



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA  
*La Universidad Católica de Loja*

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**“Estudio, diseño y selección de la tecnología adecuada para el tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celica por un método natural”.**

Tesis de grado previa a la  
obtención del título de  
**INGENIERO CIVIL**

**Autores:**

Jorge Vinicio Guerrero Pesántez

Eddy Patricio Castillo Elizalde

**Director:**

Ing. Mónica Cisneros Abad

**LOJA – ECUADOR**

**2010**

## **CERTIFICACIÓN**

Ingeniera Mónica Cisneros Abad

**DOCENTE DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**Y DIRECTORA DE TESIS**

**Certifica:**

Que la tesis titulada “**ESTUDIO, DISEÑO Y SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA ADECUADA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE CELICA POR UN MÉTODO NATURAL**”, presentada por los egresados de la Escuela de Ingeniería Civil: Eddy Patricio Castillo Elizalde, Jorge Vinicio Guerrero Pesántez; cumple con todos los requisitos y reglamentos establecidos, y luego de su revisión, análisis y corrección respectiva autorizo su presentación para la defensa y sustentación de la misma.

Loja, Junio de 2010

Ing. Mónica Cisneros Abad

**DIRECTORA DE TESIS**

## **AUTORÍA**

Las ideas, criterios, comentarios y desarrollo vertido en la presente tesis de grado son responsabilidad exclusiva de sus autores.

Eddy Patricio Castillo Elizalde

Jorge Vinicio Guerrero Pesántez

## **DEDICATORIA**

A mis padres, Bolívar y Beatriz por sus valores inculcados en mí como honestidad, honradez, sacrificio y amor.

A mis hermanos, Paola, Bolívar y Tania por sus buenos consejos y aliento a continuar siempre adelante.

A mis amigos Andrea, Karina, Verónica, Cristian, Fernando, Gabriel, Jamil, Juan y Marco, gracias por su apoyo incondicional y estar junto a mí.

**Jorge**

A Dios por darme el don del entendimiento y la sabiduría.

A mi madre y hermana que gracias a su esfuerzo lograron darme la oportunidad de superarme y ser un hombre de bien. A mi esposa y a mi bebé que viene en camino. A mi hermano y amigos quienes me han brindado su apoyo de manera desinteresada.

**Patricio**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por la vida, sabiduría y paciencia para lograr conquistar mis sueños.

A la Universidad Técnica Particular de Loja, a la Escuela de Ingeniería Civil, a la SENACYT y a todos los profesionales que aportaron en mi formación educativa.

A la Ingeniera Mónica Cisneros Abad, Directora de Tesis que supo guiarnos en este camino para alcanzar tan anhelado sueño, sus consejos y sugerencias para nuestra formación personal.

**Jorge**

Dejo constancia de mi agradecimiento primeramente a mi madre y hermana, a mi esposa, hermano, compañeros, amigos y a todos quienes de una u otra manera colaboraron en la elaboración del presente proyecto de tesis, de manera especial a mi directora de tesis la Ing. Mónica Cisneros Abad por el asesoramiento, colaboración desinteresada y valioso aporte para el desarrollo del presente proyecto.

A la UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA, a la SENACYT, a la Escuela de Ingeniería Civil y a todos los catedráticos quienes de manera acertada impartieron sus conocimientos y preparación técnica necesarios para mi formación profesional.

**Patricio**

## **CESIÓN DE DERECHOS**

Nosotros, JORGE VINICIO GUERRERO PESÁNTEZ y EDDY PATRICIO CASTILLO ELIZALDE, declaramos ser autores del presente trabajo y eximimos expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Adicionalmente declaramos conocer y aceptar la disposición del Art. 67 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que su parte pertinente textualmente dice: "Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad".

Eddy Patricio Castillo Elizalde  
**1103661854**

Jorge Vinicio Guerrero Pesántez  
**1104490865**



## ÍNDICE

<b>CONTENIDO</b>	<b>PÁGINA</b>
Certificación.....	i
Cesión de derechos.....	ii
Autoría.....	iii
Agradecimiento.....	iv
Dedicatoria.....	v
Índice de contenidos.....	vi
<b>CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN</b>	
<b>1.1. Generalidades</b>	<b>2</b>
1.1.1. Ubicación	2
1.1.2. Aspectos climatológicos	3
1.1.3. Topografía de la ciudad	3
<b>1.2. Objetivos</b>	<b>3</b>
1.2.1. Objetivo general	3
1.2.2. Objetivos específicos	4
<b>1.3. Metodología</b>	<b>4</b>
<b>CAPITULO 2: ESTUDIO SOCIO-ECONÓMICO SANITARIO</b>	
<b>2.1. Introducción</b>	<b>7</b>
<b>2.2. Cálculo de tamaño de muestra para encuesta socio-económica sanitaria</b>	<b>7</b>





2.2.1.	Cálculo del índice de crecimiento	7
2.2.2.	Cálculo de la población actual	8
2.2.3.	Cálculo del tamaño de la muestra	9
2.3.	Formato de encuesta	9
2.4.	Presentación y análisis de resultados	10
2.4.1.	Características de la población objetivo	11
2.5.	Conclusión	18
<b>CAPITULO 3: CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL</b>		
3.1.	Introducción	19
3.2.	Aguas residuales	19
3.2.1.	Tipos de aguas residuales	19
3.2.1.1.	Origen urbano	20
3.2.1.2.	Origen industrial	20
3.2.1.3.	Origen agropecuario	20
3.2.2.	Características y composición	21
3.2.2.1.	Características físico-químicas	21
3.2.2.2.	Características bacteriológicas	26
3.2.2.3.	Metales pesados	27
3.2.2.4.	Pesticidas organoclorados	28
3.2.2.5.	Pesticidas organofosforados	31
3.3.	Métodos de análisis del agua residual	33
3.4.	Muestreo	37
3.4.1.	Programa de muestreo	37







3.4.1.1.	Ubicación del lugar de muestreo	37
3.4.1.2.	Frecuencia de muestreo	38
3.4.1.3.	Material y equipo	39
3.4.1.4.	Procedimiento de recolección de muestras	40
3.4.1.5.	Tipo de muestreo	40
3.4.1.6.	Temperatura	40
3.4.1.7.	Transporte, preservación y almacenamiento de muestras	42
3.4.1.8.	Datos de campo recogidos con cada muestra	42
3.5.	Caudal	42
3.5.1.	Aforo del caudal	43
3.6.	Análisis e interpretación de resultados de laboratorio de las aguas residuales	46
3.6.1.	Análisis e interpretación de ensayos físico-químicos	46
3.6.2.	Análisis e interpretación de ensayos bacteriológicos	57
3.6.3.	Análisis e interpretación de ensayos de metales pesados	57
3.6.4.	Análisis e interpretación de ensayos de pesticidas organoclorados	61
3.6.5.	Análisis e interpretación de ensayos de pesticidas organofosforados	62
3.7.	Conclusión	62
<b>CAPITULO 4: ESTUDIO HIDROLÓGICO</b>		
4.1.	Introducción	63
4.2.	Precipitación	63





4.2.1.	Relleno de datos faltantes de precipitación	63
4.2.1.1.	Método de las proporcionalidades	63
4.3.	Temperatura	66
4.3.1.	Relleno de datos faltantes de temperatura	66
4.4.	Viento	66
4.5.	Evapotranspiración	67
4.5.1.	Evapotranspiración potencial	67
4.5.1.1.	Método de Thornthwaite	67
4.6.	Estudio de balance hídrico	69
4.6.1.	Balance hídrico	69
4.6.1.1.	Proceso de cálculo para determinar el balance hídrico de la ciudad de Celica	69
4.7.	Conclusión	71
<b>CAPITULO 5: CARACTERIZACIÓN DEL SUELO</b>		
5.1.	Introducción	72
5.2.	Estudios	72
5.3.	Características de diseño para la elección del sitio de estudio	73
5.4.	Muestreo	74
5.4.1.	Recolección de muestras inalteradas	75
5.4.1.1.	Materiales de campo	75
5.5.	Determinación de las características físicas	75
5.5.1.	Textura	75
5.5.2.	Estructura	76



5.5.3. Profundidad	77
5.5.4. Color	77
5.5.5. Contenido de humedad	78
5.5.6. Límite líquido y Límite plástico	78
5.5.7. Granulometría	78
5.6. Determinación de las características químicas	79
5.6.1. pH	79
5.6.2. Nutrientes	79
5.6.3. Conductividad eléctrica	83
5.6.4. Capacidad de intercambio catiónico	83
5.7. Determinación de las características hidráulicas	84
5.7.1. Estacionalidad del nivel freático	
5.7.2. Permeabilidad	86
5.7.2.1. Ensayo de permeabilidad en laboratorio	86
5.7.2.2. Ensayo de permeabilidad in situ	87
5.7.2.2.1. Ensayo de permeabilidad tipo Lefranc	87
5.8. Resultados de ensayos de suelos	88
5.8.1. Resultados de ensayos físicos	88
5.8.2. Resultados de ensayos químicos	89
5.8.3. Resultados de ensayos hidráulicos	89
5.9. Conclusión	90
<b>CAPITULO 6: IMPACTO AMBIENTAL</b>	
6.1. Estudios de impacto ambiental (EsIA)	91



<b>6.2. Evaluación de impactos ambientales (EIA)</b>	<b>91</b>
6.2.1. Alcances de la evaluación de impactos ambientales	92
<b>6.3. Metodología para la identificación y valoración de impactos ambientales</b>	<b>92</b>
6.3.1. Método de Leopold	93
6.3.2. Algoritmo para usar la matriz de Leopold	94
6.3.3. Ventajas y desventajas de utilizar las matrices de causa-efecto	95
<b>6.4. Descripción del medio sobre el cual se pretende implementar la acción propuesta</b>	<b>96</b>
6.4.1. Ubicación	96
6.4.2. Clima	96
6.4.3. Suelo	96
6.4.4. Hidrología	97
6.4.5. Topografía de la zona	97
6.4.6. Factores socio-económicos	97
<b>6.5. Diagnóstico de la situación actual</b>	<b>97</b>
<b>6.6. Descripción del proyecto</b>	<b>99</b>
6.6.1. Marco de referencia legal	99
6.6.2. Localización	100
6.6.3. Envergadura del proyecto	100
6.6.4. Tipos de insumos y desechos	100
<b>6.7. Identificación y evaluación de los impactos ambientales en las etapas de estudio, construcción y funcionamiento, en los aspectos ambientales, socio-económicos y bióticos</b>	<b>100</b>



6.7.1. Impactos positivos	101
6.7.2. Impactos negativos	102
6.8. Metodología	105
6.9. Resultados de la matriz de Leopold, matriz causa-efecto	107
6.10. Medidas de mitigación	108
6.10.1. Medidas de mitigación durante la construcción	108
6.10.2. Medidas de mitigación durante la etapa de operación y mantenimiento	109
6.11. Conclusión	109
<b>CAPITULO 7: SELECCIÓN DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL SUELO</b>	
7.1. Introducción	110
7.2. Sistemas de depuración mediante tecnologías ecológicas y de bajo costo	110
7.2.1. Sistemas de infiltración rápida	110
7.2.2. Sistemas de infiltración lenta	111
7.2.3. Sistema de escorrentía superficial	112
7.3. Criterios de selección de alternativas de depuración	113
7.3.1. Matrices de selección	115
7.3.2. Matriz final de selección	119
7.4. Conclusión	119
<b>CAPITULO 8: DISEÑO HIDRÁULICO DEL TRATAMIENTO POR ESCORRENTÍA SUPERFICIAL</b>	
8.1. Bases de diseño	120
8.1.1. Periodo de diseño	121



<b>8.1.2. Población</b>	<b>121</b>
8.1.2.1. Población futura de diseño	121
<b>8.1.3. Dotación futura</b>	<b>123</b>
<b>8.1.4. Caudales de las aguas residuales de la ciudad de Celica</b>	<b>123</b>
8.1.4.1. Caudal mínimo horario aforado	123
8.1.4.2. Caudal medio horario aforado	124
8.1.4.3. Caudal máximo horario aforado	124
8.1.4.4. Caudal medio diario (Qmd)	124
8.1.4.5. Caudal máximo horario (QMH)	125
8.1.4.6. Caudal de aguas residuales industriales	126
8.1.4.7. Caudal de aguas de infiltración	126
8.1.4.8. Caudal de aguas ilícitas	126
8.1.4.9. Caudales de diseño	127
<b>8.2. Dimensiones de las unidades de pretratamiento</b>	<b>129</b>
8.2.1. Cajón de entrada	129
8.2.2. Diseño del canal de entrada	129
8.2.3. Diseño de rejillas de desbaste	133
8.2.4. Diseño del desarenador	137
8.2.5. Diseño del canal de entrada al desengrasador	140
8.2.6. Diseño del desengrasador	143
<b>8.3. Tratamiento por escorrentía superficial</b>	<b>144</b>
<b>8.4. Conclusión</b>	<b>146</b>
<b>CAPITULO 9: PRESUPUESTO</b>	



<b>9.1. Introducción</b>	<b>148</b>
<b>9.2. Mediciones</b>	<b>148</b>
<b>9.3. Cálculo de los precios</b>	<b>148</b>
<b>9.3.1. Tipología de costos</b>	<b>149</b>
<b>9.3.1.1. Definición de costo directo</b>	<b>149</b>
<b>9.3.1.2. Definición de costo indirecto</b>	<b>149</b>
<b>9.4. Presupuesto</b>	<b>149</b>
<b>9.5. Costos de operación y mantenimiento</b>	<b>152</b>
<b>CAPITULO 10: MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO</b>	
<b>10.1. Generalidades</b>	<b>154</b>
<b>10.2. Funcionamiento de la planta depuradora</b>	<b>155</b>
<b>10.3. Unidades de pretratamiento</b>	<b>156</b>
<b>10.3.1. Cajón de llegada y compuerta de admisión</b>	<b>156</b>
<b>10.3.1.1. Cajón de llegada</b>	<b>156</b>
<b>10.3.1.2. Compuertas</b>	<b>156</b>
<b>10.3.2. Desbaste</b>	<b>157</b>
<b>10.3.3. Desarenadores</b>	<b>158</b>
<b>10.3.4. Cámara de grasas</b>	<b>159</b>
<b>10.4. Tratamiento natural por escorrentía superficial</b>	<b>161</b>
<b>10.5. Arranque o puesta en marcha</b>	<b>163</b>
<b>10.5.1. Cuidado de la obra civil</b>	<b>163</b>
<b>10.5.2. Operador</b>	<b>163</b>
<b>10.5.2.1. Responsabilidades del operador</b>	<b>164</b>



10.5.2.2. Medidas higiénicas del operador	165
10.5.2.3. Equipos de trabajo	166
10.6. Problemas y soluciones	166
CAPITULO 11: CONCLUSIONES	168
REFERENCIAS BIBLIOGRÀFICAS	169

### ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Ubicación de la zona de estudio	2
Figura 3.1. Vía de acceso al sitio de descarga y pozo de muestreo	38
Figura 3.2. Evolución de la temperatura	41
Figura 3.3. Adecuación de la canaleta y lecturas piezométricas	44
Figura 3.4. Evolución del caudal	45
Figura 3.5. Evolución del pH	47
Figura 3.6. Evolución de los Sólidos Totales	48
Figura 3.7. Evolución de los Sólidos Disueltos	48
Figura 3.8. Evolución de los Sólidos en Suspensión	49
Figura 3.9. Evolución del Nitrógeno Orgánico	50
Figura 3.10. Evolución del Nitrógeno Amoniacal	50
Figura 3.11. Evolución del Nitrógeno de Nitrato	51
Figura 3.12. Evolución del Nitrógeno de Nitrito	51





<b>Figura 3.13.</b>	Evolución del Cloruro	<b>52</b>
<b>Figura 3.14.</b>	Evolución del Fósforo Orgánico	<b>53</b>
<b>Figura 3.15.</b>	Evolución del Fósforo Inorgánico	<b>53</b>
<b>Figura 3.16.</b>	Evolución de la Alcalinidad	<b>54</b>
<b>Figura 3.17.</b>	Evolución de las Grasas	<b>55</b>
<b>Figura 3.18.</b>	Evolución del Carbono Orgánico Total	<b>55</b>
<b>Figura 3.19.</b>	Evolución de la Demanda Bioquímica de Oxígeno	<b>56</b>
<b>Figura 3.20.</b>	Evolución de la Demanda Química de Oxígeno	<b>56</b>
<b>Figura 3.21.</b>	Evolución del Boro	<b>57</b>
<b>Figura 3.22.</b>	Evolución del Cobre	<b>58</b>
<b>Figura 3.23.</b>	Evolución del Hierro	<b>59</b>
<b>Figura 3.24.</b>	Evolución del Plomo	<b>59</b>
<b>Figura 3.25.</b>	Evolución del Manganeso	<b>60</b>
<b>Figura 3.26.</b>	Evolución del Zinc	<b>60</b>
<b>Figura 5.1.</b>	Zona de estudio	<b>74</b>
<b>Figura 5.2.</b>	Triángulo textural	<b>76</b>
<b>Figura 5.3.</b>	Excavación de calicata para muestreo	<b>85</b>
<b>Figura 5.4.</b>	Preparación de equipo para ensayo de permeabilidad	<b>87</b>
<b>Figura 5.5.</b>	Realización del ensayo Lefranc	<b>88</b>
<b>Figura 6.1.</b>	Valores de impactos en cada fase del proyecto	<b>108</b>
<b>Figura 8.1.</b>	Esquema del tratamiento por escorrentía superficial	<b>120</b>



<b>Figura 10.1.</b>	Estructuras de tratamiento preliminar: cajón de llegada y compuerta.	<b>157</b>
<b>Figura 10.2.</b>	Rejilla de desbaste	<b>158</b>
<b>Figura 10.3.</b>	Limpieza manual de rejilla de desbaste	<b>158</b>
<b>Figura 10.4.</b>	Desarenador de doble cámara y Rejas de desbaste	<b>159</b>
<b>Figura 10.5.</b>	Limpieza manual de los desarenadores	<b>159</b>
<b>Figura 10.6.</b>	Extracción manual de grasas en el desengrasador	<b>160</b>

### ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 2.1.</b>	Distribución de la población por su nivel cultural	<b>11</b>
<b>Gráfica 2.2.</b>	Tipo de vivienda	<b>12</b>
<b>Gráfica 2.3.</b>	Actividad Económica	<b>12</b>
<b>Gráfica 2.4.</b>	Ingreso promedio mensual	<b>13</b>
<b>Gráfica 2.5.</b>	Microempresas	<b>14</b>
<b>Gráfica 2.6.</b>	Servicios	<b>14</b>
<b>Gráfica 2.7.</b>	Abastecimiento de agua	<b>15</b>
<b>Gráfica 2.8.</b>	Eliminación de las aguas de lavado	<b>15</b>
<b>Gráfica 2.9.</b>	Disposición de excretas	<b>16</b>
<b>Gráfica 2.10.</b>	Disposición de basura orgánica	<b>16</b>
<b>Gráfica 2.11.</b>	Disposición de basura inorgánica	<b>17</b>
<b>Gráfica 2.12.</b>	Eliminación de estiércol producto de animales domésticos	<b>17</b>
<b>Gráfica 2.13.</b>	Animales domésticos	<b>18</b>



