose la vida útil del relleno y generando una menor cantidad de lixiviados, alargando también el tiempo de retención hidráulico en la planta de tratamiento de estos líquidos.
3. Otra opción para generar menos desechos y alargar tanto la vida útil del relleno sanitario como el tiempo de retención hidráulico es el reciclaje de papel, cartón y plásticos.
4. El efluente previsto a ser descargado luego del tratamiento planteado, es idóneo para el riego de cultivos de tallo alto.
5. Estudiar, con mayor detenimiento, la influencia que tiene el ión  $\text{NH}_4^+$  en la inhibición de las bacterias metanogénicas y el tiempo que demoran estas para adaptarse a altas concentraciones del ión  $\text{NH}_4^+$ .
6. Se sugiere empezar a operar de inmediato la mejora de tratamiento propuesta, debido a que no se puede contemplar que se siga contaminando el ambiente circundante de una manera acelerada.
7. Se sugiere emprender el tratamiento de estos líquidos mediante técnicas de tratamiento no convencionales como la electrocoagulación, electroflotación y rizofiltración, que de proyectos de titulación realizados en la Escuela Politécnica Nacional han dado buenos resultados al tratar efluentes líquidos de industrias de curtido con niveles altos de cromo, con remoción de carga contaminante de hasta el 90%.

8. Para un buen funcionamiento de la planta es imprescindible que se cuente con un personal técnico capacitado que monitoree diariamente el funcionamiento de la planta de tratamiento, pues en la actualidad el único control que se le da al funcionamiento es con los guardias, además es necesario un personal de obreros que den mantenimiento a la planta, pues la naturaleza de estos líquidos hace que los sensores, bombas, tubos y tanques de una u otra forma sufran deterioro, ocasionando que los líquidos contaminen el cuerpo hídrico más cercano como lo es el río Culapachán.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ATLAS, Ronald M. y BARTHA, Richard. Ecología microbiana y microbiología ambiental. Cuarta Edición. Pearson Educación, S.A. Madrid, 2002. 696 p. ISBN: 84-7829-039-7.
2. BARBECHO MARTÍNEZ, Verónica Paulina y BÓSQUEZ GARCÍA, CARMEN VERÓNICA. Estudio de prefactibilidad del tratamiento de aguas residuales del colector norte, en la ciudad de Puyo. Quito, 2008. 173 p. Tesis (Ingeniero Ambiental). Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental.
3. CAICEDO MESSA, Francisco Javier y MOLINA ORDÓÑEZ, Juan David. Remoción de materia orgánica de lixiviados del relleno sanitario La Esmeralda por medio de un reactor UASB. Manizales, 2003, 96 p. Tesis (Ingeniero Químico). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Departamento de Ingeniería Química.
4. CASTILLO PAZMIÑO, Marcelo. Diagnóstico y caracterización de los líquidos percolados del botadero de basura Zámiza. Quito, 1994, 148 p. Tesis (Magister en Ingeniería Ambiental). Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental.
5. CAZCO SÁNCHEZ, Ana Janeth y JARRÍN FLORES, Santiago Alberto. Diseño, construcción y análisis de los parámetros de operación de un sistema de electrocoagulación. Quito, 2011. 291 p. Tesis (Ingeniero Ambiental). Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental.

6. CENTRO ECUATORIANO DE DERECHO AMBIENTAL (CEDA). Manual de capacitación en derecho ambiental y código de procedimiento penal para fiscales del Ministerio Público. Quito. Fraga C. 2004. 125 p.
7. COLLAZOS PEÑALOZA, Héctor. Diseño y operación de rellenos sanitarios. Tercera Edición. Colombia. Escuela Colombiana de Ingeniería. 2008. 240 p. ISBN: 978-958-8060-73-6.
8. CORBITT, Robert A. Manual de referencia de la ingeniería ambiental. España. McGrawHill. 2003. 1037 p. ISBN: 84-481-3596-2.
9. DAVIS, Mackenzie L. y MASTEN, Susan J. Ingeniería y ciencias ambientales. México. McGraw-Hill. 2005. 736 p. ISBN: 0-07-235053-9.
10. DURÁN PITARQUE, Fidel e IZURIETA NARVÁEZ, Santiago. Diseño y construcción de una planta piloto para el tratamiento de agua mediante ozonización electrocoagulación y filtración. Quito, 1987. Tesis (Ingeniero Mecánico). Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Mecánica.
11. EHRIGH, H. Cantidad y contenido de lixiviados de desechos domésticos. Proyecto CEPIS/GTZ. 1992.
12. FABARA SALAZAR, Diana Karina. Optimización de la descarga líquida de una industria farmacéutica. QUITO, 2006, 217 p. Tesis (Ingeniero Químico). Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria.
13. JOHNSON, Richard A. Probabilidad y estadística para ingenieros de Miller Freund. Quinta edición. Prentice Hall. México, 1997. 630 p. ISBN: 968-880-961-6.

14. JÜRGEN EHRIG, Hans. Cantidad y contenidos de lixiviados de rellenos de desechos domésticos, San José de Costa Rica. CAPRE/ANDESAPA, 1992. 16 p.
15. LUGO, Ariel y MORRIS Gregory. Los sistemas ecológicos y la humanidad, Washington D.C. Eva V. Chesneua. 1982, 66 p.
16. MANANGÓN PERUGACHI, Lucía Eliana. Evaluación de procesos no convencionales de tratamiento de efluentes acuosos generados por una empresa de mantenimiento de motores. Quito, 2010, 161 p. Tesis (Ingeniero Químico). Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria.
17. METCALF & EDDY, INC. Ingeniería de aguas residuales, tratamiento, vertido y reutilización, Volumen I. Tercera Edición. Madrid. McGraw-Hill. 1995. 505 p. ISBN: 0-07-041690-7.
18. MONCAYO ROMERO, Gabriel. Auditoría ambiental inicial del relleno sanitario. Ambato, 2007, 264 p.
19. MONCAYO ROMERO, Gabriel. Manual de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de lixiviados del relleno sanitario de Ambato. 2009, 44 p.
20. MUÑOZ RODRÍGUEZ, Marcelo. Manual de manejo de residuos sólidos urbanos. Programa de apoyo a la gestión descentralizada de los recursos naturales en las tres provincias del norte del Ecuador – PRODERENA. Quito. Impremédios S.A. 2008. 150 p.
21. NARVAEZ RIVERA, Cesar. Tratamiento de las aguas de infiltración de un depósito de basuras, mediante un reactor anaerobio de lecho fijo. Quito, 1989,

- 119 p. Tesis (Magister en Ingeniería Ambiental). Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Civil Postgrado en Ingeniería Ambiental.
22. ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD (OPS). Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores. CEPIS. Lima, 2005. 34 p.
23. PARRA CAYMAYO, Christian Paúl. Digestión anaerobia del lixiviado de residuos sólidos. Quito, 2006, 121 p. Tesis (Máster en Ingeniería Ambiental). Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental.
24. PIRUCH TSAWANT, Edwin. Desarrollo de los procedimientos específicos enmarcados en los requerimientos de la norma ISO 17025:2005 para el laboratorio de aguas y microbiología de la Escuela Politécnica Nacional. QUITO, 2006. 794 p. Tesis (Ingeniero Químico) Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria.
25. PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR, 1999. Norma De Calidad Ambiental Para El Manejo Y Disposición Final De Desechos Sólidos No Peligrosos TULAS Libro VI Anexo 6.
26. RECALDE TOBAR, Verónica De Los Ángeles. Efectos de la recirculación del líquido lixiviado en un relleno sanitario. Quito, 2002, 108 p. Tesis (Ingeniero Civil). Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental.
27. SAWYER, Clair N. Química para ingeniería ambiental. 4ta edición. Colombia. McGraw-Hill. 2001. 714 p. ISBN: 958-41-0164-1
28. TAMAYO GARCÍA, Guido Gerardo. Estudio inicial de la generación de residuos sólidos en el cantón Ambato. Quito, 2009, 103 p. Tesis (Ingeniero Ambiental). Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental.