**ÍNDICE DE TABLAS**

<b>Tabla 2.1.</b>	Cálculo del índice de crecimiento	<b>8</b>
<b>Tabla 2.2.</b>	Tabulación de resultados de la encuesta Socio-Económica-Sanitaria	<b>10</b>
<b>Tabla 3.1.</b>	Métodos de Ensayos Físico-Químicos	<b>34</b>
<b>Tabla 3.2.</b>	Métodos de Ensayos Microbiológicos	<b>35</b>
<b>Tabla 3.3.</b>	Métodos de Ensayos de Metales Pesados	<b>35</b>
<b>Tabla 3.4.</b>	Métodos de Ensayos de Pesticidas Organoclorados Totales	<b>36</b>
<b>Tabla 3.5.</b>	Métodos de Ensayos de Pesticidas Organofosforados Totales	<b>36</b>
<b>Tabla 3.6.</b>	Muestreos del agua residual de la ciudad de Celica	<b>39</b>
<b>Tabla 3.7.</b>	Temperatura del agua residual de la ciudad de Celica	<b>41</b>
<b>Tabla 3.8.</b>	Caudales del agua residual de la ciudad de Celica	<b>45</b>
<b>Tabla 3.9.</b>	Parámetros de calidad del agua residual de la ciudad de Celica. Características Físico-Químicas	<b>47</b>
<b>Tabla 3.10.</b>	Parámetros de calidad del agua residual de la ciudad de Celica. Características Microbiológicas	<b>57</b>
<b>Tabla 3.11.</b>	Parámetros de calidad del agua residual de la ciudad de Celica. Características de Metales Pesados	<b>58</b>
<b>Tabla 3.12.</b>	Parámetros de calidad del agua residual de la ciudad de Celica. Características de Pesticidas Organoclorados.	<b>61</b>
<b>Tabla 3.13.</b>	Parámetros de calidad del agua residual de la ciudad de Celica. Características de Pesticidas Organofosforados	<b>62</b>
<b>Tabla 4.1.</b>	Precipitación media mensual en la ciudad de Celica (1965 - 2005). (mm)	<b>65</b>
<b>Tabla 4.2.</b>	Temperatura media mensual en la ciudad de Celica. (°C)	<b>66</b>



<b>Tabla 4.3.</b>	Valores mensuales de velocidad del viento. (m/s)	<b>67</b>
<b>Tabla 4.4.</b>	Evapotranspiración Potencial mensual en Celica.	<b>69</b>
<b>Tabla 4.5.</b>	Cálculo del balance hídrico en la ciudad de Celica	<b>71</b>
<b>Tabla 5.1.</b>	Características de diseño de los diferentes sistemas de tratamiento naturales.	<b>73</b>
<b>Tabla 5.2.</b>	Resultados de los ensayos físicos del suelo en la ciudad de Celica.	<b>84</b>
<b>Tabla 5.3.</b>	Métodos utilizados en laboratorio para ensayar químicamente el suelo.	<b>85</b>
<b>Tabla 5.4.</b>	Resultados obtenidos en los ensayos para determinar la concentración de nutrientes presentes en el suelo de la ciudad de Celica.	<b>88</b>
<b>Tabla 5.5.</b>	Nivel freático recomendado según cada tipo de tratamiento en el suelo.	<b>89</b>
<b>Tabla 5.6.</b>	Resultados de ensayos hidráulicos en el suelo en la ciudad de Celica.	<b>89</b>
<b>Tabla 6.1.</b>	Valores de magnitud e importancia asignados a los impactos identificados	<b>94</b>
<b>Tabla 6.2.</b>	Matriz de identificación y valoración de impactos ambientales	<b>106</b>
<b>Tabla 6.3.</b>	Impactos Ambientales producidos	<b>107</b>
<b>Tabla 7.1.</b>	Superficie necesaria	<b>115</b>
<b>Tabla 7.2.</b>	Facilidad de construcción	<b>115</b>
<b>Tabla 7.3.</b>	Operación y mantenimiento	<b>116</b>
<b>Tabla 7.4.</b>	Análisis de costos	<b>116</b>
<b>Tabla 7.5.</b>	Rendimiento de sistema	<b>117</b>



<b>Tabla 7.6.</b>	Subproductos	<b>117</b>
<b>Tabla 7.7.</b>	Características del terreno	<b>118</b>
<b>Tabla 7.8.</b>	Impacto ambiental	<b>118</b>
<b>Tabla 7.9.</b>	Matriz final de selección	<b>119</b>
<b>Tabla 8.1.</b>	Cálculo de la Población Futura	<b>123</b>
<b>Tabla 8.2.</b>	Resumen de las bases de diseño	<b>128</b>
<b>Tabla 8.3.</b>	Resumen de los datos del canal de entrada a Pretratamiento	<b>133</b>
<b>Tabla 8.4.</b>	Dimensiones de la Rejilla	<b>133</b>
<b>Tabla 8.5.</b>	Resumen de los datos de desbaste	<b>136</b>
<b>Tabla 8.6.</b>	Información típica de desarenadores de flujo horizontal	<b>137</b>
<b>Tabla 8.7.</b>	Resumen de los datos del desarenador	<b>140</b>
<b>Tabla 8.8.</b>	Resumen de los datos de entrada al desengrasador	<b>143</b>
<b>Tabla 8.9.</b>	Resumen de los datos del desengrasador	<b>144</b>
<b>Tabla 8.10.</b>	Criterios de diseño y operación de escorrentía superficial	<b>145</b>
<b>Tabla 8.11.</b>	Porcentaje de remoción en el Pretratamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celica	<b>147</b>
<b>Tabla 8.12.</b>	Porcentaje de remoción de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celica	<b>147</b>
<b>Tabla 9.1.</b>	Presupuesto referencial	<b>150</b>
<b>Tabla 9.2.</b>	Costos de operación y mantenimiento	<b>153</b>
<b>Tabla 10.1.</b>	Resumen de las Actividades de Operación y Mantenimiento de las Unidades de Pretratamiento	<b>160</b>
<b>Tabla 10.2.</b>	Actividades de Operación y Mantenimiento del Sistema por	<b>162</b>



Escorrentía Superficial (ES)

<b>Tabla 10.3.</b>	<b>Cuadro de Problemas y Soluciones</b>	<b>167</b>
--------------------	---	------------

**ÍNDICE DE ECUACIONES**

<b>Ecuación 2.1.</b>	<b>Cálculo del índice de crecimiento</b>	<b>7</b>
<b>Ecuación 2.2.</b>	<b>Cálculo de la población futura</b>	<b>8</b>
<b>Ecuación 2.3.</b>	<b>Cálculo del tamaño de la muestra</b>	<b>9</b>
<b>Ecuación 4.1.</b>	<b>Precipitación media mensual</b>	<b>64</b>
<b>Ecuación 4.2.</b>	<b>Precipitación media anual</b>	<b>64</b>
<b>Ecuación 4.3.</b>	<b>Expresión matemática para cálculo de datos faltantes</b>	<b>64</b>
<b>Ecuación 4.4.</b>	<b>Índice térmico mensual</b>	<b>68</b>
<b>Ecuación 4.5.</b>	<b>Evapotranspiración potencial</b>	<b>68</b>
<b>Ecuación 4.6.</b>	<b>Índice anual de calor</b>	<b>68</b>
<b>Ecuación 4.7.</b>	<b>Exponente que varía con el índice anual de calor</b>	<b>68</b>
<b>Ecuación 4.8.</b>	<b>Balance hídrico</b>	<b>70</b>
<b>Ecuación 4.9.</b>	<b>Variación de reserva</b>	<b>70</b>
<b>Ecuación 8.1.</b>	<b>Método geométrico para el cálculo de la población futura</b>	<b>122</b>
<b>Ecuación 8.2.</b>	<b>Método exponencial para el cálculo de la población futura</b>	<b>122</b>
<b>Ecuación 8.3.</b>	<b>Método Wappaus para el cálculo de la población futura</b>	<b>122</b>
<b>Ecuación 8.4.</b>	<b>Caudal medio diario (Qmd)</b>	<b>124</b>
<b>Ecuación 8.5.</b>	<b>Factor de relación de Harmon</b>	<b>125</b>



<b>Ecuación 8.6.</b>	Caudal máximo horario (QMH)	<b>126</b>
<b>Ecuación 8.7.</b>	Caudal de aguas de infiltración	<b>126</b>
<b>Ecuación 8.8.</b>	Caudal de aguas ilícitas	<b>126</b>
<b>Ecuación 8.9.</b>	Caudal máximo de diseño	<b>127</b>
<b>Ecuación 8.10.</b>	Caudal medio de diseño	<b>127</b>
<b>Ecuación 8.11.</b>	Modelo de cálculo de velocidad	<b>130</b>
<b>Ecuación 8.12.</b>	Ecuación de Manning	<b>130</b>
<b>Ecuación 8.13.</b>	Coefficiente k de Manning para canal rectangular	<b>131</b>
<b>Ecuación 8.14.</b>	Relación entre tirante y ancho para canal rectangular	<b>131</b>
<b>Ecuación 8.15.</b>	Velocidad de Manning	<b>132</b>
<b>Ecuación 8.16.</b>	Longitud de transición	<b>133</b>
<b>Ecuación 8.17.</b>	Ancho en la zona de rejillas	<b>133</b>
<b>Ecuación 8.18.</b>	Número de barras	<b>134</b>
<b>Ecuación 8.19.</b>	Pérdida de carga en barras	<b>134</b>
<b>Ecuación 8.20.</b>	Área de canal	<b>134</b>
<b>Ecuación 8.21.</b>	Longitud de la rejilla	<b>135</b>
<b>Ecuación 8.22.</b>	Volumen de agua residual	<b>138</b>
<b>Ecuación 8.23.</b>	Volumen de sólidos a retenerse	<b>139</b>
<b>Ecuación 8.24.</b>	Longitud del desarenador	<b>139</b>
<b>Ecuación 8.25.</b>	Volumen útil del desarenador	<b>139</b>
<b>Ecuación 8.26.</b>	Periodo de retención del desarenador	<b>139</b>



<b>Ecuación 8.27.</b>	Carga Hidráulica	<b>143</b>
<b>Ecuación 8.28.</b>	Área del desengrasador	<b>143</b>
<b>Ecuación 8.29.</b>	Volumen del desengrasador	<b>143</b>
<b>Ecuación 8.30.</b>	Carga hidráulica para el sistema de tratamiento por escorrentía superficial	<b>144</b>
<b>Ecuación 8.31.</b>	Área de la pendiente requerida por el tratamiento por escorrentía superficial con almacenamiento	<b>144</b>
<b>Ecuación 8.32.</b>	Área de la pendiente requerida por el tratamiento por escorrentía superficial sin almacenamiento	<b>145</b>

### ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 3-A.</b>	Resultados de análisis de laboratorio de agua.	<b>177</b>
<b>Anexo 3-B.</b>	Análisis estadístico de los resultados de análisis de laboratorio de agua.	<b>242</b>
<b>Anexo 5-A.</b>	Ensayos características físicas del suelo.	<b>255</b>
<b>Anexo 5-B.</b>	Ensayos características químicas del suelo.	<b>268</b>
<b>Anexo 5-C.</b>	Ensayos características hidráulicas del suelo.	<b>273</b>
<b>Anexo 8-A.</b>	Planos.	<b>276</b>
<b>Anexo 9-A.</b>	Análisis de precios unitarios	<b>281</b>



# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN



La tecnología de verter aguas residuales al suelo es una técnica que ya se utilizaba en la antigüedad de una manera rudimentaria, además de ya emplear los vertidos de núcleos urbanos en el riego de parcelas agrícolas de ciertas ciudades griegas. (Seoáñez, 2005)

En muchas comunidades a nivel mundial, se ha utilizado el agua residual para riego en la agricultura (Seoáñez, 2005), así también, familias asentadas en las afueras de la urbe de la ciudad de Celica la utilizan para el riego de cultivos hortícolas.

Al descargarse estas aguas residuales en este terreno contaminan en su recorrido el suelo, plantas y animales que se alimentan de éstas, hasta desembocar en quebradas adyacentes, derivándose de aquí enfermedades y otro tipo de complicaciones para la población.

Es por esto que la presente investigación fue realizada como parte del proyecto UTPL-SENACYT (PIC - 008-0000120), denominado **“Estudio, diseño y selección de tecnologías de tratamiento de aguas residuales domésticas aplicables a las cabeceras cantonales con poblaciones menores a 5000 habitantes de la provincia de Loja”**, con el propósito de dar una solución a éste problema.

La zona a la que se hace referencia en este estudio es la ciudad de Celica, en la cual se ha recopilado información mediante internet, papers, bibliografía, datos históricos, etc., además de una visita técnica en la que se ha conocido que esta ciudad carece de una planta depuradora de aguas residuales urbanas, así mismo se identificó el pozo de descarga y el medio receptor que es un terreno, propiedad que actualmente es utilizada para pastar ganado.

Por tanto este estudio tiene por objeto estudiar, seleccionar y diseñar una alternativa ecológica, técnica y económica adecuada para lograr un eficiente tratamiento de las aguas residuales de esta ciudad para su reúso, propósito



que se ha ido incrementado en la agricultura pues se tiene como meta preservar las escasas fuentes de agua y mantener la calidad ambiental. (Álvarez, Contreras y Poggi, 2002)

## 1.1. GENERALIDADES

### 1.1.1. UBICACIÓN

La ciudad de Celica está ubicada en la zona sur occidental de la Provincia de Loja, aproximadamente a 165 km. desde la cabecera provincial. Geográficamente está localizada a  $4^{\circ} 6' 17''$  de latitud Sur y a  $79^{\circ} 57' 5''$  de longitud Oeste.

Celica orográficamente se encuentra cercada por montañas y cerros de la cordillera occidental andina, tiene una extensión aproximada de  $518 \text{ km}^2$ , y su altitud es de 2100 m.s.n.m. (Cuenca J., 2008).

Figura 1.1. Ubicación de la zona de estudio



Fuente: [www.inec.gov.ec](http://www.inec.gov.ec)



### 1.1.2. ASPECTOS CLIMATOLÓGICOS

La ciudad de Celica presenta una variedad de climas, frío, lluvioso, templado húmedo y cálido seco, la pluviosidad promedio anual es de 1167 mm y la temperatura promedio anual es de 15 °C.

Posee una humedad relativa de 86.6 %, y su evaporación es de 845.5 mm. Debido a su ubicación se presentan dos estaciones bien definidas que son: invierno desde Enero hasta Mayo, y verano desde el mes de Junio a Diciembre.

### 1.1.3. TOPOGRAFÍA DE LA CIUDAD

La ciudad de Celica presenta una topografía fuertemente ondulada con pendientes del orden del 8 al 16 %. Además presenta un desarrollo urbanístico en su mayoría definido existiendo un porcentaje de viviendas semidispersas en la zona periférica.

La ciudad tiene un alto potencial de crecimiento pues aún existen zonas en donde se pueden establecer viviendas. Los asentamientos poblacionales en la zona periférica de la ciudad, han sido planificados existiendo urbanizaciones dispersas, las mismas que se levantaron e integraron al plano topográfico de Celica.

## 1.2. OBJETIVOS

### 1.2.1. OBJETIVO GENERAL

- ✓ Estudiar, diseñar y seleccionar tecnologías sostenibles de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante un método natural para la ciudad de Celica.



### 1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Determinar los factores y las variables a considerar en el proceso de selección de tecnologías de tratamiento de aguas residuales mediante alternativas naturales.
- ✓ Diseñar la tecnología seleccionada.
- ✓ Elaboración del manual de operación y mantenimiento de la tecnología seleccionada.
- ✓ Contribuir al mejoramiento de las condiciones sanitarias y ambientales de la población urbana de Celica, aportando al desarrollo social y económico del sector.

### 1.3. METODOLOGÍA

El estudio se lo ha realizado cumpliendo con las distintas etapas de estudio y análisis de los factores involucrados en el diseño de un sistema depurador de aguas residuales por aplicación directa en el terreno. Esto incluye a los agentes socio-económicos, técnicos y ambientales.

Se ha tomado muestras de aguas residuales para su posterior análisis, lo que ha permitido caracterizarla definiendo su idoneidad para la tecnología que se quiere implementar. Además de tomar en cuenta la temperatura y el caudal a distintas horas del día.

Para la caracterización del suelo se han extraído muestras alteradas e inalteradas del sitio en estudio, las cuales han sido ensayadas para su clasificación y análisis físico-químico. Así mismo, se ha realizado los ensayos en laboratorio e in situ de permeabilidad.

El estudio hidrológico es un factor importante que sirve para determinar los ciclos de humectación/desecado, además de estimar la escorrentía superficial agregada a las áreas de infiltración, etc. Para esto se ha estudiado la precipitación media mensual, la influencia de la temperatura que puede



suponer un porcentaje apreciable de evaporación del agua al igual que la velocidad del viento, y la evapotranspiración potencial para realizar el balance total de agua en las áreas.

Los datos de precipitación, viento y temperatura fueron facilitados por las estaciones pluviométricas del INAMHI y de PREDESUR.

Los estudios de impacto ambiental han sido importantes para determinar la magnitud que tendrán las afectaciones positivas y negativas en la fase de diseño, construcción, operación y mantenimiento, y finalmente cierre. Para esto se ha utilizado como herramienta la matriz de Leopold.

Luego de analizar los resultados obtenidos en cada fase de investigación, utilizando matrices de selección, se ha encontrado la tecnología que mejor se acopla a las características físicas y climatológicas de la ciudad de Celica, para luego realizar el diseño de la estructura de pretratamiento y tratamiento de la planta depuradora de aguas residuales, conjuntamente se ha elaborado el manual de operación y mantenimiento de la misma.

En el capítulo 1 de esta investigación, se presentan las características generales del sitio de estudio que es la ciudad de Celica, además de los objetivos y metodología a seguir. En el capítulo 2 se ha analizado las características socio-económicas sanitarias a fines de conocer las actividades a las que se dedican los habitantes de la ciudad y determinar la existencia o no de industrias. En el capítulo 3 se ha caracterizado el agua residual analizando los parámetros físico-químicos, bacteriológicos, metales pesados y pesticidas organoclorados y organofosforados. En el capítulo 4 se ha realizado el estudio hidrológico para definir las épocas estacionales de invierno y verano a través del estudio de balance hídrico. En el capítulo 5 se ha caracterizado el suelo analizando sus características físicas, químicas e hidráulicas, lo cual es importante para seleccionar un método de tratamiento ecológico al utilizar el suelo como medio depurador. En el capítulo 6 se ha realizado el estudio de



## ESTUDIO, DISEÑO Y SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS APLICABLE A LA CIUDAD DE CELICA.

### CAPITULO I

impacto ambiental que produciría al medio la implementación de la tecnología seleccionada. En el capítulo 7 se ha realizado el estudio para seleccionar la tecnología que se adapte a las características físicas y climatológicas de la zona de estudio. En el capítulo 8 se ha diseñado las unidades de pretratamiento y tratamiento de la tecnología seleccionada. En el capítulo 9 se ha elaborado el presupuesto de construcción, operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales, así como también el costo por habitante de la implantación de este servicio. En el capítulo 10 se ha elaborado el manual de operación y mantenimiento el mismo que está sujeto a los procesos operacionales para el correcto mantenimiento de las instalaciones, sin problemas de personal y equipo. En el capítulo 11 finalmente se han presentado las conclusiones obtenidas en el desarrollo de la presente investigación.

# **CAPÍTULO 2**

## **ESTUDIO SOCIO- ECONÓMICO SANITARIO**





## 2.1. INTRODUCCIÓN

En este estudio ha sido necesario investigar los archivos del INEC, en donde se ha encontrado datos de censos para la ciudad de Celica en los años 1950, 1962, 1974, 1982, 1990 y 2001. Por tal motivo se ha estimado el índice de crecimiento en base a la información existente, la misma que ha servido de base para proyectar la población actual al año 2009 y el tamaño de la muestra de la encuesta socio-económica-sanitaria aplicada a la población de la ciudad de Celica.

Para el cálculo del índice de crecimiento, se ha utilizado el método geométrico ya que este tiene su base en un índice de crecimiento constante, el cual se calcula con los valores de población registrados en los diferentes censos realizados.

## 2.2. CÁLCULO DE TAMAÑO DE MUESTRA PARA ENCUESTA SOCIO-ECONÓMICA-SANITARIA

### 2.2.1. CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CRECIMIENTO

El índice de crecimiento se lo ha calculado según recomendaciones del Ex-IEOS de acuerdo a la fórmula geométrica:

$$i = (Pf/Pa)^{1/n} - 1 \quad (\text{Ecuación 2.1})$$

Donde:

- $i$  : Índice de crecimiento (%)
- $Pf$  : Población futura (hab)
- $Pa$  : Población actual (hab)
- $n$  : Número de años del período



Tabla 2.1. Cálculo del índice de crecimiento

Datos Disponibles	Fuente: INEC	Cálculo del índice de crecimiento						
Censo	Población Urbana							
		Año	Pa	Pf	n	i (%)		
1950	1553							
1962	3467	1950	1962	1553	3467	12	6.92	
1974	3081	1962	1974	3467	3081	12	-0.98	
1982	3687	1974	1982	3081	3687	8	2.27	
1990	3873	1982	1990	3687	3873	8	0.62	
2001	3693	1990	2001	3873	3693	11	-0.43	
							Σ =	8.40

Fuente: Los Autores

$$i = \frac{\sum i}{n} = \frac{8.40}{5} = 1.68\%$$

Tenemos que  $i = 1.68\%$ , por lo tanto, para el presente caso se ha adoptado este valor para el índice de crecimiento poblacional.

### 2.2.2. CÁLCULO DE LA POBLACIÓN ACTUAL

Se hace la estimación actual de la población (año 2009) por medio del método del índice de crecimiento.

Luego:

$$Pf = Pa (1 + i)^n \quad (\text{Ecuación 2.2})$$

Donde:

- $Pf$  : Población futura (hab)
- $Pa$  : Población actual (hab) = 3693 (último censo)
- $i$  : Índice de crecimiento (%) = 1.68%
- $n$  : Período de diseño (años) = 8 años

$$Pf = Pa \times (1 + i)^n$$

$$Pf = 3693 \text{ hab} \times (1 + 0,00168)^8 = 4220 \text{ hab}$$

La población actual proyectada aplicando este método es de **4220 hab.**



### 2.2.3. CÁLCULO DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA

El criterio seguido para determinar el tamaño de la muestra fue para una población finita menor a 100000 habitantes utilizando la fórmula encontrada en Aching, 2006, la cual es:

$$n = \frac{Z^2 \times P \times Q \times N}{\epsilon^2 (N - 1) + Z^2 \times P \times Q} \quad (\text{Ecuación 2.3})$$

Donde:

- $n$  : Número de elementos de la muestra
- $Z$  : Valor crítico correspondiente al nivel de confianza elegido; regularmente se utiliza 1.96, luego  $Z = 1.96$ .
- $P/Q$  : Probabilidades con las que se presenta el fenómeno
- $N$  : Número de elementos de la población o universo (4220 hab)
- $\epsilon$  : Margen de error permitido (determinado por el responsable del estudio, asumido 5 %).

Cabe señalar que cuando el valor de P y de Q son desconocidos o cuando la encuesta abarque diferentes aspectos en los que estos valores puedan ser desiguales, es conveniente tomar el caso más adecuado, en el que se necesite el máximo tamaño de la muestra, lo cual ocurre para  $P = Q = 50$ . (Aching, 2006).

Por lo que se obtiene el siguiente tamaño de muestra:

$$n = \frac{(1.96)^2 (0.5)(0.5)(4220)}{(0.05)^2 (4220 - 1) + (1.96)^2 (0.5)(0.5)} = 352 \text{ encuestas}$$

### 2.3. FORMATO DE ENCUESTA

El formato de encuesta se lo ha diseñado con el objetivo principal de conocer las actividades a las que se dedican los habitantes de la ciudad de Celica, tipo de industrias que existen, los servicios básicos con los que cuentan y



disposición final que se le da a la basura orgánica e inorgánica, además de otros factores.

## 2.4. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación se presenta un resumen de la tabulación de las encuestas aplicadas a la población de la ciudad de Celica.

**Tabla 2.2. Tabulación de resultados de la encuesta Socio-Económica Sanitaria**

PARÁMETRO		RESULTADOS
Número de habitantes		4220
Número de personas promedio por familia		5
Alfabetos		336
Analfabetos		16
Número de personas con vivienda propia		264
Número de personas que arriendan		79
Número de casas en construcción		9
ACTIVIDAD ECONÓMICA	Agrícola	58
	Ganadera	46
	Obrero	36
	Empleado público y/o privado	112
	Profesor	46
	Otros	54
MICROEMPRESA	Lácteos	28
	Curtiembres	1
	Lubricadoras	252
	Embutidos	69
	Minería Artesanal	5
	Fundidoras	3
	Panaderías	352
	Vulcanizadoras	350
Otras industrias	0	
SERVICIOS BÁSICOS	Energía Eléctrica	352
	Alcantarillado Combinado	320
	Alcantarillado Separado	32
	Camal con tratamiento	43
	Camal sin tratamiento	309
	Centro y/o Sub-centro de Salud	352
	Mercado	352
	Gasolinera	352
ABASTECIMIENTO DE AGUA	Tratada	333
	No tratada	19
	Tiene conexión a Red pública de agua potable	333
	Tiene Conexión domiciliaria	333



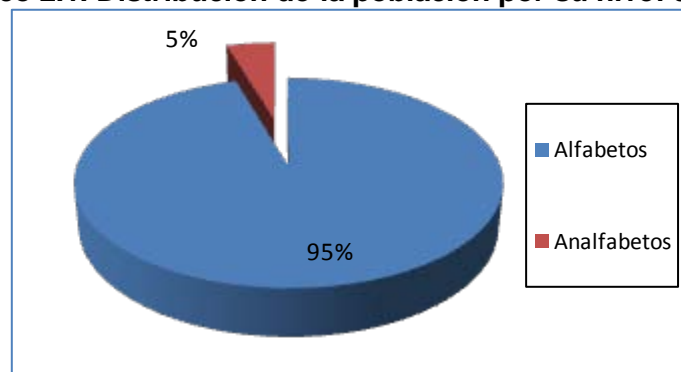
PARÁMETRO		RESULTADOS
	No tiene conexión a Red pública de agua potable	18
	No tiene Conexión domiciliaria	1
	Río-Acequia	18
	Pozo	1
ELIMINACIÓN DE AGUAS	Huerto	5
	Patio	1
	Alcantarillado	345
	Otros	1
DISPOSICIÓN DE EXCRETAS	Campo abierto	7
	Alcantarillado	345
	Letrina	0
DISPOSICIÓN DE BASURA ORGÁNICA	Bota huerto	43
	Utiliza para abono	33
	Recolección de basura	276
DISPOSICIÓN DE BASURA INORGÁNICA	En tierra	6
	Quema	6
	Bota quebrada	31
	Recolección de basura	309
ELIMINACIÓN DE ESTIÉRCOL	Acumula cerca de la casa	0
	Bota al terreno y/o tapa	2
	Bota al terreno y no tapa	43
	Otros	1
ANIMALES DOMÉSTICOS	En corral	81
	Libres	63
	Otros	7

Fuente: Los Autores

#### 2.4.1. CARACTERÍSTICAS DE LA POBLACIÓN OBJETIVO

##### a) Distribución de la población por su nivel cultural.

Gráfico 2.1. Distribución de la población por su nivel cultural



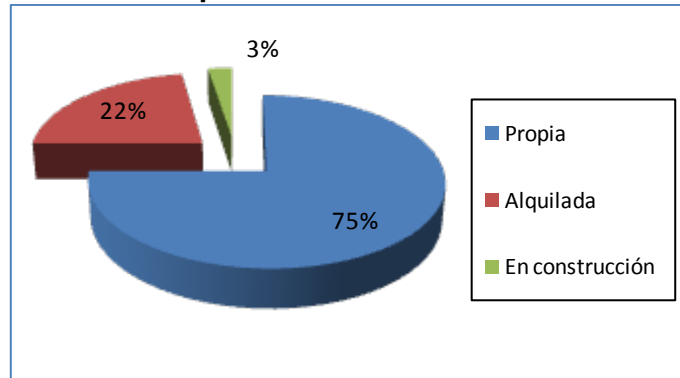
Fuente: Los Autores



Del número de personas encuestadas el 95% saben leer y escribir, existiendo una población analfabeta del 5%.

**b) Tipo de vivienda.**

**Gráfica 2.2. Tipo de vivienda**

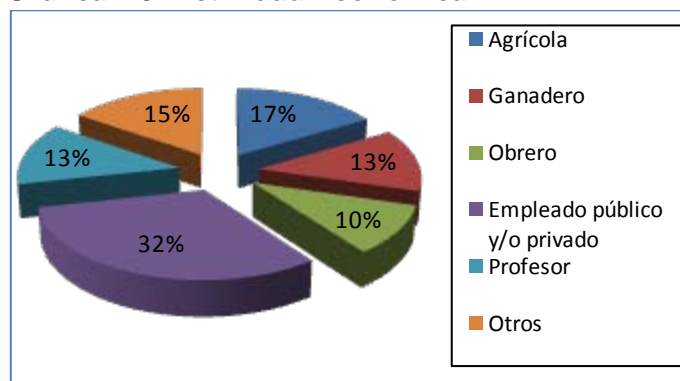


**Fuente: Los Autores**

De las personas encuestadas se determinó que el 75% de la población posee casa propia, el 22% alquila. Existe el 3% de personas cuyas casas están en construcción. Con lo cual se observa que la mayor parte de la población tiene vivienda propia.

**c) Actividad Económica.**

**Gráfica 2.3. Actividad Económica**



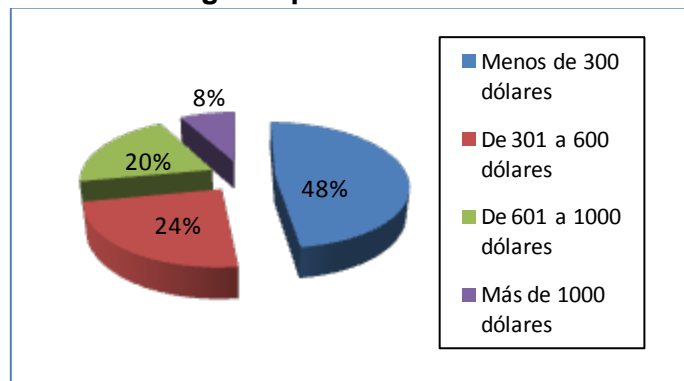
**Fuente: Los Autores**



Las principales actividades económicas a las que se dedica la población de Celica son la agricultura en un 17% y ganadería en un 13%. El 10% de la población se dedica a actividades relacionadas con la construcción, también existe un 32% que se dedica a actividades como empleados públicos y/o privados y un 13% son profesores. Otras actividades informales a las que se dedican las personas ocupan un 15% (comerciantes).

**d) Ingreso promedio mensual.**

**Gráfica 2.4. Ingreso promedio mensual**



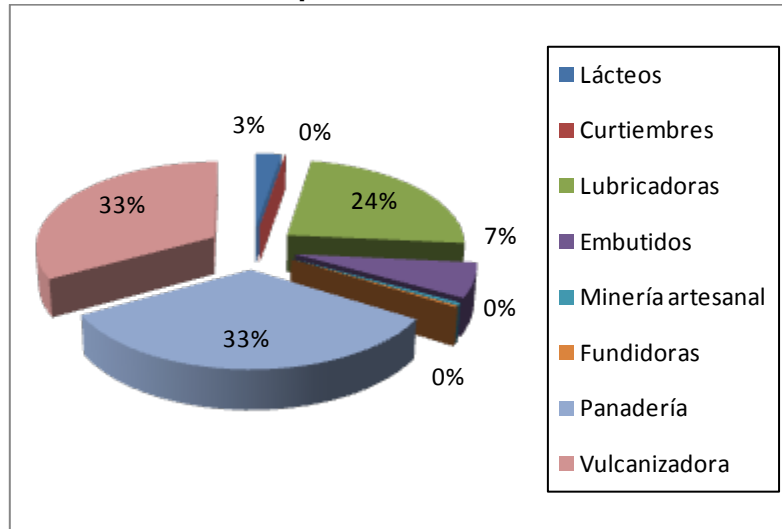
**Fuente: Los Autores**

Tan solo el 14% de las personas encuestadas dieron a conocer esta información, obteniendo los siguientes resultados: el 48% tiene un ingreso de \$300 o menos, un 24% recibe de entre \$301 a \$600 mensuales, otro 20% recibe de entre \$601 a \$1000 dejando tan solo un 8% de la población que gana de \$1000 en adelante. Esta información permite concluir que el nivel económico es de una clase media a baja.



**e) Microempresa.**

**Gráfica 2.5. Microempresas**

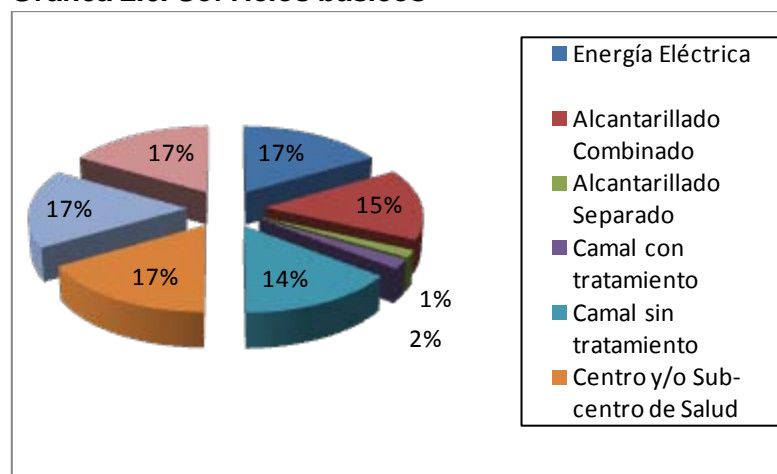


**Fuente: Los Autores**

Según el estudio realizado son tres las microempresas más importantes presentes en la ciudad de Celica como son las panaderías, lubricadoras y vulcanizadoras. Las microempresas de lácteos y embutidos se encuentran en menor número.

**f) Servicios básicos**

**Gráfica 2.6. Servicios básicos**



**Fuente: Los Autores**

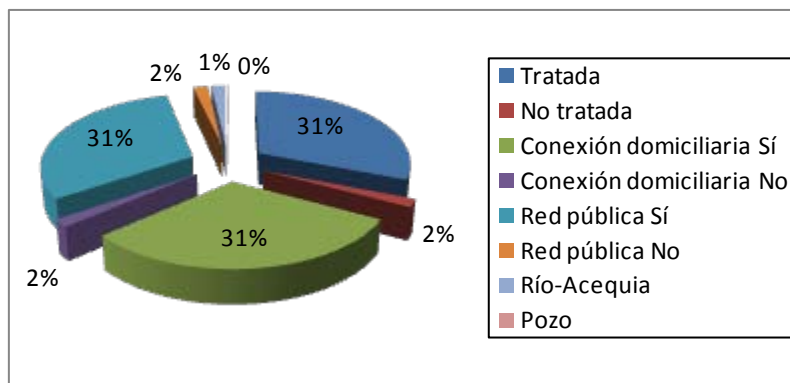




La ciudad de Celica cuenta con el servicio de energía eléctrica para toda la población urbana, de igual manera posee un Centro y Sub-centro de Salud, estación de gasolina y plaza de mercado. La mayor parte de la ciudad cuenta con alcantarillado combinado y el camal no posee tratamiento de sus aguas residuales.

### g) Abastecimiento de agua.

Gráfica 2.7. Abastecimiento de agua

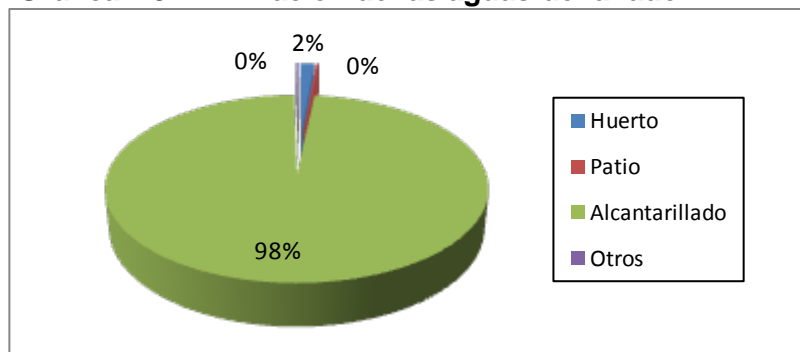


Fuente: Los Autores

El servicio de agua potable se extiende a la mayor parte de la población de Celica, un pequeño número se abastece ya sea por un río o acequia, o por un pozo.

### h) Eliminación de las aguas de lavado.

Gráfica 2.8. Eliminación de las aguas de lavado



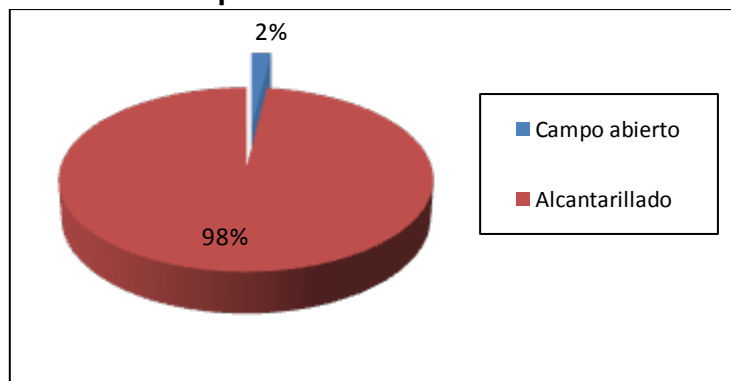
Fuente: Los Autores



La mayor parte de personas encuestadas indican que eliminan sus aguas de lavado vertiéndolas en el alcantarillado (98%), el 2% elimina vertiendo a un huerto.

**i) Disposición de excretas.**

**Gráfica 2.9. Disposición de excretas**

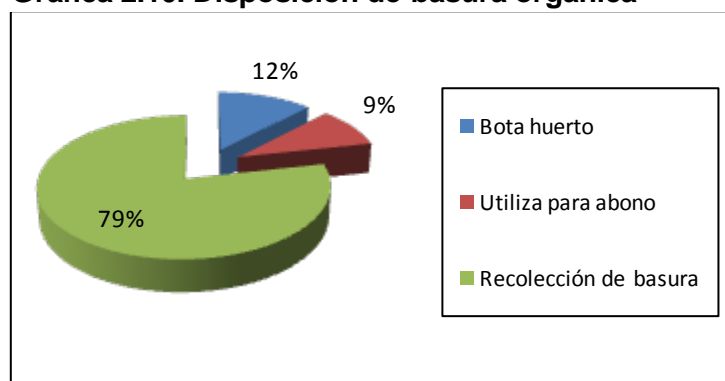


**Fuente: Los Autores**

El 98% de las personas elimina las excretas mediante el sistema de alcantarillado sanitario, el 2% lo hace en campo abierto.

**j) Disposición de basura orgánica.**

**Gráfica 2.10. Disposición de basura orgánica**



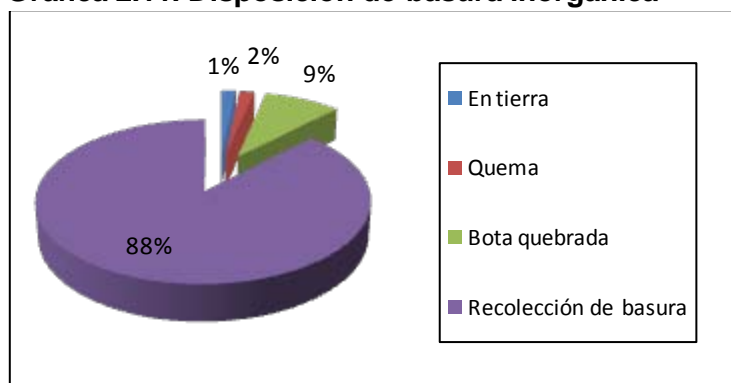
**Fuente: Los Autores**



La mayoría de las personas de la ciudad eliminan los residuos orgánicos domésticos entregándolos al servicio de recolección de basura (58%), un 12 % los bota al huerto, un 9 % los utiliza como abono y un 21 % los elimina de otras maneras.