29. TCHOBANOGLIOUS George, et. al. Gestión integral de residuos sólidos. España. McGraw-Hill. 1994. 1107 p. ISBN: 0-07-063237-5.
30. VAL, Alfonso. Tratamiento de los residuos sólidos urbanos, La construcción de las buenas prácticas, Comité Hábitat II España, España, 1996.
31. VALDEZ, César y VÁZQUEZ, Alba. Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales. Fundación ICA. México, 2003. 341 p. ISBN: 968-7508 05-4
32. VILLAMAR AYALA, Cristina Alejandra. Hidrólisis y acidogénesis de residuos sólidos domésticos mezclados. QUITO, 2005, 152 p. Tesis (Ingeniero Civil). Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental.
33. <http://migranteecuadoriano.gov.ec/blogs/provincia/2008/11/12/un-poco-de-historia/>. Silvia Estrella. "Un poco de historia". 12 noviembre de 2008 4:20 pm.

## **ANEXOS**

**ANEXO N° 1**

**DATOS DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA  
AEROPUERTO CHACHOÁN**

**LATITUD 01° 12.5' S**

**LONGITUD 78° 34.4' W**

**ELEVACION 2572.5 m**

**A 1.1.- REGISTRO HISTÓRICO DE LA DIRECCIÓN PREDOMINANTE DEL VIENTO EN RUMBOS**

<b>AÑO</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>	<b>Año</b>
1987	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
1988	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
1989	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
1990	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
1991	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
1992	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
1993	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
1994	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	SSW	S	S
1995	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
1996	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
1997	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
1998	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
1999	S	S	S	S	S	SSE	S	S	S	S	S	E	S
2000	S	ESE	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
2001	S	SSW	S	SSE	S	SSE	S	S	S	S	SSW	S	S
2002	SSE	S	S	S	S	S	S	S	S	S	SSE	SSE	S
2003	S	S	S	SSE	S	S	S	S	S	S	S	S	S
2004	S	ESE	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
2005	S	SSE	E	S	E	S	S	S	S	S	S	SSE	S
2006	S	ESE	ESE	S	SSE	S	S	SSE	SSE	S	SSE	SSE	SSE
2007	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	SSE	S	S
<b>PRD</b>	<b>S</b>	<b>S</b>	<b>S</b>	<b>S</b>	<b>S</b>	<b>S</b>	<b>S</b>	<b>S</b>	<b>S</b>	<b>S</b>	<b>S</b>	<b>S</b>	<b>S</b>

PRD= Dirección Predominante.

FUENTE: Anuarios Meteorológicos DAC.



**A 1.2.- REGISTRO HISTÓRICO DE LA VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO EN KT**

<b>AÑO</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>	<b>S.T</b>	<b>Prom</b>
1987	8	9	9	7	7	7	6	7	8	7	5	5	85	7
1988	7	6	5	6	5	7	7	6	6	6	6	5	72	6
1989	4	5	5	5	6	4	6	6	6	5	6	7	65	5
1990	5	6	6	5	6	5	6	7	7	5	6	6	70	6
1991	7	6	6	6	6	7	7	8	9	8	7	7	84	7
1992	8	7	7	6	6	7	7	7	7	7	7	7	83	7
1993	7	7	5	6	6	7	7	7	7	7	6	6	78	7
1994	7	6	7	6	6	6	6	7	7	6	6	6	76	6
1995	7	7	7	6	5	6	6	7	7	8	6	5	77	6
1996	5	5	5	6	5	6	8	7	6	6	6	6	71	6
1997	6	5	7	7	8	6	8	8	7	8	6	6	82	7
1998	7	7	6	6	7	8	7	8	9	7	6	7	85	7
1999	6	5	6	7	6	4	8	8	6	7	9	5	77	6
2000	7	5	6	6	6	6	7	7	8	8	8	8	82	7
2001	9	8	8	7	6	9	7	8	8	8	7	8	93	8
2002	7	7	8	6	7	8	7	9	8	6	7	7	86	7
2003	8	8	8	8	8	7	8	9	7	6	5	5	87	7
2004	6	5	7	8	8	8	8	9	9	8	6	8	90	8
2005	8	6	6	8	6	8	9	9	8	8	7	6	89	7
2006	5	5	5	7	7	8	8	8	7	7	7	6	80	7
2007	6	6	6	6	6	7	7	8	7	7	5	6	77	6
<b>Prom</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>80</b>	<b>7</b>
<b>1 KT= 0.514791 m/s; 1.85325 km/h.</b>														
Prom= Promedio.														

FUENTE: Anuarios Meteorológicos DAC.

### A 1.3.- REGISTRO HISTÓRICO DE TEMPERATURA MEDIA EN °C

<b>AÑO</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>	<b>Prom</b>
1987	16,4	16,1	17,0	16,1	16,3	16,0	15,3	15,4	16,5	17,4	18,1	17,2	16,5
1988	17,5	17,2	16,0	16,4	16,0	15,4	14,3	15,0	16,1	16,9	17,0	16,5	16,2
1989	15,6	15,6	16,5	16,1	15,8	14,3	14,1	15,2	16,0	16,5	18,2	18,7	16,1
1990	16,8	17,4	16,7	16,8	15,9	15,3	14,8	15,1	16,3	17,2	17,5	17,4	16,4
1991	17,4	17,1	17,6	16,5	16,3	16,0	14,4	13,4	16,1	16,0	16,8	17,9	16,3
1992	17,5	16,9	17,0	16,3	16,4	15,3	13,9	15,0	15,5	15,9	17,5	17,4	16,2
1993	16,5	16,6	15,4	16,2	16,4	15,5	14,8	15,0	15,6	16,2	17,4	17,1	16,1
1994	16,6	16,1	16,6	16,0	15,8	14,8	14,5	14,1	16,0	17,3	16,9	16,9	16,0
1995	16,6	17,9	17,2	17,0	16,2	16,1	15,2	15,4	15,7	17,1	17,2	16,7	16,5
1996	16,0	15,2	16,2	16,4	16,1	15,3	14,4	14,7	15,6	16,8	17,7	16,8	15,9
1997	17,0	15,6	17,0	16,5	15,9	16,3	14,4	14,7	16,3	17,5	16,5	16,9	16,2
1998	17,0	17,6	17,5	17,6	16,8	14,8	14,5	15,5	16,4	16,5	17,6	17,5	16,6
1999	16,4	15,4	16,1	15,5	15,2	14,8	14,1	14,6	15,0	16,0	17,7	16,6	15,6
2000	16,3	15,5	15,5	15,6	15,2	14,9	14,8	14,4	13,5	16,6	18,0	16,6	15,6
2001	15,8	16,0	15,8	16,0	15,8	15,0	15,0	14,5	15,8	17,9	17,3	17,5	16,0
2002	17,0	16,7	16,2	16,7	16,2	14,8	15,2	14,9	16,1	16,2	15,9	17,2	16,1
2003	16,5	16,4	16,0	16,3	15,7	14,6	14,5	15,5	16,6	17,7	17,2	16,3	16,1
2004	17,7	16,1	16,4	16,4	16,0	14,9	15,0	14,8	15,8	17,3	17,6	17,3	16,3
2005	17,7	17,4	16,7	16,9	16,9	15,8	15,3	15,5	16,3	16,8	17,5	16,4	16,6
2006	16,5	16,8	16,4	16,8	16,5	15,0	15,1	15,3	15,4	17,5	16,9	17,1	16,3
2007	16,5	16,8	16,1	16,1	16,3	14,4	15,4	14,8	14,5	16,7	16,6	16,4	15,9
<b>Prom</b>	<b>16,7</b>	<b>16,5</b>	<b>16,5</b>	<b>16,4</b>	<b>16,1</b>	<b>15,2</b>	<b>14,7</b>	<b>14,9</b>	<b>15,8</b>	<b>16,9</b>	<b>17,3</b>	<b>17,1</b>	<b>16,2</b>

Prom= Promedio.