**k) Disposición de basura inorgánica.**

**Gráfica 2.11. Disposición de basura inorgánica**

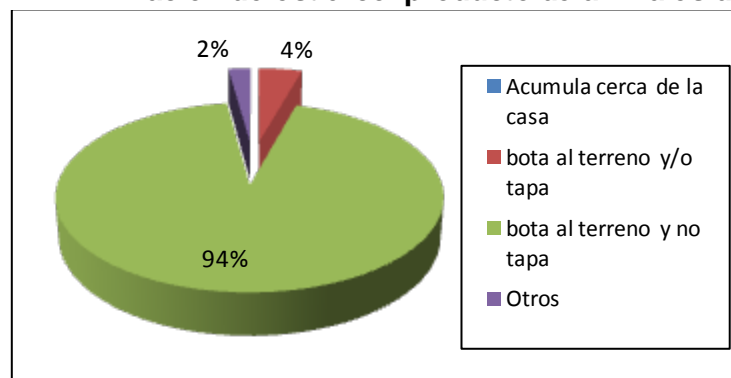


**Fuente: Los Autores**

El 88 % de las personas encuestadas elimina los residuos inorgánicos domésticos entregándolos al servicio de recolección de basura, el 9 % lo bota en una quebrada, el 2 % los quema y un 1 % los en tierra.

**l) Eliminación de estiércol producto de animales domésticos.**

**Gráfica 2.12. Eliminación de estiércol producto de animales domésticos**



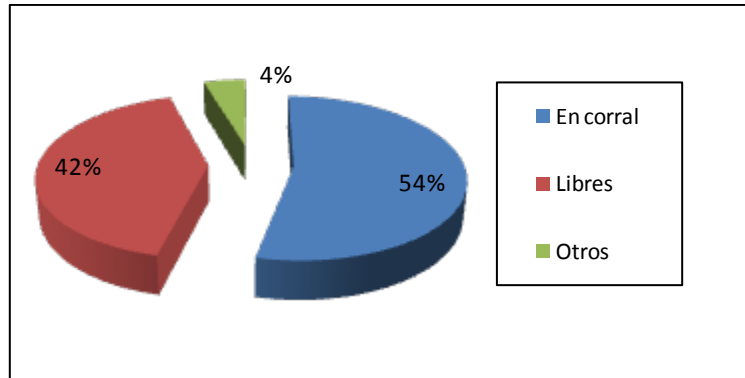
**Fuente: Los Autores**



Un 94% de ganaderos bota el estiércol de su ganado al terreno y no tapa, un 4% lo arroja al terreno y tapa, mientras que un 2% lo elimina de otras formas.

#### m) Animales domésticos.

**Gráfica 2.13. Animales domésticos**



**Fuente: Los Autores**

La mayor parte de los ciudadanos no posee animales domésticos en sus casas (57%), el 23 % tiene animales en corrales, el 18 % tiene animales libres mientras que un 2 % tiene otro tipo de animales.

## 2.5. CONCLUSIÓN

A través de este estudio se ha encontrado que no existen industrias que puedan afectar de manera muy significativa la integridad del agua y por ende ser un problema al tratar de depurarla por una tecnología natural. Además se ha encontrado que las actividades económicas a las que más se dedican los habitantes de la ciudad de Celica son la ganadería y agricultura, las cuales son de gran interés en la presente investigación por motivos de reúso del agua para riego.

# **CAPÍTULO 3**

## **CARACTERIZACIÓN DEL**

### **AGUA RESIDUAL**



### 3.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se analizan las características físico-químicas y bacteriológicas del agua residual de la ciudad de Celica, así como también la evolución de cada parámetro y la relación existente entre los diferentes parámetros.

La caracterización general del agua residual urbana se realizó mediante la determinación de los parámetros más representativos como son: pH, Sólidos totales, Sólidos disueltos, Sólidos en suspensión, Nitrógeno orgánico, Nitrógeno inorgánico, Nitrógeno de nitrato, Nitrógeno de nitrito, Cloruro, Fósforo orgánico, Fósforo inorgánico, Alcalinidad, Grasas, Carbono orgánico total, DBO<sub>5</sub>, DQO, Boro, Metales pesados y Pesticidas organoclorados y organofosforados. Se utilizó métodos de estadística descriptiva para interpretar los valores de estos parámetros, así como también para analizar las características específicas de los componentes de cada parámetro.

### 3.2. AGUAS RESIDUALES

Orozco et al. (2008) manifiestan que “Se entiende por aguas residuales, en general, aquellas aguas alteradas en su composición por el uso al que han sido sometidas, lo que conlleva una pérdida de calidad y una necesidad de tratamiento o depuración”. Sin duda el factor que más influye en el proceso de depuración de aguas residuales es su composición, debido a que en los vertidos de estas aguas cualquiera que sea su origen son una amenaza para los seres vivos y el medio ambiente, ya que producen una alteración de las características del medio receptor donde se produce la descarga.

#### 3.2.1. TIPOS DE AGUAS RESIDUALES

Los tres tipos principales de aguas residuales, en función de sus usos son: urbanas, industriales y agropecuarias.



### **3.2.1.1. ORÍGEN URBANO**

Son aguas que se han canalizado y utilizado para uso doméstico procedentes de los residuos de la actividad humana de zonas de vivienda y de servicios, como son las aguas de cocina, baño, lavado, fecales (aguas negras), comercios, pequeñas actividades industriales urbanas, etc., también pueden contener residuos por escorrentía superficial y de drenajes (aguas blancas) de un municipio, que son las aguas pluviales, de limpieza pública, riego y otros servicios. (Orozco et al., 2008).

### **3.2.1.2. ORÍGEN INDUSTRIAL**

Son vertidos originados de las actividades industriales en las etapas del proceso de producción, las procedentes de generación e intercambio de calor y cuantos otros tipos de aguas se vierten desde cada instalación. Debemos destacar que la composición de las mismas será específica según la actividad industrial y método de producción correspondientes, pero todas ellas tendrán también un componente urbano o doméstico. (Orozco et al., 2008).

### **3.2.1.3. ORÍGEN AGROPECUARIO**

Son aguas procedentes de actividades agrícolas o ganaderas. Se incluyen las aguas destinadas para riego (uso agrícola), los residuos líquidos del ganado (purines) y las aguas utilizadas en explotaciones ganaderas, sobre todo en operaciones de limpieza que pueden arrastrar el estiércol y los purines, aunque, debido a su alta contaminación, se intentan eliminar estos desechos como residuos, los mismos que alteraran las características de las aguas del curso receptor. (Orozco et al., 2008).

Una vez que se ha expuesto los tipos de aguas residuales, origen y características cabe hacer hincapié que en la presente investigación se hace



referencia a las aguas residuales de origen doméstico o urbano con una posible aportación de pluviales y/o de procedencia incontrolada.

### 3.2.2. CARACTERÍSTICAS Y COMPOSICIÓN

La composición de las aguas residuales urbanas presenta un margen de variación entre diferentes poblaciones ya que, además, de las influencias de origen doméstico, industrial y pluvial, los usos públicos del agua varían en función de la naturaleza de la población. Por tanto, la composición de las aguas residuales se refiere a los constituyentes físicos, químicos y biológicos que se encuentran en el agua residual. (Metcalf & Eddy, 1998).

#### 3.2.2.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

**pH:** Es un parámetro de calidad de gran importancia ya que mide la concentración de iones hidrógeno tanto para el caso de aguas naturales como residuales. “El término se puede representar como

$$pH = -\log \{H^+\} \quad \text{o} \quad pH = \log \frac{1}{\{H^+\}}$$

y la representación de la escala de pH usualmente oscila de 0 a 14, en la que el pH de 7 a 25 °C representa la neutralidad absoluta. La acidez aumenta cuando el pH disminuye y la alcalinidad aumenta con el incremento del pH”. (Sawyer, McCarty & Parkin, 2000).

En el tratamiento de aguas residuales mediante procesos biológicos, el pH se debe mantener en un intervalo relativamente estrecho (5 ≤ pH ≤ 9), margen favorable para la existencia de los organismos específicos que intervienen en la vida biológica. (Crites & Tchobanoglous, 2000).

**Sólidos totales:** Seoáñez (2005) en su investigación manifiesta que “Generalmente, las aguas residuales urbanas contienen sólidos disueltos, sólidos en suspensión y sólidos en flotación, que normalmente no pasan de





1000 ppm (1000 mg/l) del total, aunque su tratamiento en instalaciones depuradoras necesita a veces montajes especiales”. Los análisis de sólidos son importantes en el control de procesos de tratamiento biológico y físico de aguas residuales, y para evaluar el cumplimiento de las limitaciones que regulan su vertido, ya que pueden afectar negativamente a la calidad del agua.

**Sólidos disueltos:** “Se incluyen en este grupo todos aquellos sólidos que pasan por el crisol de Gooch, aunque una pequeña parte está constituida por coloides (un 10%). Su proporción es de un 40% de productos orgánicos y un 60% de productos inorgánicos” (Seoánez, 2005).

**Sólidos en suspensión:** “Son las partículas flotantes, como trozos de vegetales, animales, basuras, etc., y aquellas otras que también son perceptibles a simple vista y tienen posibilidades de ser separadas del líquido por medios físicos, como arcillas, arenas, etc. Generalmente se componen de un 68% de sólidos orgánicos y de un 32% de sólidos inorgánicos” (Seoánez, 2005). Un valor medio de calidad del agua urbana de contaminación baja de este parámetro es 100 mg/l. (Orozco, Pérez, González, Rodríguez & Alfayate, 2008).

**Nitrógeno orgánico:** Todo el nitrógeno que existe en los compuestos orgánicos se puede considerar como nitrógeno orgánico, la presencia de este elemento en el agua, significa que en alguna medida ha sido contaminada con materia orgánica que lo contenga. La mayor parte del nitrógeno orgánico propio de los residuos domésticos está en forma de proteínas o de los productos de su degradación: polipéptidos y aminoácidos, ácidos nucleicos y urea, y numerosos materiales orgánicos sintéticos. La concentración típica del nitrógeno orgánico es de 20 mg/l en las aguas residuales brutas. (APHA, AWWA, WPFC, 1992).



**Nitrógeno amoniacal:** El amoniaco se encuentra frecuentemente de forma natural en las aguas superficiales y residuales, produciéndose en gran parte debido a una degradación (descomposición) incompleta de los compuestos orgánicos nitrogenados y por hidrólisis de la urea. Las concentraciones de nitrógeno amoniacal en un agua residual pueden ser hasta más de 30 mg/l. (APHA, AWWA, WPFC, 1992).

**Nitrógeno de nitrato:** El nitrógeno en forma de nitrato es la especie química más oxidada del nitrógeno y se encuentra sólo en pequeñas cantidades en las aguas residuales domésticas recientes, su concentración puede variar desde 2 a 30 mg/l como N, dependiendo del grado de nitrificación y denitrificación del tratamiento. (Crites & Tchobanoglous, 2000). Los nitratos sirven para fertilizar la vida vegetal y son convertidos a proteínas.

**Nitrógeno de nitrito:** El nitrógeno en forma de nitrito es un indicador de contaminación previa al proceso de estabilización y rara vez se encuentra en concentraciones mayores que 1 mg/l, incluso en las plantas de tratamiento de agua residual o 0,1 mg/l en agua superficial. (Sawyer, McCarty & Parkin, 2000). El nitrito es un estado intermedio de la oxidación del nitrógeno, tanto en la oxidación del amoniaco a nitrato como en la reducción del nitrito. Esta oxidación y reducción puede ocurrir por tratamientos biológicos en las plantas de tratamiento de aguas residuales. (APHA, AWWA, WPFC, 1992).

**Cloruro:** Fuentes potenciales de cloruros son las descargas de aguas residuales domésticas, industriales y agrícolas a las aguas superficiales. Los efluentes de aguas residuales agregan considerables cantidades de cloruros como consecuencia del uso a las corrientes que lo reciben y es un parámetro importante relacionado con su reutilización. (Crites & Tchobanoglous, 2000).

**Fósforo orgánico:** Antes de la aparición de los detergentes sintéticos el contenido de fósforo enlazado a las formas orgánicas variaba entre 0,5 y 1



mg/l y en la actualidad puede aumentar 2 a 3 veces debido a su utilización. El fósforo orgánico carece de importancia en muchos residuos domésticos, los ingenieros usualmente están interesados en los residuos industriales y lodos de aguas residuales. (Sawyer, McCarty & Parkin, 2000).

**Fósforo inorgánico:** El contenido de fósforo inorgánico en el agua residual doméstica variaba entre 2 y 3 mg/l, la mayor parte era aportada por los desechos humanos, como resultado de la degradación metabólica de las proteínas y la eliminación de los fosfatos presentes en la orina, pero con la aparición de los detergentes sintéticos utilizados para lavar la ropa u otras limpiezas sus concentraciones son relativamente altas 2 a 3 veces más antes de que aumentara el consumo de estos detergentes. (Sawyer, McCarty & Parkin, 2000).

**Alcalinidad:** “La alcalinidad en las aguas residuales ayuda a regular los cambios de pH causados por la adición de ácidos. Normalmente, el agua residual es alcalina, propiedad adquirida de las aguas de abastecimiento, aguas subterráneas y los materiales adicionados durante los usos domésticos”. (Crites & Tchobanoglous, 2000). Una composición típica del agua residual doméstica bruta de concentración fuerte de este parámetro es 200 mg/l. (Metcalf y Eddy, 1995).

**Grasas:** El contenido de aceite y grasa en los residuos domésticos es una consideración importante en la manipulación y el tratamiento de estos materiales para su disposición final. Las principales sustancias en las aguas residuales domésticas que se clasifican como aceites y grasas son los aceites, las grasas, las ceras y los ácidos grasos. El termino aceite representa una gran variedad de sustancias del grupo de los hidrocarburos del petróleo como la gasolina y los combustibles pesados e incluye los aceites lubricantes. La grasa representa los hidrocarburos, los glicéridos de origen animal y vegetal. (Sawyer, McCarty & Parkin, 2000).



**Carbono orgánico total:** Es un indicador de los compuestos orgánicos en varios estados de oxidación, presentes en las aguas residuales, algunos de tales compuestos del carbono pueden ser sometidos a una oxidación posterior por procesos químicos y biológicos. (APHA, AWWA, WPFC, 1992). “Su medida facilita la estimación de la demanda de oxígeno ligada a los vertidos y establece una correlación con la DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) y la DQO (Demanda Química de Oxígeno)”. (Seoáñez, 2005).

**DBO<sub>5</sub> (Demanda Bioquímica de Oxígeno):** Se define usualmente como la cantidad de oxígeno que requieren las bacterias para biodegradar la materia orgánica en condiciones aerobias. (Sawyer, McCarty y Parkin, 2009). “Es el parámetro que se maneja para tener una idea de la concentración en materia orgánica biodegradable; se calcula midiendo la disminución en la concentración de oxígeno disuelto del agua después de incubar una muestra durante 5 días a 20°C”. (Orozco et al., 2008).

**DQO (Demanda Química de Oxígeno):** La DQO se utiliza como parámetro indicativo de materia orgánica global, biodegradable y no biodegradable, y está en función de las características de las materias presentes, de sus proporciones respectivas, de las posibilidades de oxidación. (Orozco et al., 2008).

**Boro:** Es esencial para el crecimiento de las plantas, un exceso de dicho elemento por encima de 2,0 mg/l en el agua de riego es perjudicial para determinados vegetales y puede afectar a algunos en concentraciones del orden de 1,0 mg/l. El boro puede aparecer naturalmente en algunas aguas, o pasar a los cursos de agua procedente de compuestos para la limpieza o aguas residuales industriales. (APHA, AWWA, WPFC, 1992).



### 3.2.2.2. CARACTERÍSTICAS BACTERIOLÓGICAS

La contaminación de tipo bacteriológico se debe fundamentalmente a los desechos humanos y animales, ya que los agentes patógenos como las bacterias y virus se encuentran en la heces, orina y sangre, y son origen de muchas enfermedades y epidemias (fiebres, tifoideas, disentería, cólera, polio, hepatitis infecciosa, etc.).

Los agentes patógenos no suelen sobrevivir en el agua períodos de tiempo prolongados, y se encuentran en cantidades muy reducidos, es por eso que su análisis además de tardarse mucho tiempo en obtener sus resultados, no es muy rutinario.

Los organismos más conocidos como indicadores bacteriológicos son las bacterias coliformes, que viven en el intestino grueso, no son patógenos y su presencia permite diagnosticar el tiempo transcurrido desde una contaminación fecal. Suelen determinarse los coliformes totales y los fecales, así como también *Echerichia Coli* que es el indicador más numeroso y específico de la contaminación fecal. (Orozco et al., 2008).

**Coliformes totales:** Son un grupo de bacterias utilizadas durante muchas décadas como el indicador idóneo para el agua. Aunque todos los géneros coliformes pueden encontrarse en el intestino de los animales, la mayoría de estas bacterias están diseminadas en el medio ambiente, incluyendo el agua potable y las aguas residuales. Una excepción muy importante es el *Echerichia Coli*, que usualmente no sobrevive mucho tiempo fuera del intestino, excepto quizá en el agua caliente en los climas tropicales. (AWWA, 2002).

**Coliformes fecales y *Echerichia Coli*:** Son un subconjunto del grupo de coliformes totales. *Echerichia Coli* es el mayor subconjunto del grupo de coliformes totales. Se distinguen en el laboratorio por su habilidad o capacidad para crecer a elevadas temperaturas (44,5 °C). Ambos coliformes, los fecales y



los Echerichia Coli, son mejores indicadores de la presencia de contaminación fecal reciente que los coliformes totales, pero no distinguen entre contaminación humana o animal. (AWWA, 2002).

### 3.2.2.3. METALES PESADOS

“Los metales pesados son unos de los contaminantes más peligrosos, debido a que no son biodegradables y a su potencial de bioacumulación en los organismos vivos. Entre ellos, destacan por su toxicidad y su mayor presencia en el ambiente el mercurio, el cadmio y el plomo”. (Orozco et al., 2008). Estos metales pesados son originados por las actividades de tipo industrial y comercio como por ejemplo en la metalurgia que es donde se utiliza con mayor frecuencia este tipo de metales, es por eso de gran interés en el tratamiento la remoción de los mismos antes de su reutilización o vertimiento de efluentes.

A continuación se describen los metales pesados encontrados en nuestro estudio.

**Cobre:** Este elemento se encuentra normalmente en el agua potable y en mínimas cantidades se puede originar por la erosión de las rocas y alguna contaminación industrial que se produzca, pero las principales fuentes en los suministros de agua son la corrosión de las aleaciones que contienen cobre en accesorios de tuberías y de la adición de sales de cobre durante el tratamiento de agua para el control de crecimientos biológicos en depósitos. (AWWA, 2002).

**Hierro:** Es uno de los metales más abundantes en la corteza terrestre. Se encuentra en las corrientes naturales en concentraciones que varían de 0,5 a 50 mg/l, su origen puede ser por la lixiviación de los terrenos atravesados o las contaminaciones industriales. (Pauta, 1998). “El óxido de los tubos de hierro o acero pueden también aumentar la concentración de materiales disueltos en el



agua tratada, así como la total de hierro incluyendo las partículas”. (AWWA, 2002).

**Plomo:** “El plomo aparece principalmente en el agua potable a partir de la corrosión de tubo de plomo y de las soldaduras de grifos construidos con bronce o cobre emplomado, especialmente en zonas de agua blanda o ácida”. (AWWA, 2002). Otras fuentes de plomo en el medio ambiente son los gases de escape de automóviles que usan gasolina con plomo y las pinturas. El plomo es un metal muy toxico para los organismos acuáticos y sobre todo para la existencia de los peces. (Orozco et al., 2008).

**Manganeso:** El manganeso se encuentra por todas partes en el medio ambiente, y comúnmente se encuentra de forma natural en cantidades significativas en las aguas subterráneas. Las fuentes de origen humano incluyen las baterías descargadas, producción de aleaciones de acero, y los productos para la agricultura. Se ha considerado personalmente como no tóxico y como naturalmente existente, sin embargo algunos investigadores lo consideran potencialmente peligroso. (AWWA, 2002).

**Zinc:** A menudo aparece en las fuentes de agua y puede llegar a las aguas tratadas a través de la corrosión de los tubos metálicos galvanizados. También tiene su origen en el recubrimiento de metales, aleaciones, pigmentos, pinturas, catalizadores. (AWWA, 2002).

#### 3.2.2.4. PESTICIDAS ORGANOCOLORADOS

Muchos compuestos organoclorados, conforman un grupo de pesticidas artificiales desarrollados principalmente para controlar las poblaciones de insectos plaga. La mayor parte de estos productos producen gran preocupación debido a su persistencia y potencial altamente peligroso para los humanos y el medio ambiente. Por estas razones su utilización ha descendido a lo largo del tiempo.



La acción tóxica principal de los pesticidas organoclorados tiene lugar sobre el sistema nervioso, tanto central como periférico. Este grupo al mezclarse con otros productos incrementan su toxicidad, variando considerablemente dependiendo del grado de cloración. (Menéndez, 2009).

“En general, los pesticidas clorados son los más resistentes a la degradación biológica y pueden persistir durante meses o años después de la aplicación. Muchos de ellos pueden ser altamente tóxicos para los peses o las aves que se alimentan de la vida acuática”. (Sawyer, McCarty y Parkin, 2000).

A continuación se describen los pesticidas organoclorados analizados en laboratorio.

**Aldrin y Dieldrin:** Las dos sustancias químicas se tratan juntas porque el aldrin se transforma en dieldrin cuando entra al ambiente o al cuerpo, puros son polvos blancos y huelen levemente a sustancia química. Entran al ambiente a causa de derrames accidentales o de escapes desde envases en que se almacenan en sitios de desechos, también entran a causa de la agricultura al utilizar compuestos como plaguicidas en cosechas. El dieldrin en el suelo o en el agua se degrada muy lentamente, al adherirse al suelo puede pasar por inalterado por muchos años. Los peces y otros animales que comen materiales contaminados con dieldrin acumulan una gran cantidad de dieldrin en el tejido graso y por ende al ser humano si lo consume. (ATSDR, 2002).

**Hexaclorociclohexano (HCH):** conocido anteriormente como hexacloruro de benceno (BHC), es una sustancia química manufacturada que existe en ocho formas llamadas isómeros. El alfa, beta, gama y delta HCH se han encontrado en el suelo y el agua superficial en sitios de desechos peligrosos. En el aire, las diferentes formas del HCH pueden estar presentes en forma de vapor o adheridas a pequeñas partículas de tierra y polvo. Las partículas del aire pueden ser removidas por la lluvia o degradadas por otros compuestos





presentes en la atmósfera. En el suelo, los sedimentos y el agua, el HCH es degradado a sustancias menos tóxicas por algas, hongos y bacterias, pero este proceso puede tomar mucho tiempo. (ATSDR, 2005).

**Endosulfán:** Es un plaguicida manufacturado. Se usa para controlar una variedad de insectos en cosechas de alimentos y en cosechas no comestibles como por ejemplo tabaco y algodón. También se usa como preservativo para madera.

El endosulfán se vende como una mezcla de dos formas diferentes (llamadas alfa y beta endosulfán). Es un sólido de color crema a pardo en forma de cristales o de escamas. Tiene un olor similar a la trementina. El endosulfán no se inflama. Entra al aire, al agua y al suelo cuando se utiliza como plaguicida. El endosulfán se aplica a menudo a cosechas mediante rociadores. (ATSDR, 2000).

**Endrin:** Es una sustancia sólida casi sin olor que se usó como plaguicida para controlar insectos, roedores y pájaros. Se ha encontrado en niveles muy bajos tanto en aguas subterráneas como en aguas superficiales. Generalmente no se encuentra Endrin en el aire excepto cuando se aplicó a sembrados durante uso agrícola. La endrina puede permanecer en el suelo más de 10 años. (ATSDR, 1996).

**Heptacloro:** El heptacloro es una sustancia química manufacturada y usada en el pasado para matar insectos en el hogar, en edificios y en cosechas de alimentos, no se encuentra de forma natural. El heptacloro se usó como plaguicida con más frecuencia, puro es un polvo blanco que no se inflama fácilmente y tiene un olor similar al alcanfor. El heptacloro entro al suelo y al agua de superficie cuando los agricultores lo usaron para matar insectos en semillas de granos y en cosechas. (ATSDR, 2007).



**Metoxicloro:** Conocido también como DMDT, es una sustancia química manufacturada usada actualmente para controlar insectos, es eficaz para controlar moscas, mosquitos, cucarachas y una gran variedad de los mismos. Este insecticida es usado en cosechas agrícolas y en el ganado, en alimentos para animales y en recipiente para almacenar cereales. Puro es un polvo amarillo pálido que huele levemente a fruta o a moho. (ATSDR, 2002).

**Mixer:** Es un insecticida sintético, no se encuentra de forma natural en el medio ambiente, es un sólido cristalino de color blanco nieve, es inodoro y no arde fácilmente. El mixer fue utilizado como pesticida para el control de las hormigas rojas. El mixer se degrada en fotomix, el cual puede causar efectos nocivos en la salud. (ATSDR, 1995).

**DDT (Diclorodifeniltricloroetano):** Es un plaguicida que se uso para controlar insectos en cosechas agrícolas e insectos portadores de enfermedades tales como la malaria y el tifus. Actualmente se sigue utilizando para controlar la malaria. El DDT de calidad técnica es una mezcla de tres formas, que son sólidos blancos cristalinos, sin sabor y sin olor. El DDT no ocurre de forma natural en el ambiente. (ATSDR, 2002).

**DDE (Diclorodifenildicloroetileno):** Se encuentra sólo como resultado de la contaminación o degradación del DDT. Puede entrar al aire cuando se evapora desde el agua y suelo contaminado. (ATSDR, 2002).

### 3.2.2.5. PESTICIDAS ORGANOFOSFORADOS

Los pesticidas organofosforados alcanzaron su importancia como insecticidas después de la Segunda Guerra Mundial. En general son tan tóxicos para los humanos como efectivos contra las plagas y se deben utilizar con mucha precaución. Estos son menos persistentes en el ambiente y no se acumulan en el organismo, pero su toxicidad aguda es mayor. Este grupo de pesticidas no son demasiado tóxicos para la existencia de los peses y no son tan importantes



en este aspecto, excepto cuando accidentalmente se han vertido grandes cantidades. (Sawyer, McCarty y Parkin, 2000).

Se absorben rápidamente por todas las vías. Cuando se utiliza un disolvente orgánico se facilita la absorción del producto a través de la piel. La vía dérmica es responsable de un alto porcentaje de intoxicaciones.

Los pesticidas organofosforados tienden a degradarse rápidamente cuando se exponen a la luz, el aire y el suelo aunque pequeñas cantidades pueden persistir y terminar en la comida y en el agua potable.

La vida media de los organofosforados y sus productos de biotransformación es relativamente corta (horas o días). Su biotransformación se realiza mediante enzimas oxidasas, hidrolasas y transferasas, principalmente hepáticas. La eliminación tiene lugar por la orina y en menor cantidad por heces y aire aspirado.

Los principales efectos por exposición aguda a organofosforados son de tipo neurológico, cardiocirculatorios, oculares, respiratorios y dérmicos, entre otros. (Menéndez, 2009).

A continuación se describen algunos de los pesticidas organofosforados analizados en laboratorio.

**Azinfos metil:** Es un insecticida organofosforado muy persistente, se utiliza principalmente como una aplicación foliar contra insectos que se alimentan de las hojas. Funciona como un insecticida de contacto y un veneno estomacal. Es altamente tóxico por inhalación, absorción dérmica, ingestión y contacto con los ojos. (EXTOXNET PIP, 1996).

**Carbofenotion:** Es un insecticida y acaricida, es eficaz contra los huevos y recién eclosionadas jóvenes de muchas especies. Afecta a los insectos por



contacto y cuando se consume. Se utiliza en los cítricos y el algodón para controlar los áfidos y ácaros. Carbofenotion afecta al sistema nervioso, se absorbe por la piel muy rápidamente, se excreta del cuerpo rápidamente, su mayoría en la orina y las heces dentro de las 72 horas. (EXTOXNET PIP, 1995).

**Clorpirifos:** Es un insecticida organofosforado de alto espectro, originalmente se utilizó para matar los mosquitos, es eficaz en el control de gusanos cortadores, gusanos de las raíces del maíz, las cucarachas, larvas. Se utiliza como insecticida en granos, el algodón, el campo, frutas, así como el césped y plantas ornamentales. También es registrado para su uso directo en los sectores ovinos y pavos. Clorpirifos actúa sobre las plagas sobre todo como un veneno de contacto, con alguna acción como un veneno estomacal. (EXTOXNET PIP, 1996).

**Ethion:** Es un plaguicida organofosforado usado para matar los pulgones, ácaros escamas, trips, saltamontes, gusanos y larvas de alimentación foliar. Ethion se utiliza a menudo en los cítricos y las manzanas, también es usado en el ganado. Ethion es altamente y moderadamente tóxica por vía oral, vía cutánea. Los efectos agudos son típicos de exposición a esos productos y pueden variar en función del grado de exposición. (EXTOXNET, 1996).

### 3.3. MÉTODOS DE ANÁLISIS DEL AGUA RESIDUAL

Los análisis utilizados para caracterizar y determinar la calidad del agua residual de la ciudad de Celica se realizaron en el laboratorio del IQA (Instituto de Química Aplicada) de la Universidad Técnica Particular de Loja. Estos análisis han sido realizados cumpliendo con la norma dependiendo de cada método de referencia y se los ha clasificado en cuatro grupos generales como son: Ensayos Físico-Químicos, Ensayos Bacteriológicos, Ensayos de Metales Pesados, Ensayos de Pesticidas Organoclorados y Organofosforados.



En las tablas 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 y 3.5 se presentan los métodos en función del parámetro de ensayo para cada uno de los grupos con sus respectivos parámetros, tecnología, método de referencia, y equipo a utilizar.

Tabla 3.1. Métodos de Ensayos Físico-Químicos

Parámetro	Unidad	Tecnología	Método de Referencia	Equipo Utilizado
pH		Electroquímica	AOAC 973.41*	pH-metro
Sólidos Disueltos	mg/l	Gravimetría	LIA-TDS-C0150*◆	Conductímetro
Sólidos Totales	mg/l	Gravimetría	LIA-ST-001*◆	Balanza, bureta, etc.
Sólidos en Suspensión	mg/l	Gravimetría	LIA-SS-001*◆	Balanza, bureta, etc.
Nitrógeno Orgánico	mg/l	Gravimetría	LIA-NO-001*◆	Balanza, bureta, etc.
Nitrógeno Amoniacal	mg/l	Espectrofotometría	LIA-HACH-8038*◆	Espectrofotómetro
Nitrógeno de Nitrato	mg/l	Espectrofotometría	LIA-HACH-8171*◆	Espectrofotómetro (DR-2800-DIB)
Nitrógeno de Nitrito	mg/l	Espectrofotometría	LIA-HACH-8507*◆	Espectrofotómetro (DR-2800-DIB)
Cloruro	mg/l	Volumetría (Precipitación)	LIA-CI-001*◆	Balanza, bureta, etc.
Fósforo Orgánico	mg/l	Espectrofotometría	LIA-PO-001*◆	Espectrofotómetro visible
Fósforo Inorgánico	mg/l	Espectrofotometría	LIA-PI-001*◆	Espectrofotómetro visible
Alcalinidad	mg/l	Volumetría (Neutralización)	LIA-AT-002*◆	Balanza, bureta, etc.
Grasas	mg/l	Gravimetría	LIA-G-001*◆	Balanza, bureta, etc.
Carbono Orgánico Total	mg/l	Volumetría	LIA-COT-001*◆	Balanza, bureta, etc.
DBO <sub>5</sub>	mg/l	Espectrofotometría	LIA- nova 002*◆	Espec-Nova-400
DQO	mg/l	Espectrofotometría	LIA- nova 003*◆	Espec-Nova-400
Boro	mg/l	Colorimétrico (Espectrofotometría)	LIA- B- 001*◆	Espectrofotómetro visible

Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos con el alcance de la acreditación del OAE. Los ensayos marcados con (◆) no están incluidos con el alcance de la acreditación del A2LA.

Fuente: Los Autores



**Tabla 3.2. Métodos de Ensayos Microbiológicos**

Parámetro	Unidad	Tecnología	Método de Referencia
Coliformes Totales	ufc/100 ml	Recuento de Colonias	Standard Methods 9222 B *
Echerichia Coli	ufc/100 ml	Recuento de Colonias	Standard Methods 9222 G *
Coliformes Fecales	ufc/100 ml	Recuento de Colonias	Standard Methods 9222 D *

Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos con el alcance de la acreditación del OAE.

**Fuente: Los Autores**

**Tabla 3.3. Métodos de Ensayos de Metales Pesados**

Parámetro	Unidad	Tecnología	Método de Referencia	Equipo Utilizado
Cadmio	mg/l	Espectrofotometría	Absorción Atómica. Llama *◆	Espectrofotómetro de Absorción Atómica
Cromo	mg/l	Espectrofotometría	Absorción Atómica. Llama *◆	Espectrofotómetro de Absorción Atómica
Cobre	mg/l	Espectrofotometría	Absorción Atómica. Llama *◆	Espectrofotómetro de Absorción Atómica
Hierro	mg/l	Espectrofotometría	Absorción Atómica. Llama *◆	Espectrofotómetro de Absorción Atómica
Plomo	mg/l	Espectrofotometría	Absorción Atómica. Llama *◆	Espectrofotómetro de Absorción Atómica
Manganeso	mg/l	Espectrofotometría	Absorción Atómica. Llama *◆	Espectrofotómetro de Absorción Atómica
Mercurio	mg/l	Espectrofotometría	Absorción Atómica. Llama *◆	Espectrofotómetro de Absorción Atómica
Níquel	mg/l	Espectrofotometría	Absorción Atómica. Llama *◆	Espectrofotómetro de Absorción Atómica
Zinc	mg/l	Espectrofotometría	Absorción Atómica. Llama *◆	Espectrofotómetro de Absorción Atómica

Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos con el alcance de la acreditación del OAE.  
Los ensayos marcados con (◆) no están incluidos con el alcance de la acreditación del A2LA.

**Fuente: Los Autores**



**Tabla 3.4. Métodos de Ensayos de Pesticidas Organoclorados Totales**

Parámetro	Unidad	Tecnología	Método de Referencia	Equipo Utilizado
Aldrin	mg/l	Cromatografía	Cromatografía de gases/ECD *◆	Cromatógrafo de gases
Alfa HCH	mg/l	Cromatografía	Cromatografía de gases/ECD *◆	Cromatógrafo de gases
Beta HCH	mg/l	Cromatografía	Cromatografía de gases/ECD *◆	Cromatógrafo de gases
Delta HCH	mg/l	Cromatografía	Cromatografía de gases/ECD *◆	Cromatógrafo de gases
HCH	mg/l	Cromatografía	Cromatografía de gases/ECD *◆	Cromatógrafo de gases
Beta endosulfan	mg/l	Cromatografía	Cromatografía de gases/ECD *◆	Cromatógrafo de gases
Dieldrin	mg/l	Cromatografía	Cromatografía de gases/ECD *◆	Cromatógrafo de gases
Endrin	mg/l	Cromatografía	Cromatografía de gases/ECD *◆	Cromatógrafo de gases
Heptacloro	mg/l	Cromatografía	Cromatografía de gases/ECD *◆	Cromatógrafo de gases
Metoxicloro	mg/l	Cromatografía	Cromatografía de gases/ECD *◆	Cromatógrafo de gases
Mixer	mg/l	Cromatografía	Cromatografía de gases/ECD *◆	Cromatógrafo de gases
2-4 DDE	mg/l	Cromatografía	Cromatografía de gases/ECD *◆	Cromatógrafo de gases
2-4 DDT	mg/l	Cromatografía	Cromatografía de gases/ECD *◆	Cromatógrafo de gases
4-4 DDE	mg/l	Cromatografía	Cromatografía de gases/ECD *◆	Cromatógrafo de gases
4-4 DDT	mg/l	Cromatografía	Cromatografía de gases/ECD *◆	Cromatógrafo de gases

Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos con el alcance de la acreditación del OAE. Los ensayos marcados con (◆) no están incluidos con el alcance de la acreditación del A2LA. ECD: Detector de captura de electrones.

**Fuente: Los Autores**

**Tabla 3.5. Métodos de Ensayos de Pesticidas Organofosforados Totales**

Parámetro	Unidad	Tecnología	Método de Referencia	Equipo Utilizado
Azinfos etil	mg/l	Cromatografía	Cromatografía de gases/NPD *◆	Cromatógrafo de gases
Azinfos metil	mg/l	Cromatografía	Cromatografía de gases/NPD *◆	Cromatógrafo de gases
Carbofenotion	mg/l	Cromatografía	Cromatografía de gases/ NPD *◆	Cromatógrafo de gases
Clorpirifos	mg/l	Cromatografía	Cromatografía de gases/ NPD *◆	Cromatógrafo de gases
Clorpirifos metil	mg/l	Cromatografía	Cromatografía de gases/ NPD *◆	Cromatógrafo de gases



Parámetro	Unidad	Tecnología	Método de Referencia	Equipo Utilizado
Ethion	mg/l	Cromatografía	Cromatografía de gases/ NPD *◆	Cromatógrafo de gases
Pirazofos	mg/l	Cromatografía	Cromatografía de gases/ NPD *◆	Cromatógrafo de gases
Pirimifos metil	mg/l	Cromatografía	Cromatografía de gases/ NPD *◆	Cromatógrafo de gases
Tetraclorvinfos	mg/l	Cromatografía	Cromatografía de gases/ NPD *◆	Cromatógrafo de gases

Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos con el alcance de la acreditación del OAE.  
Los ensayos marcados con (◆) no están incluidos con el alcance de la acreditación del A2LA.  
NPD: Detector de nitrógeno-fosforados.

Fuente: Los Autores

### 3.4. MUESTREO

El muestreo de agua residual en la ciudad de Celica, se realiza asegurando que las mismas representen lo mejor posible las características del efluente total que se descarga por el pozo que se muestrea. Se ha tomado todas las precauciones posibles para que no se produzca ninguna alteración de la muestras de agua residual entre el momento de su toma, transporte y posterior análisis. Los datos que se deriven de los análisis de dichas muestras serán, en definitiva, la base para definir el tipo de agua residual.

#### 3.4.1. PROGRAMA DE MUESTREO

El programa de muestreo se ha desarrollado siguiendo el procedimiento descrito en la Norma Mexicana NMX-AA-003-1980 utilizado por el laboratorio del IQA (Instituto de Química Aplicada) de la Universidad Técnica Particular de Loja, ya que en la actualidad no existe una norma ecuatoriana establecida. El procedimiento a seguir a fin de asegurar que la muestra sea representativa es el siguiente:

##### 3.4.1.1. UBICACIÓN DEL LUGAR DE MUESTREO

Se debe considerar un sitio que sea representativo para la toma de muestras del agua residual, de manera que debe ser un lugar situado antes de su vertido





al terreno o al cuerpo receptor. Este lugar debe ser de fácil acceso para el traslado del equipo de muestreo especialmente el de refrigeración, siendo necesaria para después de la toma de muestras su conservación y evitar su alteración, y para su posterior transporte al laboratorio de análisis.

El pozo del muestreo está ubicado en las calles los Cedros y Manuel Benítez, el cual fue escogido por su fácil acceso y por cuanto en este convergen todas las aguas provenientes de los colectores principales y secundarios, representando así las aguas residuales del sistema existente.

La Figura 3.1 muestra el acceso al sitio de descarga del agua residual en donde se realizó el muestreo.

**Figura 3.1. Vía de acceso al sitio de descarga y pozo de muestreo**



**Fuente: Los Autores**

#### **3.4.1.2. FRECUENCIA DE MUESTREO**

Se realizaron un total de seis muestreos, cada uno de estos se efectuó en un día diferente de la semana, con la finalidad de determinar las distintas



concentraciones de contaminantes dada la variabilidad de las actividades que se realizan a lo largo de la semana.

En la tabla 3.6 se presenta los muestreos del agua residual de la ciudad de Celica con sus respectivos días y fechas, así como también la frecuencia.