FUENTE: Anuarios Meteorológicos DAC.

#### A 1.4.- REGISTRO HISTÓRICO DE LA HUMEDAD MEDIA EN %

<b>AÑO</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>	<b>Prom</b>
<b>1987</b>	72	75	67	75	72	68	72	70	66	66	60	65	<b>69</b>
<b>1988</b>	64	69	70	73	75	70	70	67	65	65	68	65	<b>68</b>
<b>1989</b>	72	70	68	71	68	76	70	65	64	66	61	53	<b>67</b>
<b>1990</b>	66	64	67	69	71	73	66	64	63	65	64	61	<b>66</b>
<b>1991</b>	61	63	64	68	71	69	73	70	61	63	68	61	<b>66</b>
<b>1992</b>	62	66	68	72	69	71	69	66	67	65	59	63	<b>66</b>
<b>1993</b>	65	67	74	73	69	68	69	64	68	67	61	64	<b>67</b>
<b>1994</b>	66	73	71	74	75	75	75	75	70	65	71	73	<b>72</b>
<b>1995</b>	70	64	66	69	72	69	70	64	66	63	67	66	<b>67</b>
<b>1996</b>	70	75	74	75	71	74	71	72	70	69	55	67	<b>70</b>
<b>1997</b>	65	73	67	68	72	67	70	66	67	65	74	74	<b>69</b>
<b>1998</b>	74	73	74	77	75	79	78	72	64	69	67	61	<b>72</b>
<b>1999</b>	71	75	72	77	76	77	73	68	73	70	63	72	<b>72</b>
<b>2000</b>	69	72	73	75	77	76	72	75	72	68	62	70	<b>72</b>
<b>2001</b>	71	73	75	75	76	74	73	72	68	62	66	69	<b>71</b>
<b>2002</b>	67	71	75	72	74	72	74	70	67	72	76	72	<b>72</b>
<b>2003</b>	71	74	74	74	76	78	73	72	70	69	71	74	<b>73</b>
<b>2004</b>	63	76	77	76	79	77	78	74	70	68	70	70	<b>73</b>
<b>2005</b>	67	74	75	74	69	73	67	67	66	68	62	71	<b>69</b>
<b>2006</b>	72	77	77	71	72	74	69	71	73	64	71	71	<b>72</b>
<b>2007</b>	75	68	75	78	76	79	71	74	77	71	75	76	<b>75</b>
<b>Prom</b>	<b>68</b>	<b>71</b>	<b>72</b>	<b>73</b>	<b>73</b>	<b>73</b>	<b>72</b>	<b>69</b>	<b>68</b>	<b>67</b>	<b>66</b>	<b>68</b>	<b>70</b>

Prom= Promedio

FUENTE: Anuarios Meteorológicos DAC.

### A 1.5.- REGISTRO HISTÓRICO DE LA NUBOSIDAD MEDIA EN OCTAS

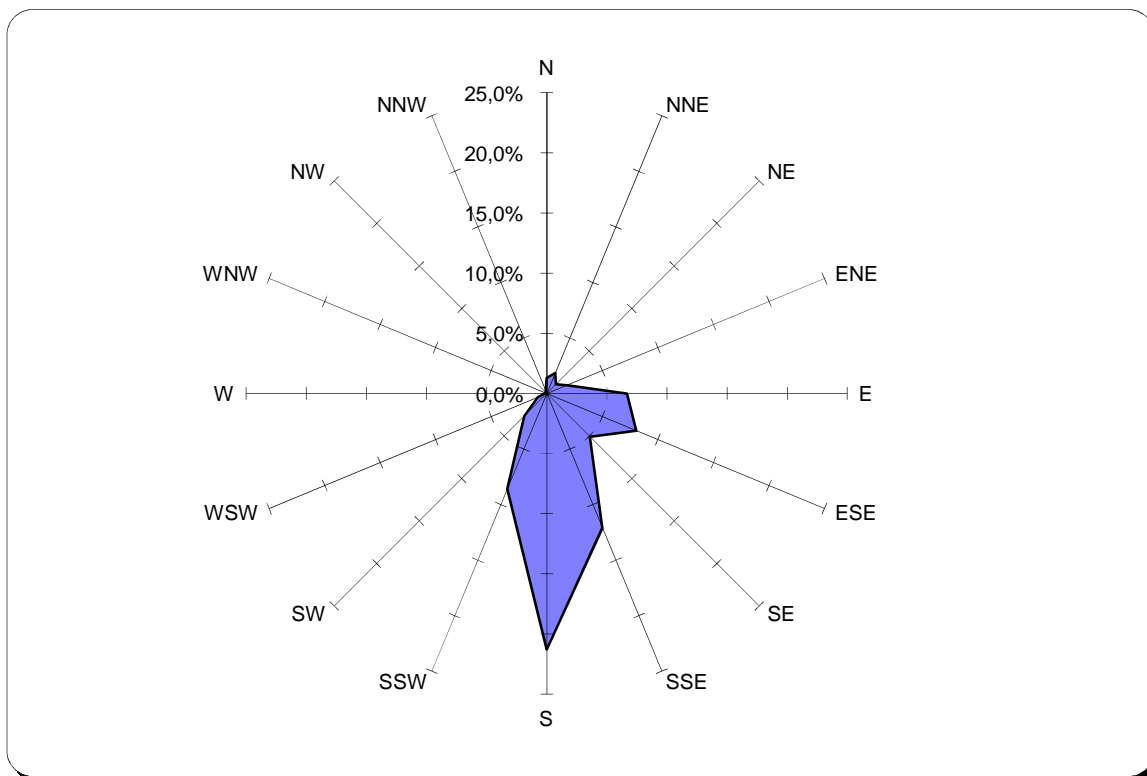
ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Prom
1987	7	7	6	7	6	6	7	7	6	6	6	6	6
1988	5	6	6	7	7	6	6	7	6	6	6	6	6
1989	7	7	7	7	7	7	6	7	6	7	5	5	7
1990	8	6	7	7	7	7	6	7	6	6	6	6	7
1991	6	6	6	6	6	6	7	7	6	6	6	5	6
1992	5	6	7	7	6	6	6	6	6	6	6	6	6
1993	6	6	7	7	6	6	6	6	6	6	6	6	6
1994	6	7	7	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
1995	6	5	6	7	6	6	6	5	6	6	6	6	6
1996	7	7	7	6	6	6	6	6	6	6	4	5	6
1997	6	7	6	6	6	6	6	6	6	6	7	6	6
1998	6	7	7	7	6	7	6	6	5	6	5	5	6
1999	6	7	7	7	6	6	6	6	7	6	6	6	6
2000	6	6	7	7	6	6	6	6	6	5	5	6	6
2001	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5	6	6	6
2002	6	6	7	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
2003	6	6	6	6	7	6	6	6	6	6	6	6	6
2004	5	6	6	6	6	6	6	5	6	6	6	5	6
2005	5	6	7	6	6	6	5	6	6	6	5	6	6
2006	6	6	7	6	6	6	6	6	6	5	6	6	6
2007	6	5	6	6	6	6	5	6	6	6	6	6	6
<b>Prom</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>

FUENTE: Anuarios Meteorológicos DAC.