**Tabla 3.6 Muestreos del agua residual de la ciudad de Celica**

MUESTREO	DÍA	FECHA	FRECUENCIA
1M (Primer Muestreo)	Jueves	5 de Febrero de 2009	7h00 a 18h00
2M (Segundo Muestreo)	Sábado	4 de Abril de 2009	7h00 a 18h00
3M (Tercer Muestreo)	Viernes	22 de Mayo de 2009	6h00 a 18h00
4M (Cuarto Muestreo)	Miércoles	10 de Junio de 2009	6h00 a 18h00
5M (Quinto Muestreo)	Domingo	19 de Julio de 2009	6h00 a 18h00
6M (Sexto muestreo)	Lunes	6 de Noviembre de 2009	6h00 a 18h00

**Fuente: Los Autores**

### 3.4.1.3. MATERIAL Y EQUIPO

Para la obtención de muestras representativas se requiere de materiales y equipos que estarán en función de las condiciones físicas del lugar y de los parámetros a analizar.

Los materiales necesarios para la campaña de muestreo son como siguen:

- ❖ Mascarilla y guantes para el aforo y manipulación de las muestras.
- ❖ Botas.
- ❖ 1 Jarra.
- ❖ Cinta para etiquetar las muestras y un esferográfico.
- ❖ Herramientas manuales: pala y varilla para abrir las tapas de los pozos de alcantarillado.
- ❖ 4 Recipientes pequeños esterilizados para análisis bacteriológicos.
- ❖ 12 botellas plásticas para análisis físico -químicos.
- ❖ 12 botellas ámbar para análisis de metales pesados y pesticidas.
- ❖ 2 muestreadores metálicos.
- ❖ 1 Equipo de refrigeración.



#### **3.4.1.4. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE MUESTRAS**

Antes de salir a realizar el muestreo previamente se esterilizan los recipientes, lavándolos con una solución de permanganato de potasio y ácido sulfúrico, enjuagándolos finalmente, con abundante agua destilada.

Previo a la recolección de la muestra los recipientes se etiquetaron y se homogenizaron, evitando que el agua se contamine accidentalmente durante el muestreo. La información de la etiqueta se detallará más adelante con los datos de campo recogidos con cada muestra.

La toma de muestras se la realizó durante las horas de luz, separadas por intervalos de una hora iniciando a las 06h00 hasta las 18h00, se recolectaron dos muestras por cada hora, una en botella plástica de 3 litros para análisis físico-químicos y la otra en botella ámbar de 2 litros para análisis de metales pesados y pesticidas, las muestras para análisis bacteriológicos se realizaron en las horas pico en recipientes de 150 ml en las siguientes horas: 10h00, 12h00, 15h00 y 18h00.

#### **3.4.1.5. TIPO DE MUESTREO**

El muestreo para la caracterización de las aguas residuales de la ciudad de Celica fue del tipo de muestras simples es decir se tomó la muestra del efluente en un punto y en un momento determinado.

#### **3.4.1.6. TEMPERATURA**

En cada muestra se tomó la temperatura al momento de su recolección, los datos se detallan en la tabla 3.7. La evolución de la temperatura con respecto al tiempo se presenta en la figura 3.2.

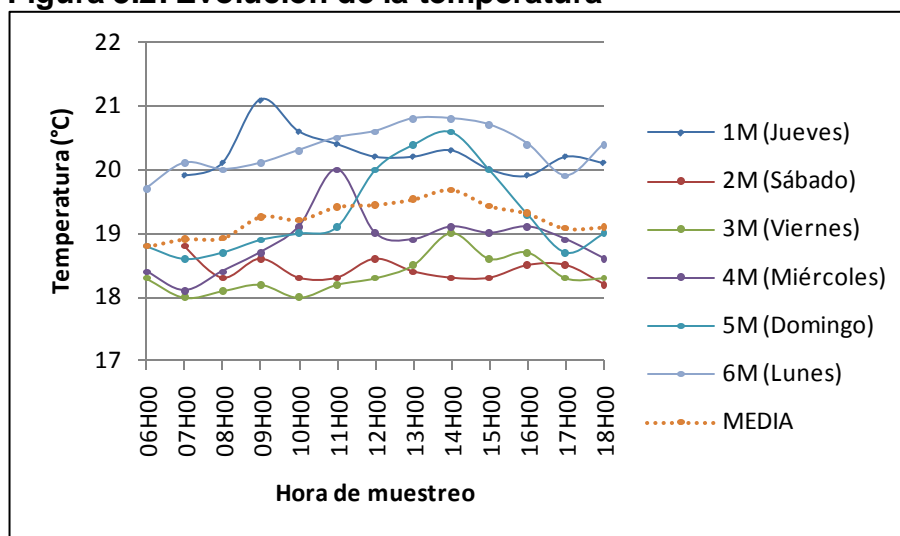


Tabla 3.7. Temperatura del agua residual de la ciudad de Celica

Nº Muestra	Hora	Temperatura °C					
		1M	2M	3M	4M	5M	6M
1	06h00			18,3	18,4	18,8	19,7
2	07h00	19,9	18,8	18,0	18,1	18,6	20,1
3	08h00	20,1	18,3	18,1	18,4	18,7	20,0
4	09h00	21,1	18,6	18,2	18,7	18,9	20,1
5	10h00	20,6	18,3	18,0	19,1	19,0	20,3
6	11h00	20,4	18,3	18,2	20,0	19,1	20,5
7	12h00	20,2	18,6	18,3	19,0	20,0	20,6
8	13h00	20,2	18,4	18,5	18,9	20,4	20,8
9	14h00	20,3	18,3	19,0	19,1	20,6	20,8
10	15h00	20,0	18,3	18,6	19,0	20,0	20,7
11	16h00	19,9	18,5	18,7	19,1	19,3	20,4
12	17h00	20,2	18,5	18,3	18,9	18,7	19,9
13	18h00	20,1	18,2	18,3	18,6	19,0	20,4
		TEMP. MÁX: 19,7 °C			TEMP. MÍN: 18,8 °C		

Fuente: Los Autores

Figura 3.2. Evolución de la temperatura



Fuente: Los Autores

El resultado del análisis cuantitativo estadístico presentó una temperatura media de 19,2 °C, con variaciones entre 18,8 a 19,7 °C.



### 3.4.1.7. TRANSPORTE, PRESERVACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

Para el correcto transporte y preservación de las muestras, éstas se almacenaron en un equipo de refrigeración, manteniéndolas a una temperatura de 4°C según la Norma Mexicana NMX-AA-003-1980, sin provocar una mínima alteración desde su origen hasta el laboratorio de análisis, tratando de conservar al máximo sus propiedades características.

### 3.4.1.8. DATOS DE CAMPO RECOGIDOS CON CADA MUESTRA

Cada muestra se ha etiquetado indicando claramente el nombre del muestreador, el número de la muestra, la fecha, la hora, el sitio de la toma, el origen del agua residual y condiciones ambientales del momento. A continuación se presenta un ejemplo de una etiqueta tomada en campo.

<b>Nombre del Muestreador:</b>	Eddy Patricio Castillo Elizalde
<b>Número de muestra:</b>	12
<b>Fecha:</b>	5 de febrero de 2009
<b>Hora:</b>	17h00
<b>Sitio de la toma:</b>	Celica
<b>Origen del agua residual:</b>	Pozo de la descarga
<b>Condición Ambiental:</b>	Nublado

## 3.5. CAUDAL

Moreno M. (1991) expone en su estudio que “Uno de los datos fundamentales a la hora de diseñar una planta de tratamiento es la cantidad de vertido por unidad de tiempo que va a llegar a la instalación”. En las pequeñas comunidades existen variaciones tanto en el caudal como en la carga del agua residual.



Otro aspecto muy importante en el proyecto de una planta depuradora es la estacionalidad del caudal, es decir, si la cantidad de agua residual que llega a la planta por día es la misma durante todo el año o varía de una época a otra.

Además de estas variaciones estacionales que pueden o no presentarse dependiendo de la zona, el caudal presenta siempre variaciones diarias, ya que el uso es mucho menor durante la noche y es máximo en la parte central del día. La variación de estos caudales durante el día o la noche se debe a los hábitos de uso del agua que se da para distintos fines e infraestructura de la población.

### **3.5.1. AFORO DEL CAUDAL**

El aforo del caudal se ha realizado aproximadamente a 100 metros del pozo de descarga, donde se vierten de manera regular las aguas residuales generadas por el alcantarillado municipal. La medición del caudal se efectuó utilizando el método Parshall, debido a que no se pudo aplicar otras técnicas de aforo dadas las condiciones de deterioro que presentaba el pozo de descarga y por el relieve del terreno.

Los pasos a seguir antes de hacer la medición del caudal son:

- ❖ Adecuar el terreno para instalar la canaleta Parshall, de manera que todo el caudal sea encausado y fluya por ella.
- ❖ Comprobar que la burbuja del nivel incorporado en la parte superior del instrumento Parshall, quede centrado para mantenerla horizontal en el terreno.
- ❖ Una vez que se ha realizado los dos puntos anteriores, se procedió a registrar las lecturas piezométricas en la salida de la canaleta, durante las horas de luz en intervalos de una hora, iniciando a las 06h00 hasta las 18h00.



- ❖ Finalmente, los datos registrados de las diferentes lecturas piezométricas sirven para determinar los caudales mediante una gráfica correspondiente a la canaleta que es anexada por su fabricante.

La Figura 3.3 muestra la adecuación de la canaleta Parshall y la observación de las lecturas piezométricas para ser registradas.

**Figura 3.3. Adecuación de la canaleta y lecturas piezométricas**



**Fuente: Los Autores**

Es importante mencionar que los aforos se efectuaron al igual que la toma de muestras, cada hora. Los caudales de los aforos realizados en la ciudad de Celica se presentan en la tabla 3.8.



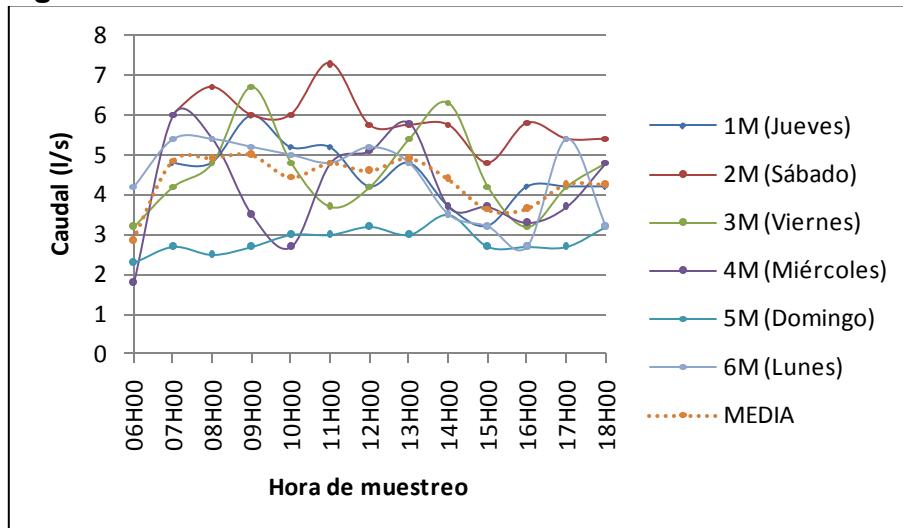
Tabla 3.8. Caudales del agua residual de la ciudad de Celica

Nº Muestra	Hora	Caudal (lit/s)					
		1M	2M	3M	4M	5M	6M
1	06h00			3,20	1,80	2,30	4,20
2	07h00	4,80	6,00	4,20	6,00	2,70	5,40
3	08h00	4,80	6,70	4,80	5,40	2,50	5,40
4	09h00	6,00	6,00	6,70	3,50	2,70	5,20
5	10h00	5,20	6,00	4,80	2,70	3,00	5,00
6	11h00	5,20	7,30	3,70	4,80	3,00	4,80
7	12h00	4,20	5,75	4,20	5,10	3,20	5,20
8	13h00	4,80	5,75	5,40	5,80	3,00	4,80
9	14h00	3,70	5,75	6,30	3,70	3,50	3,50
10	15h00	3,20	4,80	4,20	3,70	2,70	3,20
11	16h00	4,20	5,80	3,20	3,30	2,70	2,70
12	17h00	4,20	5,40	4,20	3,70	2,70	5,40
13	18h00	4,20	5,40	4,80	4,80	3,20	3,20
		<b>CAUDAL PICO: 5,02 lit/s</b>			<b>CAUDAL MÍNIMO: 2,88 lit/s</b>		

Fuente: Los Autores

La evolución de los caudales que han presentado durante el proceso de muestreo se presenta en la figura 3.4. El caudal pico registrando es de 5,02 lit/s y un caudal mínimo de 2,88 lit/s, así como también un promedio del caudal de 4,36 lit/s.

Figura 3.4. Evolución del caudal



Fuente: Los Autores





### **3.6. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE LABORATORIO DE LAS AGUAS RESIDUALES**

Realizado el análisis de laboratorio de las aguas residuales de la ciudad de Celica se ha determinado la concentración de los parámetros físico-químicos, bacteriológicos, metales pesados y pesticidas organoclorados y organofosforados, datos que nos permiten caracterizar el agua residual. En consecuencia, en este apartado se analizará cada uno de los parámetros comparando con la normativa del Ministerio de Medio Ambiente del Ecuador, Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua y se verificará si se encuentra o no dentro de los límites permisibles para su posible descarga final a un cuerpo de agua dulce o para reuso agrícola.

Para el análisis e interpretación de resultados de laboratorio se ha utilizado métodos estadísticos descriptivos como son la media y la desviación estándar, así como también la elaboración e interpretación de gráficas de cada uno de los parámetros para observar su evolución con respecto al tiempo.

Los resultados de análisis de laboratorio de agua expuestos en este capítulo se encuentran detallados en el Anexo 3 – A y en lo correspondiente al análisis estadístico y evolución de los mismos se encuentran en el Anexos 3 – B.

#### **3.6.1. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE ENSAYOS FÍSICO-QUÍMICOS**

La tabla 3.9 resume los resultados estadísticos obtenidos de los parámetros físico-químicos realizados en laboratorio.



**Tabla 3.9. Parámetros de calidad del agua residual de la ciudad de Celica. Características Físico-Químicas.**

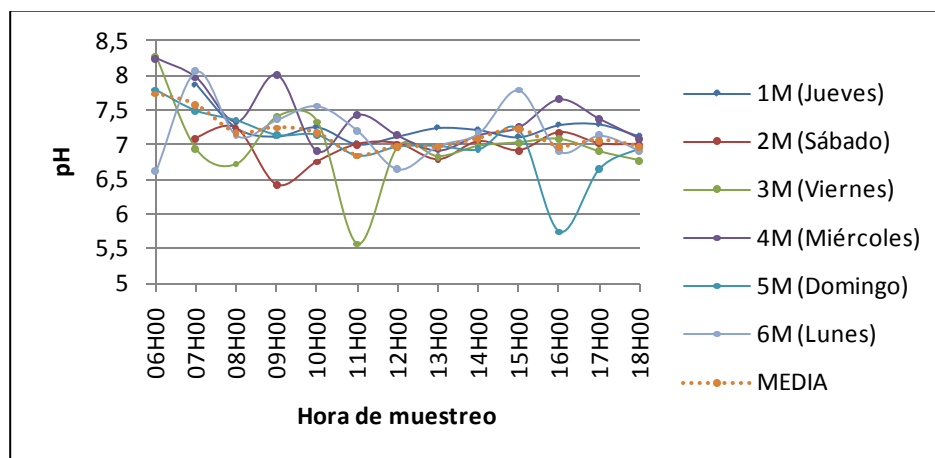
Parámetro	Unidad	Nº	Máxima	Media	Mínima	D. S.
pH		76	7,73	7,15	6,84	0,25
Sólidos Totales	mg/l	76	726,50	528,51	421,00	82,16
Sólidos Disueltos	mg/l	76	404,00	246,14	184,53	72,78
Sólidos en Suspensión	mg/l	76	163,83	132,61	115,50	14,25
Nitrógeno Orgánico	mg/l	76	44,84	22,09	13,54	8,28
Nitrógeno Amoniacal	mg/l	76	44,17	20,39	10,61	11,13
Nitrógeno de Nitrato	mg/l	76	3,59	3,02	2,28	0,41
Nitrógeno de Nitrito	mg/l	76	0,41	0,13	0,04	0,11
Cloruro	mg/l	76	80,50	49,71	37,75	13,93
Fósforo Orgánico	mg/l	76	1,68	0,87	0,60	0,29
Fósforo Inorgánico	mg/l	76	6,59	3,40	2,22	1,23
Alcalinidad	mg/l	76	284,33	168,04	130,33	50,93
Grasas	mg/l	76	60,33	48,21	38,67	6,27
Carbono Orgánico Total	mg/l	76	302,82	195,16	143,92	39,6
DBO <sub>5</sub>	mg/l	76	334,67	238,93	195,16	35,38
DQO	mg/l	76	752,33	512,42	407,33	84,54
Boro	mg/l	64	1,19	0,71	0,47	0,23

**Nº: Número de muestras ensayadas y D.S: Desviación Estándar**

**Fuente: Los Autores**

El resultado de la concentración de pH presenta una media de 7,15, con variaciones de pH comprendido entre 6,84 a 7,73, lo cual nos indica que se trata de un agua residual de carácter básico que puede ser tratada mediante procesos biológicos. El comportamiento del pH con respecto al tiempo se expone en la grafica a continuación.

**Figura 3.5. Evolución del pH**

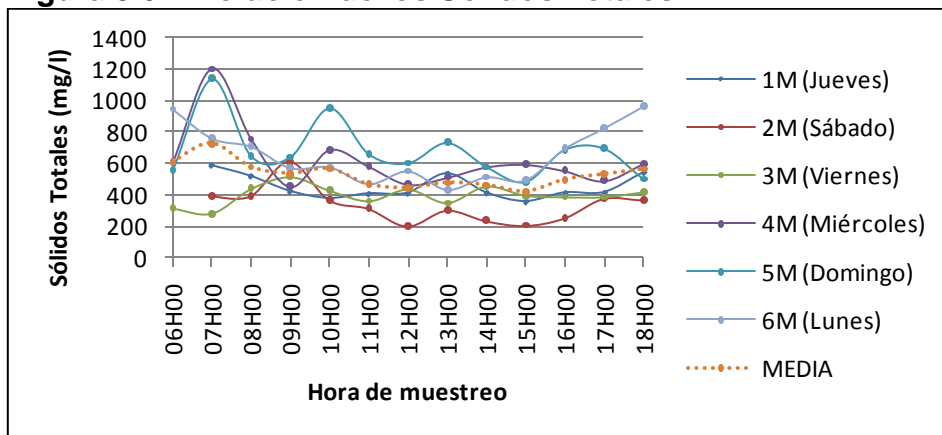


**Fuente: Los Autores**



La concentración de sólidos totales presenta una media de 528,51 mg/l y se encuentra entre un rango de 421,00 a 726,50 mg/l, lo que confirma que se trata de un agua residual urbana basándonos en la bibliografía, en consecuencia no será una limitante durante el proceso de diseño ya que el máximo permisible es 1600 mg/l. La variación de este parámetro con respecto al tiempo se presenta en la gráfica a continuación.

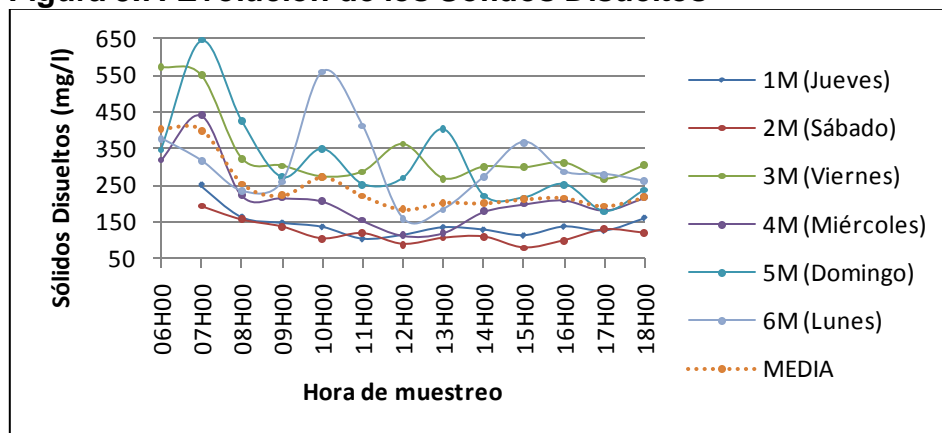
**Figura 3.6. Evolución de los Sólidos Totales**



Fuente: Los Autores

Los sólidos disueltos presentan una concentración media de 246,14 mg/l y un rango entre 184,53 a 404,00 mg/l. La concentración de este constituyente con respecto al tiempo se presenta en la figura siguiente.