**A 1.6.- REGISTRO HISTÓRICO DE LA PLUVIOSIDAD EN mm**

<b>ANO</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>	<b>Prom</b>
<b>1987</b>	8,4	67,0	63,8	77,6	36,3	2,9	18,9	20,3	23,7	61,7	36,6	3,7	<b>35,1</b>
<b>1988</b>	11,0	95,8	16,5	90,5	77,8	60,7	44,1	46,4	22,5	72,7	69,8	53,0	<b>55,1</b>
<b>1989</b>	40,4	57,1	91,8	39,3	50,9	126,9	23,2	8,0	35,5	68,0	23,4	10,0	<b>47,9</b>
<b>1990</b>	36,8	57,1	18,9	73,2	55,2	35,8	27,7	8,8	21,4	128,8	35,0	20,7	<b>43,3</b>
<b>1991</b>	12,7	15,2	47,6	23,9	38,6	38,4	19,8	18,5	23,0	31,1	96,1	22,6	<b>32,3</b>
<b>1992</b>	17,4	73,2	49,3	59,9	35,2	18,7	22,2	10,2	36,8	44,8	38,0	29,0	<b>36,2</b>
<b>1993</b>	45,7	39,6	105,6	54,7	57,9	10,1	32,3	27,0	33,5	36,5	34,5	48,4	<b>43,8</b>
<b>1994</b>	41,5	39,8	67,3	81,0	41,9	38,6	27,8	55,5	7,6	27,2	67,5	43,2	<b>44,9</b>
<b>1995</b>	5,3	6,8	50,0	47,5	42,6	24,5	61,4	21,4	11,2	41,3	97,1	66,3	<b>39,6</b>
<b>1996</b>	75,4	98,0	72,6	73,2	74,6	51,5	17,3	23,2	26,9	45,1	46,5	42,7	<b>53,9</b>
<b>1997</b>	67,9	30,0	52,5	36,2	31,0	30,5	23,6	15,1	26,4	47,4	142,9	42,9	<b>45,5</b>
<b>1998</b>	18,9	40,1	41,0	91,2	91,5	30,4	45,0	27,6	12,2	136,2	52,3	33,0	<b>51,6</b>
<b>1999</b>	41,1	117,5	67,2	68,7	65,9	84,8	20,1	56,2	115,4	29,3	22,6	89,0	<b>64,8</b>
<b>2000</b>	67,8	90,3	78,4	79,7	161,4	106,7	18,7	38,7	80,0	7,9	13,4	35,9	<b>64,9</b>
<b>2001</b>	56,2	46,5	42,8	64,2	41,1	28,9	30,6	4,8	21,5	3,4	25,4	34,9	<b>33,4</b>
<b>2002</b>	20,5	34,8	101,9	93,4	59,6	36,8	36,6	7,8	15,9	73,6	71,3	23,4	<b>48,0</b>
<b>2003</b>	15,8	28,2	59,3	63,9	26,6	43,7	6,9	1,2	4,2	41,9	65,6	64,5	<b>35,2</b>
<b>2004</b>	19,0	45,9	23,0	66,8	86,5	8,6	32,6	14,2	25,0	33,1	38,3	58,2	<b>37,6</b>
<b>2005</b>	14,3	74,5	88,3	69,4	27,5	30,2	14,0	6,3	7,4	46,4	24,0	127,2	<b>44,1</b>
<b>2006</b>	26,6	25,3	66,2	43,0	21,4	65,6	1,3	27,4	25,5	47,5	101,7	53,7	<b>42,1</b>
<b>2007</b>	44,9	23,1	85,3	82,9	86,6	70,1	22,2	54,9	9,5	38,3	46,7	44,1	<b>50,7</b>
<b>Prom</b>	<b>32,7</b>	<b>52,7</b>	<b>61,4</b>	<b>65,7</b>	<b>57,6</b>	<b>45,0</b>	<b>26,0</b>	<b>23,5</b>	<b>27,9</b>	<b>50,6</b>	<b>54,7</b>	<b>45,1</b>	<b>45,2</b>

FUENTE: Anuarios Meteorológicos DAC.

**A 1.7.- DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LA DIRECCIÓN DEL VIENTO**

FUENTE: Anuarios Meteorológicos DAC.

**ANEXO N° 2**

**PROCEDIMIENTOS OPERACIONALES DE ANÁLISIS  
FÍSICOS-QUÍMICOS DEL LABORATORIO DE AGUAS Y  
MICROBIOLOGÍA DE LA ESCUELA POLITÉCNICA  
NACIONAL**

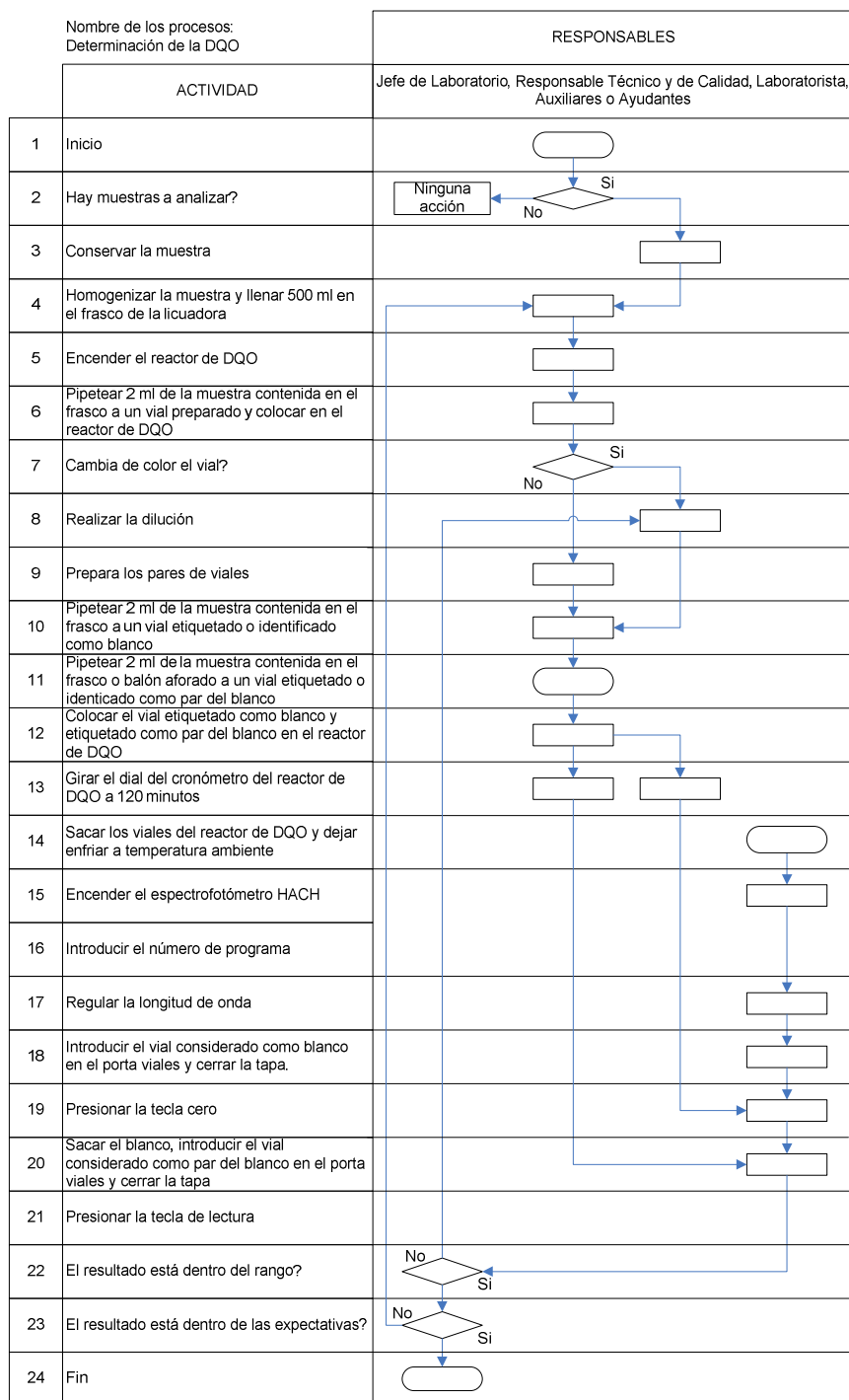
## A 2.1.- DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO

Nombre de los procesos: Determinación de la DBO		RESPONSABLES
ACTIVIDAD		Jefe de Laboratorio, Responsable Técnico y de Calidad, Laboratorista, Auxiliares o Ayudantes
1	Inicio	
2	Hay muestras a analizar?	
3	Conservar la muestra	
4	Homogenizar la muestra codificada y llenar una alícuota en un vaso de precipitación	
5	Regular el pH a 7.	
6	Llenar el volumen de muestra seleccionado en la Tabla 1 <sup>2</sup> de la muestra contenido en el vaso a una probeta	
7	Transferir la muestra contenida en la probeta a un frasco oscuro de análisis de DBO	
8	La muestra contenida en el vaso de precipitación está contaminada con bacterias nitrificantes?	
9	Agregar inhibidor de bacterias nitrificantes al capuchón negro de análisis de DBO	
10	Pipetear 2 ml de la muestra contenida en el frasco a un vaso de precipitación. Pipetear 2 ml de la muestra con microorganismos al frasco	
11	Agregar reactivo al capuchón negro de análisis de DBO	
12	Introducir el agitador magnético al interior del frasco, colocar el capuchón negro y azul sobre el frasco. Encerar pulsando los dos botones del capuchón azul y anotar el número de capuchón	
13	Introducir el frasco en el termostato	
14	Al término de 5 días sacar el frasco del termostato. Anotar la lectura multiplicado por el factor	
15	El resultado está dentro de las expectativas?	
16	Fin	

FUENTE: PIRUCH, 2006.




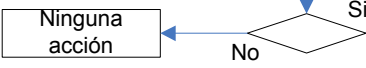



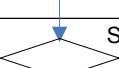







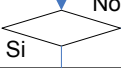
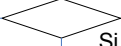
## A 2.2.- DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO



FUENTE:

PIRUCH, 2006.

### A 2.3.- DETERMINACIÓN DE DUREZA TOTAL

Nombre de los procesos: Determinación de Dureza Total		RESPONSABLES
	ACTIVIDAD	Jefe de Laboratorio, Responsable Técnico y de calidad, Laboratorista, Auxiliares o Ayudantes
1	Inicio	
2	Hay muestras a analizar?	
3	Conservar la muestra	
4	Homogenizar la muestra y llenar una alícuota en un vaso de precipitación	
5	Realizar la filtración	
6	La muestra contenida en el vaso requiere dilución?	
7	Realizar la dilución	
8	Transferir la muestra contenida en el vaso o balón aforado a un Erlenmeyer	
9	Adicionar reactivos a la muestra contenida en le Erlenmeyer	
10	Llenar una bureta con titulante	
11	Titular la muestra preparada y anotar el gasto	
12	Evaluar el resultado	
13	El resultado está dentro del rango establecido?	
14	El resultado está dentro de las expectativas?	
15	Fin	

FUENTE: PIRUCH, 2006.


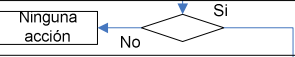






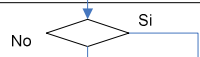











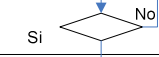
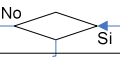

## A 2.4.- DETERMINACIÓN DE NITRÓGENO AMONICAL

Nombre de los procesos: Determinación de Nitrógeno Amoniacal		RESPONSABLES
	ACTIVIDAD	Jefe de Laboratorio, Responsable Técnico y de Calidad, Laboratorista, Auxiliares o Ayudantes
1	Inicio	
2	Hay muestras a analizar?	
3	Conservar la muestra	
4	Homogenizar la muestra y llenar una alícuota en un vaso de precipitación	
5	Realizar la filtración	
6	La muestra contenida en el vaso requiere dilución?	
7	Realizar la dilución	
8	Encender el espectrofotómetro HACH	
9	Introducir el número de programa	
10	Regular la longitud de onda	
11	Presionar la tecla de lectura	
12	Pipetear 25 ml de la muestra contenida en el vaso o balón aforado a una celda (muestra preparada)	
13	Pipetear 25 ml de agua destilada contenido en un vaso de precipitación a otra celda (blanco)	
14	Agregar reactivos a la muestra preparada y blanco	
15	Presionar la tecla del cronometro en el espectrofotómetro	
16	Introducir el blanco en el porta celdas y cerrar la tapa	
17	Presionar la tecla cero	
18	Sacar el blanco, introducir la celda con la muestra preparada y cerrar la tapa	
19	Presionar la tecla de lectura	
20	El resultado está dentro del rango?	
21	El resultado está dentro de las expectativas?	
22	Fin	

FUENTE:


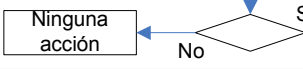





PIRUCH, 2006.

## A 2.5.- DETERMINACIÓN DE NITRÓGENO TOTAL, KJELDAHL

Nombre de los procesos: Determinación de Nitrógeno Total Kjeldahl		RESPONSABLES
	ACTIVIDAD	Jefe de Laboratorio, Responsable Técnico y de Calidad, Laboratorista, Auxiliares o Ayudantes
1	Inicio	
2	Hay muestras a analizar?	
3	Conservar la muestra	
4	Realizar la digestión LAMPOE/18	
5	Encender el espectrofotómetro HACH	
6	Introducir el número de programa	
7	Regular la longitud de onda	
8	Presionar la tecla de lectura	
9	La muestra contenida en un vaso de precipitación proveniente de la digestión ácida requiere dilución (LAM/POE/18)?	
10	Realizar la dilución	
11	Pipetear el volumen de muestra seleccionado en la Tabla 1ª de la muestra contenida en el vaso o balón aforado a una probeta. Realizar lo mismo para el agua destilada	
12	Agregar reactivos a cada probeta	
13	Presionar la tecla del cronómetro en el espectrofotómetro	
14	Agregar reactivos a cada probeta	
15	Pipetear 25 ml de la muestra contenida en una de las probetas a una celda (muestra preparada). Realizar lo mismo para la muestra con agua destilada contenida en la otra probeta (blanco)	
16	Introducir el blanco en el porta celdas y cerrar la tapa	
17	Presionar la tecla cero	
18	Sacar el blanco, introducir la celda con la muestra preparada y cerrar la tapa	
19	Presionar la tecla de lectura	
20	Evaluar el resultado	
21	El resultado está dentro del rango?	
22	El resultado está dentro de las expectativas?	
23	Fin	


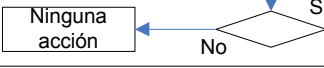

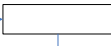





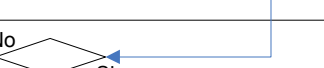

FUENTE: PIRUCH, 2006.