**Figura 3.7. Evolución de los Sólidos Disueltos**

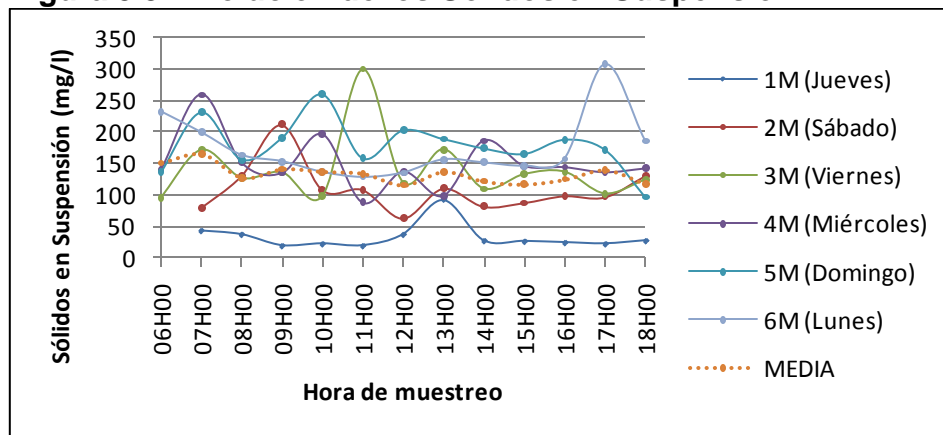


Fuente: Los Autores



El valor promedio de los sólidos en suspensión es de 132,61 mg/l oscilando en un rango de 115,50 a 163,83 mg/l, por lo tanto se cree conveniente dar un tratamiento previo antes de ser reutilizada el agua o descargada a un cuerpo receptor, ya que el límite citado para agua urbana de contaminación baja de este parámetro es de 100 mg/l. La tendencia de este parámetro con respecto al tiempo se ve en la figura que a continuación se expone.

**Figura 3.8. Evolución de los Sólidos en Suspensión**

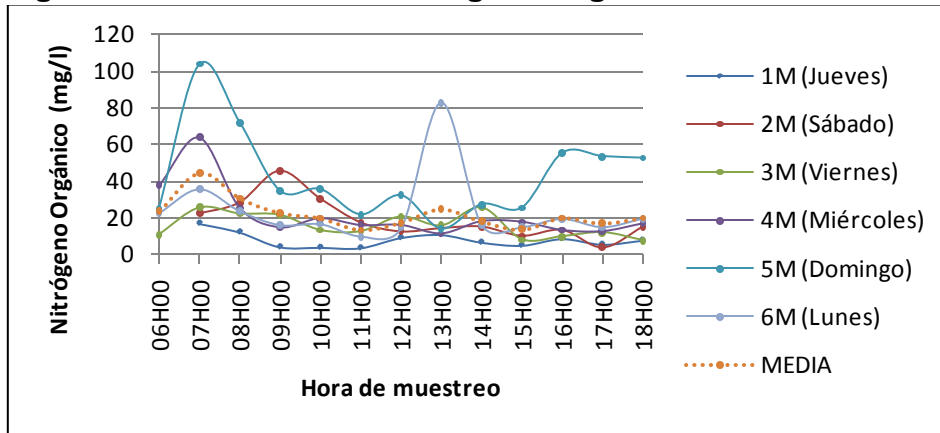


**Fuente: Los Autores**

El nitrógeno orgánico presenta una concentración promedio de 22,09 mg/l con un valor mínimo de 13,54 mg/l y un máximo de 44,84 mg/l. Los resultados evidencian que el agua residual con respecto al máximo tiene una concentración moderadamente elevada respecto al citado que es de 20 mg/l en las aguas residuales brutas, y su media relativamente igual. La figura que a continuación se expone presenta la evolución de este parámetro con respecto al tiempo.



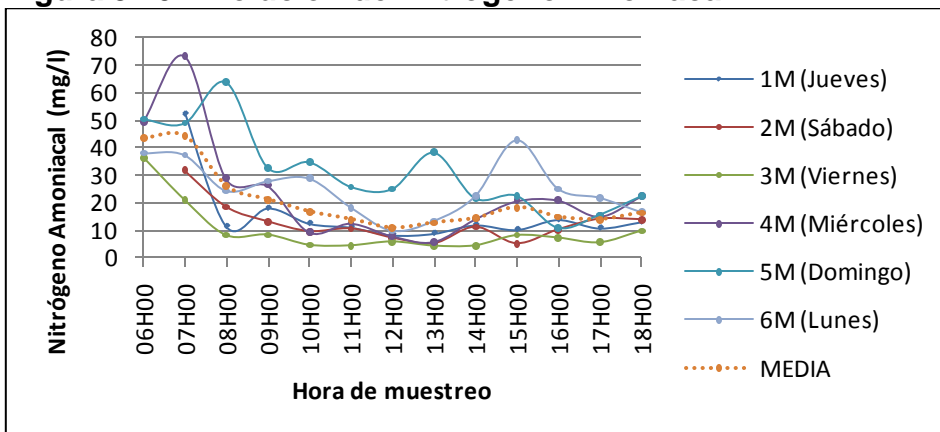
**Figura 3.9. Evolución del Nitrógeno Orgánico**



Fuente: Los Autores

El nitrógeno amoniacal presenta concentraciones en un rango amplio de 10,61 a 44,17 mg/l con respecto al límite citado, con un promedio de 20,39 mg/l. La figura que a continuación se expone presenta su evolución con respecto al tiempo, también nos evidencia que las concentraciones son mayores en las horas de la mañana, esto puede ser debido a que las personas con frecuencia al levantarse utilizan los baños contribuyendo con urea a través de la orina.

**Figura 3.10. Evolución del Nitrógeno Amoniacal**



Fuente: Los Autores

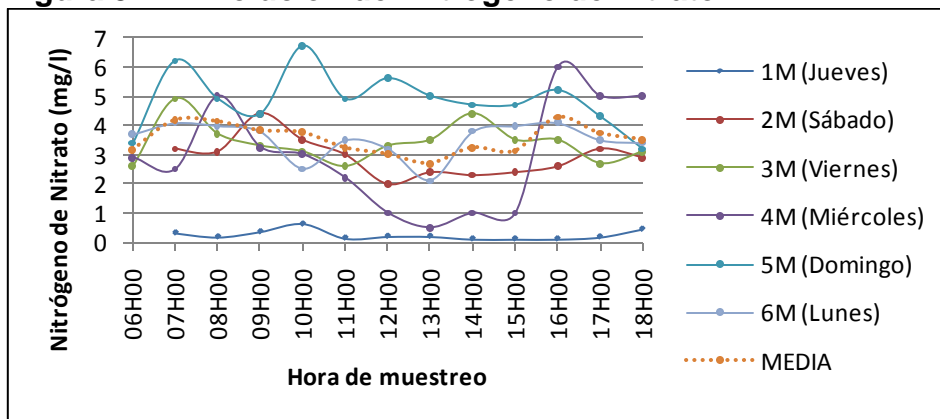
En el proceso de diseño lo que se considera es la concentración de nitrógeno total, que resulta de sumar las máximas del nitrógeno orgánico y el nitrógeno amoniacal obteniéndose 89,01 mg/l lo que presenta un incremento



considerable, ya que según la Norma de Calidad Ambiental para un cuerpo de agua dulce el límite máximo permisible es de 15 mg/l.

La concentración promedio de nitrógeno de nitrato fue de 3,02 mg/l, con un valor mínimo de 2,28 mg/l y máximo de 3,59 mg/l, lo que implica un grado de contaminación bajo de este constituyente. La tendencia de este elemento con respecto al tiempo se presenta a la figura siguiente.

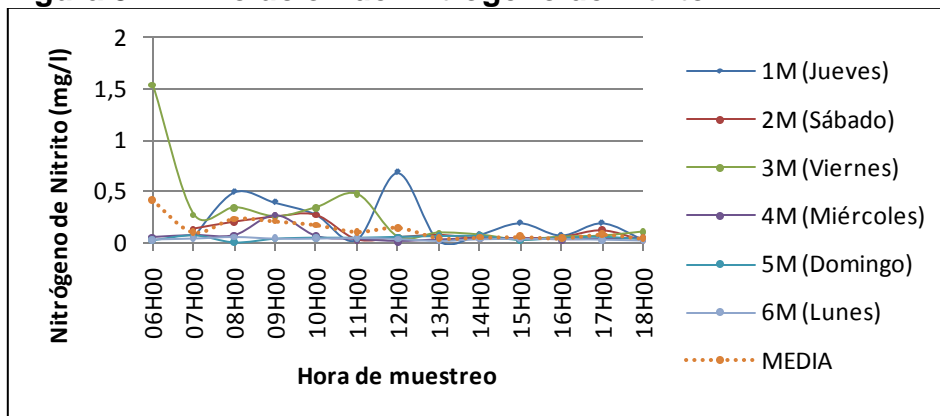
**Figura 3.11. Evolución del Nitrógeno de Nitrato**



Fuente: Los Autores

El nitrógeno de nitrito presenta una concentración media de 0,13 mg/l y un rango entre 0,04 a 0,41 mg/l. La tendencia de la concentración de este constituyente con respecto al tiempo se presenta en la figura siguiente.

**Figura 3.12. Evolución del Nitrógeno de Nitrito**



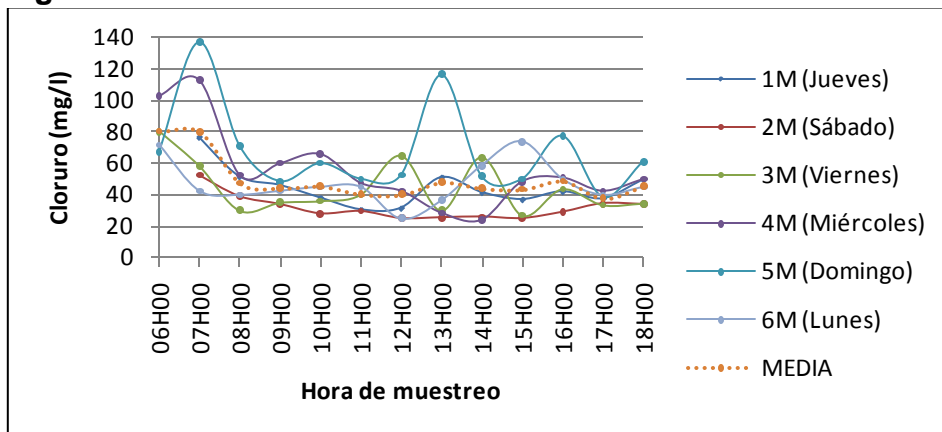
Fuente: Los Autores



En el proceso de diseño lo que se considera es la concentración de Nitratos + nitritos que resulta de sumar las máximas de los dos compuestos obteniéndose 4 mg/l, lo que nos indica que es un valor por debajo al requerido por la Norma ya que el límite máximo permisible es de 10 mg/l. Es importante el control de este parámetro si se va a reutilizar el agua para riego, ya que existe ganado que posiblemente padece en estas tierras irrigadas.

La concentración media del cloruro es de 49,71 mg/l y un rango entre 37,75 a 80,50 mg/l, su concentración es relativamente baja respecto al límite máximo permisible de 1000 mg/l. La evolución con respecto al tiempo se presenta en la siguiente figura.

**Figura 3.13. Evolución del Cloruro**

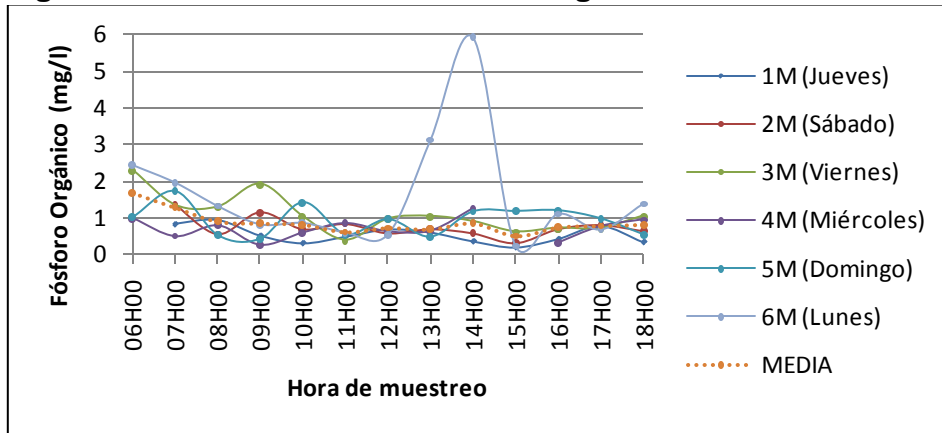


**Fuente: Los Autores**

El fósforo orgánico presenta una concentración en un rango de 0,51 a 1,68 mg/l y una media de 0,87 mg/l. Si nos referimos a la fuente bibliográfica y si duplicamos o triplicamos los valores obtenidos, los validamos como aceptables dentro de los rangos. La tendencia del fósforo orgánico con respecto al tiempo se muestra en la figura siguiente.



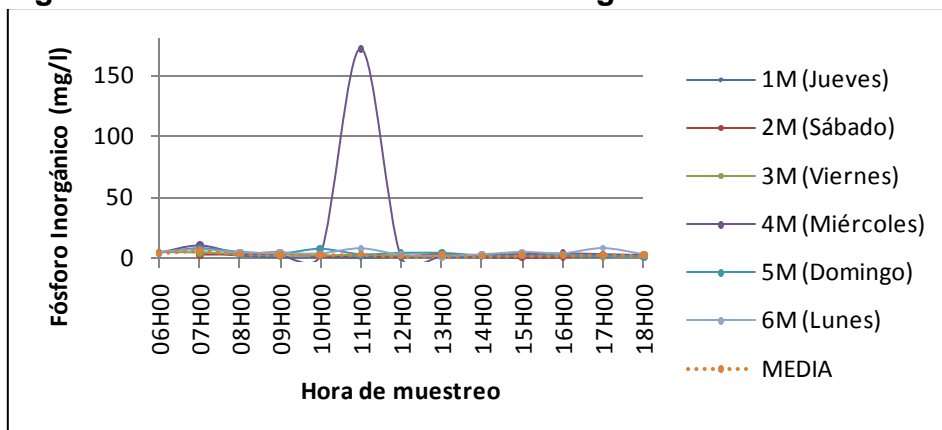
**Figura 3.14. Evolución del Fósforo Orgánico**



**Fuente: Los Autores**

El promedio del fósforo orgánico fue de 3,40 mg/l, con un mínimo de 2,22 mg/l y máximo de 6,59 mg/l. Cabe señalar que en el cuarto muestreo a las 11h00 se presentó una descarga puntual con presencia de espuma en el agua residual al momento de muestrear, alterando en el análisis su resultado registrándose un valor muy elevado, causa por la cual este valor fue eliminado. La evolución del fósforo orgánico respecto al tiempo se presenta en la siguiente figura.

**Figura 3.15. Evolución del Fósforo Inorgánico**



**Fuente: Los Autores**

En el proceso de diseño se considera la concentración de Fósforo Total que resulta de sumar las máximas del fósforo orgánico e inorgánico obteniéndose

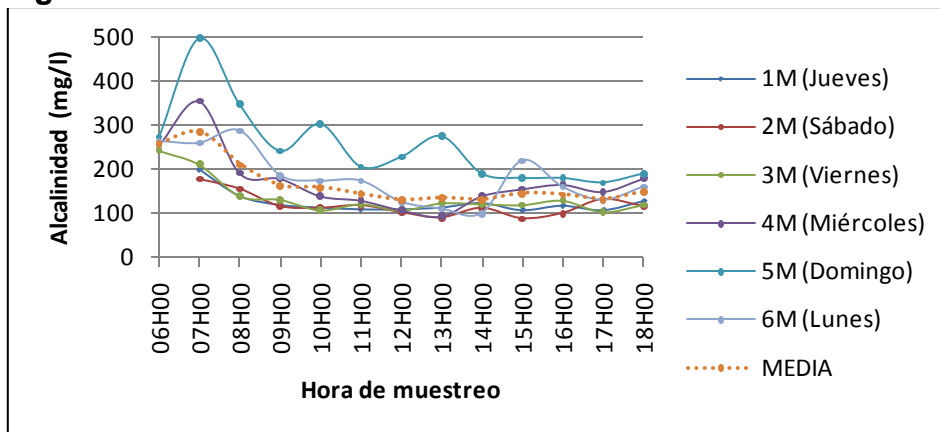




8,27 mg/l, lo que indica que es un valor por debajo al requerido por la Norma de Calidad Ambiental para descarga a un cuerpo de agua dulce ya que el límite máximo permisible es de 10 mg/l.

La alcalinidad presenta una media de 168,04 mg/l y un rango de 130,33 a 284,33 mg/l, esto nos indica que se trata de un agua residual de concentración alta basándonos en la bibliografía, por lo tanto se debe tomar en consideración el control de este parámetro. Su variación con respecto al tiempo se ilustra en la siguiente figura.

**Figura 3.16. Evolución de la Alcalinidad**

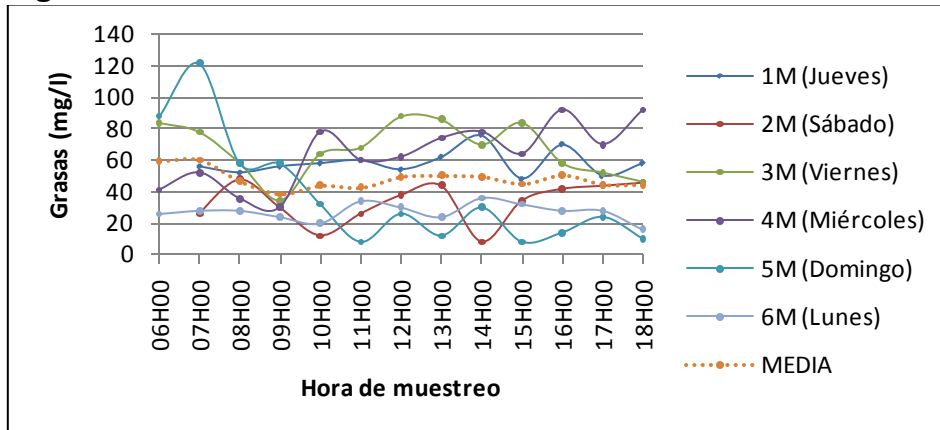


**Fuente: Los Autores**

La concentración de grasas varía entre 38,67 a 60,33 mg/l, con una media de 48,21 mg/l, lo que nos indica que excede considerablemente respecto al límite máximo permisible que es de 0,3 mg/l, por lo tanto este parámetro debe ser considerado significativamente en su remoción. La evolución de este parámetro con respecto al tiempo se expone en la figura a continuación.



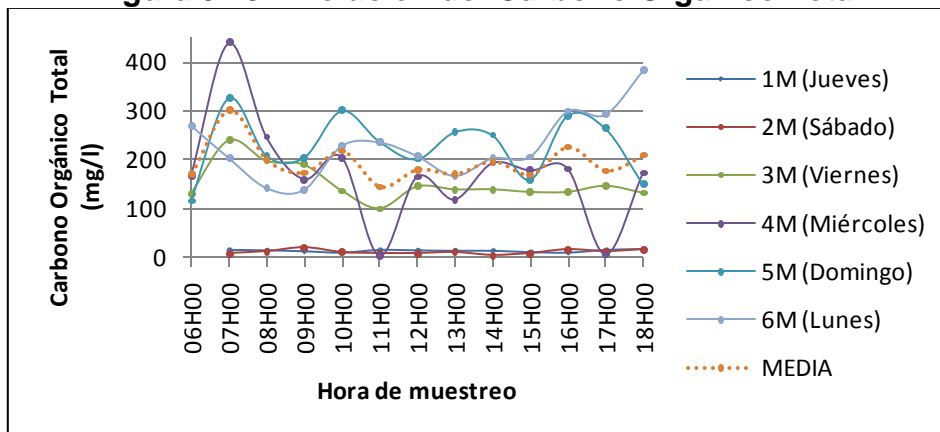
Figura 3.17. Evolución de las Grasas



Fuente: Los Autores

La concentración de carbono orgánico total se encuentra en un intervalo de 143,92 a 302, 82 mg/l, presentando una media de 195,16 mg/l. El comportamiento de este parámetro con respecto al tiempo se presenta en la figura siguiente.