### A 2.6.- DETERMINACIÓN DE POTENCIAL HIDRÓGENO

Nombre de los procesos: Determinación de pH		RESPONSABLES
	ACTIVIDAD	Jefe de Laboratorio, Responsable Técnico y de Calidad, Laboratorista, Auxiliares o Ayudantes
1	Inicio	
2	Hay muestras a analizar?	
3	Conservar la muestra	
4	Homogenizar la muestra y llenar una alícuota en un vaso de precipitación	
5	Encender el pH-metro HANNA 8521	
6	Lavar los electrodos y sumergir en la muestra a ser medida el pH	
7	Fin	

FUENTE: PIRUCH, 2006.

### A 2.7.- DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS DISUELTOS

Nombre de los procesos: Determinación de Sólidos Disueltos		RESPONSABLES
	ACTIVIDAD	Jefe de Laboratorio, Responsable Técnico y de Calidad, Laboratorista, Auxiliares o Ayudantes
1	Inicio	
2	Hay muestras a analizar?	
3	Conservar la muestra	
4	Homogenizar la muestra y llenar una alícuota en un vaso de precipitación	
5	Realizar la filtración	
6	Pesar un crisol que se encuentra en un desecador, etiquetar y colocar en un baño maría. Llenar la muestra contenida en el vaso al crisol	
7	Introducir el crisol en la estufa por dos horas	
8	Sacar el crisol del desecador y pesar	
9	Evaluar el resultado	
10	El resultado esta dentro de las expectativas?	
11	Fin	




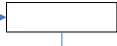





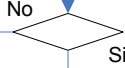

FUENTE: PIRUCH, 2006.

### A 2.8.- DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS SEDIMENTABLES

Nombre de los procesos: Determinación de Sólidos Sedimentables		RESPONSABLES
	ACTIVIDAD	Jefe de Laboratorio, Responsable Técnico y de Calidad, Laboratorista, Auxiliares o Ayudantes
1	Inicio	
2	Hay muestras a analizar?	
3	Conservar la muestra	
4	Homogenizar la muestra y llenar una alícuota en un vaso de precipitación	
5	Llenar la muestra contenida en el vaso a un cono	
6	Dejar reposar reposar a la muestra contenida en el cono por una hora y leer el volumen de partículas suspendidas en el fondo del cono	
7	Fin	

FUENTE: PIRUCH, 2006.

## A 2.9.- DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES

Nombre de los procesos: Determinación de Sólidos Totales		RESPONSABLES
	ACTIVIDAD	Jefe de Laboratorio, Responsable Técnico y de Calidad, Laboratorista, Auxiliares o Ayudantes
1	Inicio	
2	Hay muestras pendientes a analizar?	
3	Conservar la muestra	
4	Homogenizar la muestra y llenar una alícuota en un vaso de precipitación	
5	Llenar la muestra contenida en el vaso a una probeta	
6	Llenar muestra contenida en la probeta a un crisol que se encuentra en un termostato.	
7	Colocar el crisol en la estufa por dos horas. Colocar los crisoles en el desecador	
8	Sacar los crisoles del desecador y pesar	
9	Evaluar el resultado	
10	El resultado está dentro de las expectativas?	
11	Fin	

FUENTE: PIRUCH, 2006.



**ANEXO N° 3**  
**DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS**

### A 3.1.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE CONDUCTIVIDAD (mS/cm)

Número	Datos	Percentil	Número	Valor
1	23,70	10	2	27,70
2	27,70	20	3	28,40
3	28,40	30	5	30,49
4	29,77	40	6	30,60
5	30,49	50	8	31,48
6	30,60	60	10	31,90
7	31,20	70	11	32,30
8	31,48	80	13	33,40
9	31,80	90	14	33,54
10	31,90	100	16	33,68
11	32,30	<b>Mínimo</b>	23,70	
12	32,56	<b>Máximo</b>	33,68	
13	33,40	<b>Promedio</b>	31,00	
14	33,54			
15	33,55			
16	33,68			

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

**A 3.2.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE OXÍGENO DISUELTO (mg/L).**

Número	Datos	Percentil	Número	Valor
1	0,20	10	2	0,2
2	0,20	20	3	0,2
3	0,20	30	5	0,2
4	0,20	40	6	0,2
5	0,20	50	8	0,3
6	0,20	60	10	0,3
7	0,20	70	11	0,3
8	0,30	80	13	0,3
9	0,30	90	14	0,3
10	0,30	100	16	0,6
11	0,30	<b>Mínimo</b>	0,20	
12	0,30	<b>Máximo</b>	0,60	
13	0,30	<b>Promedio</b>	0,28	
14	0,30			
15	0,40			
16	0,60			

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

### A 3.3.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE POTENCIAL HIDRÓGENO

Número	Datos	Percentil	Número	Valor
1	8,33	10	2	8,45
2	8,45	20	3	8,48
3	8,48	30	5	8,50
4	8,49	40	6	8,56
5	8,50	50	8	8,60
6	8,56	60	10	8,66
7	8,56	70	11	8,67
8	8,60	80	13	8,74
9	8,63	90	14	8,76
10	8,66	100	16	8,80
11	8,67	<b>Mínimo</b>	8,33	
12	8,72	<b>Máximo</b>	8,80	
13	8,74	<b>Promedio</b>	8,61	
14	8,76			
15	8,79			
16	8,80			

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

### A 3.4.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE TURBIDEZ (NTU)

Número	Datos	Percentil	Número	Valor
1	207,00	10	2	292
2	292,00	20	3	293
3	293,00	30	5	347
4	341,00	40	6	360
5	347,00	50	8	456
6	360,00	60	10	543
7	439,00	70	11	543
8	456,00	80	13	604
9	458,00	90	14	643
10	543,00	100	16	770
11	543,00	<b>Mínimo</b>	207,00	
12	561,00	<b>Máximo</b>	770,00	
13	604,00	<b>Promedio</b>	470,75	
14	643,00			
15	675,00			
16	770,00			

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

**A 3.5.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE ALCALINIDAD FENOLTALÉINA (mg/L).**

Número	Datos	Percentil	Número	Valor
1	1311,29	10	2	1420,56
2	1420,56	20	3	1497,86
3	1497,86	30	5	1529,84
4	1529,84	40	6	1529,84
5	1529,84	50	8	1643,23
6	1529,84	60	10	1724,76
7	1642,23	70	11	1745,54
8	1643,23	80	13	1923,43
9	1652,43	90	14	2404,03
10	1724,76	100	16	3824,59
11	1745,54	<b>Mínimo</b>	1311,29	
12	1857,66	<b>Máximo</b>	3824,59	
13	1923,43	<b>Promedio</b>	1872,57	
14	2404,03			
15	2723,97			
16	3824,59			

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

**A 3.6.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE ALCALINIDAD TOTAL (mg/L).**

<b>Número</b>	<b>Datos</b>	<b>Percentil</b>	<b>Número</b>	<b>Valor</b>
1	15298,35	10	2	17245,54
2	17245,54	20	3	17432,34
3	17432,34	30	5	17947,85
4	17811,65	40	6	18326,41
5	17947,85	50	8	18904,39
6	18326,41	60	10	18904,39
7	18643,71	70	11	18934,23
8	18904,39	80	13	19450,76
9	18904,39	90	14	19642,24
10	18904,39	100	16	29503,97
11	18934,23	<b>Mínimo</b>	15298,35	
12	19271,58	<b>Máximo</b>	29503,97	
13	19450,76	<b>Promedio</b>	19131,85	
14	19642,24			
15	19887,86			
16	29503,97			

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

**A 3.7.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE AMONIACO (mg/L).**

<b>Número</b>	<b>Datos</b>	<b>Percentil</b>	<b>Número</b>	<b>Valor</b>
1	2330,20	10	2	2440,00
2	2440,00	20	3	2531,50
3	2531,50	30	5	2818,20
4	2562,00	40	6	2958,50
5	2818,20	50	8	3001,20
6	2958,50	60	10	3074,40
7	2989,00	70	11	3220,80
8	3001,20	80	13	3269,60
9	3050,00	90	14	3391,60
10	3074,40	100	16	3751,50
11	3220,80	<b>Mínimo</b>	2330,20	
12	3257,40	<b>Máximo</b>	3751,50	
13	3269,60	<b>Promedio</b>	3013,78	
14	3391,60			
15	3574,60			
16	3751,50			

ELABORADO POR: Luis David López Fabara



**A 3.8.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE AMONIACO COMO NITRÓGENO (mg/L).**

Número	Datos	Percentil	Número	Valor
1	1910,00	10	2	2000
2	2000,00	20	3	2075
3	2075,00	30	5	2310
4	2100,00	40	6	2425
5	2310,00	50	8	2460
6	2425,00	60	10	2520
7	2450,00	70	11	2640
8	2460,00	80	13	2680
9	2500,00	90	14	2780
10	2520,00	100	16	3075
11	2640,00	<b>Mínimo</b>	1910,00	
12	2670,00	<b>Máximo</b>	3075,00	
13	2680,00	<b>Promedio</b>	2470,31	
14	2780,00			
15	2930,00			
16	3075,00			

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

**A 3.9.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE AMONIO (mg/L).**

<b>Número</b>	<b>Datos</b>	<b>Percentil</b>	<b>Número</b>	<b>Valor</b>
1	2463,90	10	2	2580,00
2	2580,00	20	3	2676,75
3	2676,75	30	5	2979,90
4	2709,00	40	6	3128,25
5	2979,90	50	8	3173,40
6	3128,25	60	10	3250,80
7	3160,50	70	11	3405,60
8	3173,40	80	13	3457,20
9	3225,00	90	14	3586,20
10	3250,80	100	16	3966,75
11	3405,60	<b>Mínimo</b>	2463,90	
12	3444,30	<b>Máximo</b>	3966,75	
13	3457,20	<b>Promedio</b>	3186,70	
14	3586,20			
15	3779,70			
16	3966,75			

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

**A 3.10.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE BICARBONATOS (mg/L).**

Número	Datos	Percentil	Número	Valor
1	12398,22	10	2	15464,45
2	15464,45	20	3	16780,44
3	16780,44	30	5	17317,05
4	17257,97	40	6	17687,96
5	17317,05	50	8	18530,68
6	17687,96	60	10	19067,83
7	18351,18	70	11	19090,55
8	18530,68	80	13	19597,19
9	18818,16	90	14	19997,13
10	19067,83	100	16	30129,01
11	19090,55	<b>Mínimo</b>	12398,22	
12	19330,56	<b>Máximo</b>	30129,01	
13	19597,19	<b>Promedio</b>	18771,80	
14	19997,13			
15	20530,39			
16	30129,01			

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

**A 3.11.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE CALCIO (mg/L).**

<b>Número</b>	<b>Datos</b>	<b>Percentil</b>	<b>Número</b>	<b>Valor</b>
1	40,00	10	2	80,00
2	80,00	20	3	80,00
3	80,00	30	5	80,00
4	80,00	40	6	80,00
5	80,00	50	8	80,00
6	80,00	60	10	80,00
7	80,00	70	11	120,00
8	80,00	80	13	120,00
9	80,00	90	14	120,00
10	80,00	100	16	240,00
11	120,00	<b>Mínimo</b>	40,00	
12	120,00	<b>Máximo</b>	240,00	
13	120,00	<b>Promedio</b>	100,00	
14	120,00			
15	120,00			
16	240,00			

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

**A 3.12.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE CALCIO (mg/L).**

<b>Número</b>	<b>Datos</b>	<b>Percentil</b>	<b>Número</b>	<b>Valor</b>
1	1573,54	10	2	1704,67
2	1704,67	20	3	1797,43
3	1797,43	30	5	1835,80
4	1835,80	40	6	1835,80
5	1835,80	50	8	1971,88
6	1835,80	60	10	2069,71
7	1970,68	70	11	2094,65
8	1971,88	80	13	2308,12
9	1982,92	90	14	2884,83
10	2069,71	100	16	4589,51
11	2094,65	<b>Mínimo</b>	1573,54	
12	2229,19	<b>Máximo</b>	4589,51	
13	2308,12	<b>Promedio</b>	2247,08	
14	2884,83			
15	3268,76			
16	4589,51			

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

**A 3.13.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE CROMO HEXAVALENTE (mg/L).**

<b>Número</b>	<b>Datos</b>	<b>Percentil</b>	<b>Número</b>	<b>Valor</b>
1	1,00	10	2	1,00
2	1,00	20	3	1,00
3	1,00	30	5	1,00
4	1,00	40	6	1,00
5	1,00	50	8	2,00
6	1,00	60	10	2,00
7	1,00	70	11	2,00
8	2,00	80	13	3,00
9	2,00	90	14	3,00
10	2,00	100	16	3,00
11	2,00	<b>Mínimo</b>	1,00	
12	3,00	<b>Máximo</b>	3,00	
13	3,00	<b>Promedio</b>	1,88	
14	3,00			
15	3,00			
16	3,00			

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

**A 3.14.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (mg/L).**

Número	Datos	Percentil	Número	Valor
1	2500,00	10	2	2750
2	2750,00	20	3	2900
3	2900,00	30	5	3200
4	3100,00	40	6	3500
5	3200,00	50	8	3900
6	3500,00	60	10	4100
7	3700,00	70	11	4200
8	3900,00	80	13	4700
9	4100,00	90	14	4900
10	4100,00	100	16	6300
11	4200,00	<b>Mínimo</b>	2500,00	
12	4300,00	<b>Máximo</b>	6300,00	
13	4700,00	<b>Promedio</b>	3945,31	
14	4900,00			
15	4975,00			
16	6300,00			

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

**A 3.15.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE DUREZA CÁLCICA (mg/L).**

1	100,00	10	2	200,00
2	200,00	20	3	200,00
3	200,00	30	5	200,00
4	200,00	40	6	200,00
5	200,00	50	8	200,00
6	200,00	60	10	200,00
7	200,00	70	11	300,00
8	200,00	80	13	300,00
9	200,00	90	14	300,00
10	200,00	100	16	600,00
11	300,00	<b>Mínimo</b>	100,00	
12	300,00	<b>Máximo</b>	600,00	
13	300,00	<b>Promedio</b>	250,00	
14	300,00			
15	300,00			
16	600,00			

ELABORADO POR: Luis David López Fabara



**A 3.16.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE DUREZA MAGNÉSICA (mg/L).**

<b>Número</b>	<b>Datos</b>	<b>Percentil</b>	<b>Número</b>	<b>Valor</b>
1	300,00	10	2	300,00
2	300,00	20	3	600,00
3	600,00	30	5	600,00
4	600,00	40	6	700,00
5	600,00	50	8	700,00
6	700,00	60	10	800,00
7	700,00	70	11	800,00
8	700,00	80	13	900,00
9	700,00	90	14	1000,00
10	800,00	100	16	1500,00
11	800,00	<b>Mínimo</b>	300,00	
12	900,00	<b>Máximo</b>	1500,00	
13	900,00	<b>Promedio</b>	762,50	
14	1000,00			
15	1100,00			
16	1500,00			

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

**A 3.17.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE DUREZA TOTAL (mg/L).**

<b>Número</b>	<b>Datos</b>	<b>Percentil</b>	<b>Número</b>	<b>Valor</b>
1	500,00	10	2	700,00
2	700,00	20	3	800,00
3	800,00	30	5	900,00
4	800,00	40	6	900,00
5	900,00	50	8	900,00
6	900,00	60	10	1000,00
7	900,00	70	11	1100,00
8	900,00	80	13	1200,00
9	1000,00	90	14	1300,00
10	1000,00	100	16	1700,00
11	1100,00	<b>Mínimo</b>	500,00	
12	1200,00	<b>Máximo</b>	1700,00	
13	1200,00	<b>Promedio</b>	1012,50	
14	1300,00			
15	1300,00			
16	1700,00			

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

**A 3.18.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE MAGNESIO (mg/L).**

<b>Número</b>	<b>Datos</b>	<b>Percentil</b>	<b>Número</b>	<b>Valor</b>
1	72,00	10	2	72
2	72,00	20	3	144
3	144,00	30	5	144
4	144,00	40	6	168
5	144,00	50	8	168
6	168,00	60	10	192
7	168,00	70	11	192
8	168,00	80	13	216
9	168,00	90	14	240
10	192,00	100	16	360
11	192,00	<b>Mínimo</b>	72,00	
12	216,00	<b>Máximo</b>	360,00	
13	216,00	<b>Promedio</b>	183,00	
14	240,00			
15	264,00			
16	360,00			

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

**A 3.19.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE NITRÓGENO TOTAL KENDAL (mg/L).**

Número	Datos	Percentil	Número	Valor
1	2950,00	10	2	3300,00
2	3300,00	20	3	3370,00
3	3370,00	30	5	3450,00
4	3400,00	40	6	3500,00
5	3450,00	50	8	3550,00
6	3500,00	60	10	3630,00
7	3530,00	70	11	3640,00
8	3550,00	80	13	3750,00
9	3580,00	90	14	3800,00
10	3630,00	100	16	3990,00
11	3640,00	<b>Mínimo</b>	2950,00	
12	3700,00	<b>Máximo</b>	3990,00	
13	3750,00	<b>Promedio</b>	3565,00	
14	3800,00			
15	3900,00			
16	3990,00			

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

**A 3.20.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES (mg/L).**

Número	Datos	Percentil	Número	Valor
1	7634,00	10	2	15428,00
2	15428,00	20	3	15613,00
3	15613,00	30	5	16025,00
4	15632,00	40	6	16153,00
5	16025,00	50	8	16825,00
6	16153,00	60	10	17317,00
7	16543,00	70	11	17452,00
8	16825,00	80	13	18168,00
9	17284,00	90	14	18347,00
10	17317,00	100	16	18753,00
11	17452,00	<b>Mínimo</b>	7634,00	
12	17799,00	<b>Máximo</b>	18753,00	
13	18168,00	<b>Promedio</b>	16469,75	
14	18347,00			
15	18543,00			
16	18753,00			

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

**A 3.21.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (mg/L).**

Número	Datos	Percentil	Número	Valor
1	613,00	10	2	639,00
2	639,00	20	3	665,00
3	665,00	30	5	1373,00
4	933,00	40	6	1389,00
5	1373,00	50	8	1572,00
6	1389,00	60	10	1694,00
7	1476,00	70	11	1698,00
8	1572,00	80	13	2211,00
9	1681,00	90	14	2313,00
10	1694,00	100	16	11902,00
11	1698,00	<b>Mínimo</b>	613,00	
12	2167,00	<b>Máximo</b>	11902,00	
13	2211,00	<b>Promedio</b>	2232,19	
14	2313,00			
15	3389,00			
16	11902,00			

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

**A 3.22.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE SÓLIDOS TOTALES (mg/L).**

<b>Número</b>	<b>Datos</b>	<b>Percentil</b>	<b>Número</b>	<b>Valor</b>
1	11023,00	10	2	17501,00
2	17501,00	20	3	17542,00
3	17542,00	30	5	17843,00
4	17595,00	40	6	18237,00
5	17843,00	50	8	18807,00
6	18237,00	60	10	18965,00
7	18523,00	70	11	19012,00
8	18807,00	80	13	19366,00
9	18889,00	90	14	19476,00
10	18965,00	100	16	27515,00
11	19012,00	<b>Mínimo</b>	11023,00	
12	19172,00	<b>Máximo</b>	27515,00	
13	19366,00	<b>Promedio</b>	18701,94	
14	19476,00			
15	19765,00			
16	27515,00			

ELABORADO POR: Luis David López Fabara

**A 3.23.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE SÓLIDOS VOLÁTILES TOTALES (mg/L).**

Número	Datos	Percentil	Número	Valor
1	3542,00	10	2	3557,00
2	3557,00	20	3	4286,00
3	4286,00	30	5	4586,00
4	4526,00	40	6	4629,00
5	4586,00	50	8	5129,00
6	4629,00	60	10	5445,00
7	4892,00	70	11	5632,00
8	5129,00	80	13	7896,00
9	5427,00	90	14	8761,00
10	5445,00	100	16	10955,00
11	5632,00	<b>Mínimo</b>	3542,00	
12	6453,00	<b>Máximo</b>	10955,00	
13	7896,00	<b>Promedio</b>	5939,69	
14	8761,00			
15	9319,00			
16	10955,00			

ELABORADO POR: Luis David López Fabara



**A 3.24.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (mg/L).**

Número	Datos	Percentil	Número	Valor
1	920,00	10	2	1100
2	1100,00	20	3	1100
3	1100,00	30	5	1200
4	1200,00	40	6	1200
5	1200,00	50	8	1300
6	1200,00	60	10	1400
7	1200,00	70	11	1500
8	1300,00	80	13	1800
9	1400,00	90	14	2000
10	1400,00	100	16	2500
11	1500,00	<b>Mínimo</b>	920,00	
12	1600,00	<b>Máximo</b>	2500,00	
13	1800,00	<b>Promedio</b>	1463,75	
14	2000,00			
15	2000,00			
16	2500,00			

ELABORADO POR: Luis David López Fabara