Figura 3.18. Evolución del Carbono Orgánico Total

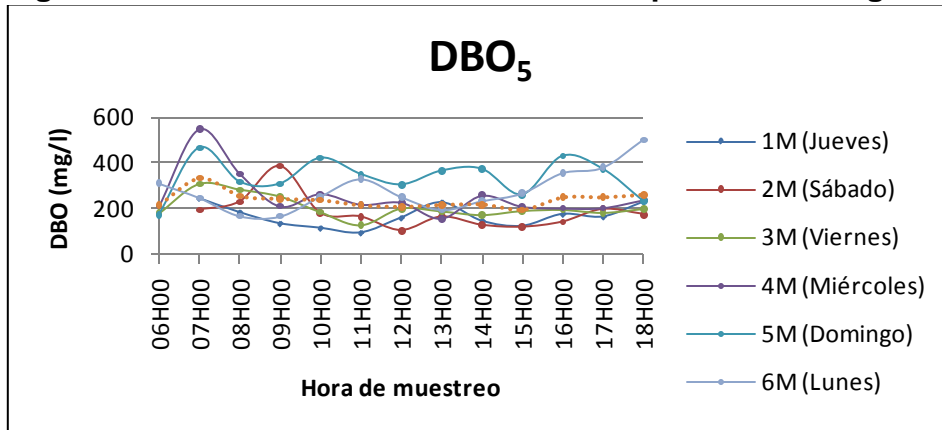


Fuente: Los Autores

La concentración de  $DBO_5$  se encuentra en un intervalo de 195,16 a 334,67 mg/l, con una media de 238, 93 mg/l, este parámetro supera el límite máximo permisible de 100 mg/l, lo que significa que existen elevadas concentraciones de materia orgánica biodegradable. La evolución de este parámetro con respecto al tiempo se expone en la figura a continuación.



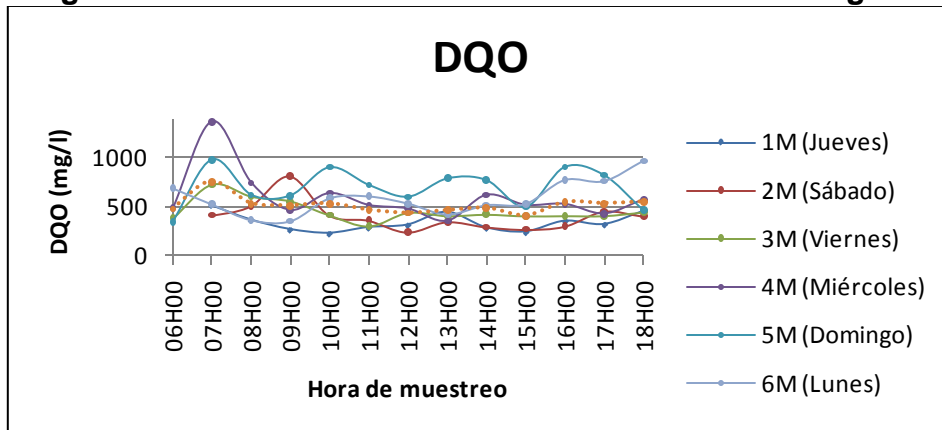
Figura 3.19. Evolución de la Demanda Bioquímica de Oxígeno



Fuente: Los Autores

La DQO presenta concentraciones en un rango amplio de 407,33 a 752,33 mg/l, con un promedio de 512,42 mg/l, la concentración de este parámetro supera el límite máximo permisible de 250 mg/l, lo que significa que se requiere de un tratamiento efectivo para su remoción. La tendencia de este parámetro con respecto al tiempo se expone en la figura a continuación.

Figura 3.20. Evolución de la Demanda Química de Oxígeno

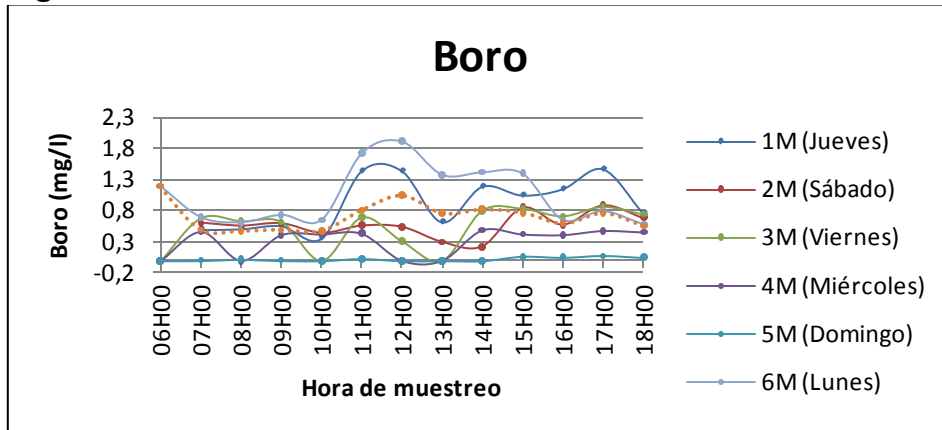


Fuente: Los Autores

El boro se encuentra en rango de 0,71 a 1,19mg/l, con una media de 0,71 mg/l, este parámetro cae por debajo del límite máximo permisible de 2,0 mg/l. La evolución de este parámetro se presenta en la siguiente figura.



Figura 3.21. Evolución del Boro



Fuente: Los Autores

### 3.6.2. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE ENSAYOS BACTERIOLÓGICOS

La tabla 3.10 resume los resultados estadísticos obtenidos de los parámetros microbiológicos realizados en laboratorio.

Tabla 3.10 Parámetros de calidad del agua residual de la ciudad de Celica. Características Microbiológicas

Constituyente	Unidad	Nº	Máxima	Media	Mínima	D. S.
Coliformes Totales	ufc/100 ml	24	8,37E+07	6,45E+07	4,98E+07	1,25E+07
Echerichia Coli	ufc/100 ml	24	3,05E+07	2,66E+07	2,34E+07	2,51E+06
Coliformes Fecales	ufc/100 ml	24	4,07E+07	3,46E+07	2,83E+07	4,02E+06

Nº: Número de muestras ensayadas y D.S: Desviación Estándar

Fuente: Los Autores

La Norma de Calidad Ambiental para Descarga de Efluentes: Recurso Agua no establece un límite máximo permisible para estos parámetros pero sí sugiere una remoción mayor al 99,9%.

### 3.6.3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE ENSAYOS DE METALES PESADOS

La tabla 3.11 resume los resultados estadísticos obtenidos de los parámetros microbiológicos realizados en laboratorio.



Tabla 3.11 Parámetros de calidad del agua residual de la ciudad de Celica. Características de Metales Pesados

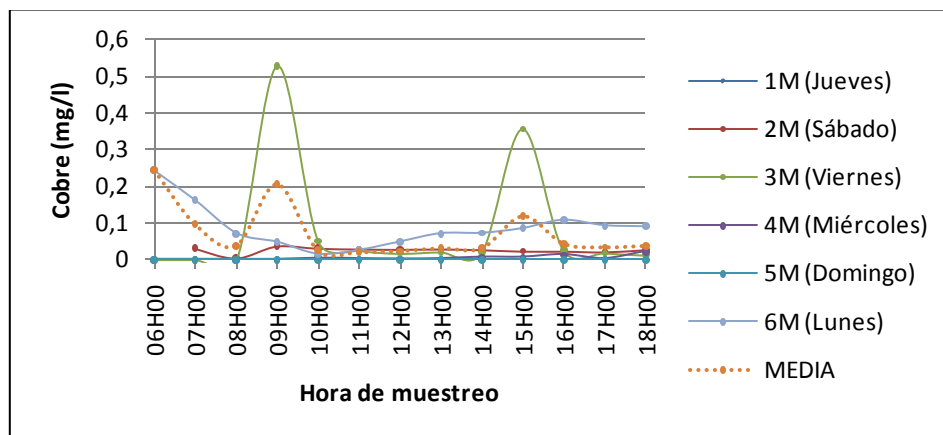
Constituyente	Unidad	Nº	Máxima	Media	Mínima	D. S.
Cobre	mg/l	44	0,243	0,072	0,020	0,073
Hierro	mg/l	76	0,952	0,819	0,667	0,092
Plomo	mg/l	68	0,055	0,024	0,013	0,013
Manganeso	mg/l	76	0,061	0,048	0,040	0,047
Zinc	mg/l	53	0,233	0,090	0,033	0,067

**Nº: Número de muestras ensayadas y D.S: Desviación Estándar**

Fuente: Los Autores

La concentración media de cobre es 0,072 mg/l y se presenta un rango de 0,020 y 0,243 mg/l, lo que indica que este parámetro no es un limitante en el proceso de diseño ya que el límite máximo permisible es de 2,0 mg/l. La evolución de este parámetro respecto al tiempo se presenta a continuación.

Figura 3.22. Evolución del Cobre

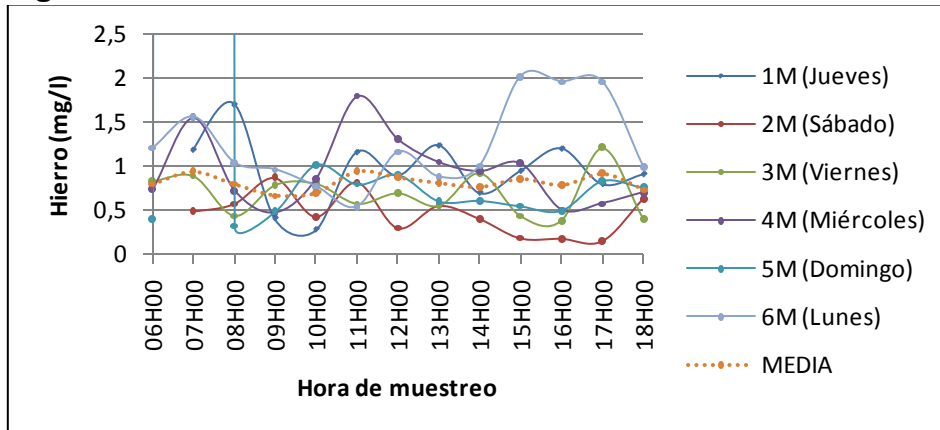


Fuente: Los Autores

El hierro se encuentra en un rango de 0,667 a 0,952 mg/l, con una media de 0,819 mg/l. El límite máximo permisible es de 5 mg/l, lo que confirma que no es limitante para el diseño. La tendencia de este parámetro respecto al tiempo se expone a continuación.



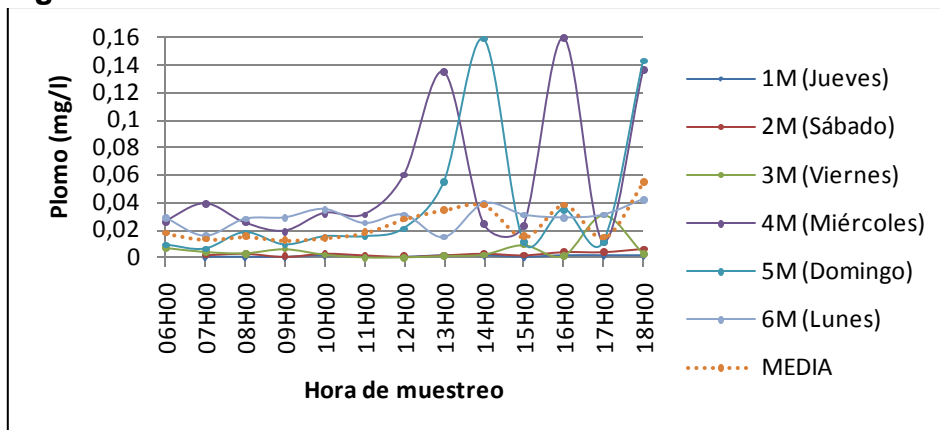
Figura 3.23. Evolución del Hierro



Fuente: Los Autores

El plomo presenta una concentración media de 0,024 mg/l y un rango de 0,013 a 0,055 mg/l, de acuerdo con la norma el límite máximo permisible es de 0,05 mg/l, por lo tanto este parámetro no será una limitante durante el proceso de diseño. La tendencia de la concentración de este constituyente con respecto al tiempo se presenta en la figura siguiente.

Figura 3.24. Evolución del Plomo



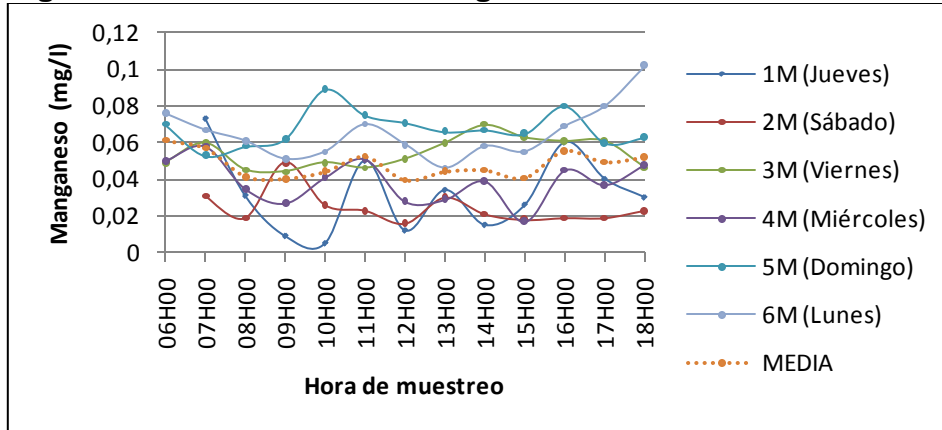
Fuente: Los Autores

La concentración de manganeso presenta una media de 0,048 mg/l y se encuentra entre un rango de 0,040 a 0,061 mg/l, Según la norma el límite máximo permisible es 0,2 mg/l, por lo que no será una limitante durante el



proceso de diseño. La variación de este parámetro con respecto al tiempo se presenta en la gráfica a continuación.

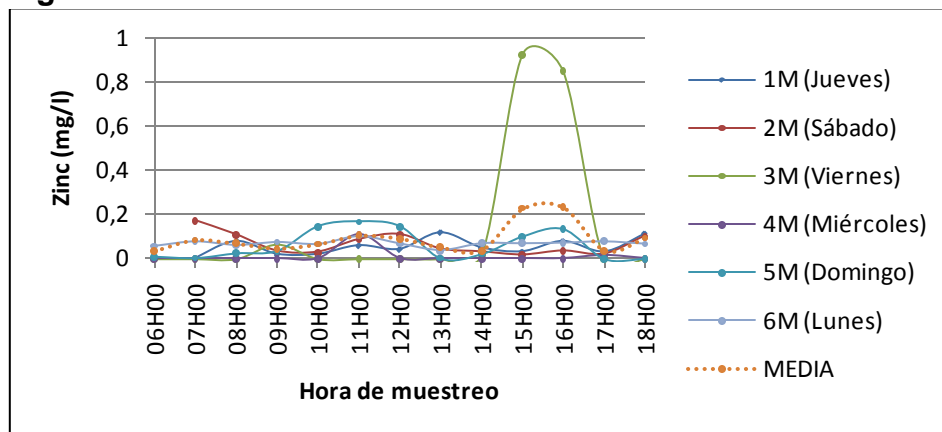
**Figura 3.25. Evolución del Manganeso**



Fuente: Los Autores

El valor promedio del zinc es de 0,090 mg/l oscilando en un rango de 0,033 a 0,233 mg/l, de acuerdo con la norma el límite máximo permisible es de 2 mg/l, por lo tanto no es limitante en el proceso de diseño. La tendencia de este parámetro con respecto al tiempo se ve en la figura que a continuación se expone.

**Figura 3.26. Evolución del Zinc**



Fuente: Los Autores



### 3.6.4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE ENSAYOS DE PESTICIDAS ORGANOCLORADOS

La tabla 3.12 resume los resultados estadísticos obtenidos de los parámetros de pesticidas organoclorados realizados en laboratorio.

Tabla 3.12. Parámetros de calidad del agua residual de la ciudad de Celica. Características de Pesticidas Organoclorados

Constituyente	Unidad	Nº	Máxima	Media	Mínima	D. S.
Aldrin	mg/l	64	8,1E-03	3,1E-03	2,0E-03	1,8E-03
Alfa HCH	mg/l	12	5,7E-03	4,1E-03	0,0E-00	2,6E-03
Beta HCH	mg/l	21	6,1E-03	3,2E-03	0,0E-00	2,0E-03
Delta HCH	mg/l	3	2,1E-03	1,4E-03	0,0E-00	6,1E-03
HCH	mg/l	21	2,0E-02	5,2E-03	0,0E-00	6,0E-03
Beta endosulfan	mg/l	2	1,3E-03	1,3E-03	0,0E-00	3,7E-04
Dieldrin	mg/l	17	1,0E-03	2,5E-04	0,0E-00	3,3E-04
Endrin	mg/l	2	1,2E-03	1,2E-03	0,0E-00	3,4E-04
Heptacloro	mg/l	32	2,9E-02	5,0E-03	0,0E-00	8,4E-03
Metoxicloro	mg/l	11	8,4E-04	2,0E-03	0,0E-00	3,0E-04
Mixer	mg/l	26	2,1E-03	6,8E-04	0,0E-00	5,6E-04
2-4 DDE	mg/l	10	2,7E-03	1,4E-03	0,0E-00	8,7E-04
2-4 DDT	mg/l	23	7,9E-04	1,7E-04	0,0E-00	2,1E-04
4-4 DDE	mg/l	2	2,3E-03	2,3E-03	0,0E-00	6,4E-04
4-4 DDT	mg/l	21	1,1E-03	3,5E-04	0,0E-00	4,4E-04

**Nº: Número de muestras ensayadas y D.S: Desviación Estándar**

Fuente: Los Autores

Existen formas complejas de pesticidas organoclorados que se tienen que sumar para poder evaluarlos. La concentración de sumar este grupo de elementos nos da como resultado 0,0853 mg/l, que comparado con el límite máximo permisible para organoclorados totales de 0,05 mg/l de la norma, se tiene que considerar un control estricto para la remoción efectiva de este parámetro.





### 3.6.5. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE ENSAYOS DE PESTICIDAS ORGANOFOSFORADOS

La tabla 3.13 resume los resultados estadísticos obtenidos de los parámetros de pesticidas organofosforados realizados en laboratorio.

**Tabla 3.13. Parámetros de calidad del agua residual de la ciudad de Celica. Características de Pesticidas Organofosforados**

Constituyente	Unidad	Nº	Máxima	Media	Mínima	D. S.
Azinfos etil	mg/l	54	4,5E-02	1,6E-02	3,3E-04	1,5E-02
Azinfos metil	mg/l	44	7,3E-02	4,3E-02	2,7E-02	1,3E-02
Carbofenotion	mg/l	48	6,9E-03	4,4E-03	0,0E-00	1,8E-03
Clorpirifos	mg/l	15	1,7E-02	3,5E-03	0,0E-00	4,6E-03
Clorpirifos metil	mg/l	17	2,9E-02	2,1E-02	0,0E-00	1,1E-02
Ethion	mg/l	10	5,3E-03	3,4E-03	0,0E-00	2,1E-03
Pirazofos	mg/l	39	2,3E-01	6,0E-02	1,8E-02	5,5E-02
Pirimifos metil	mg/l	2	8,5E-05	8,5E-05	0,0E-00	2,4E-05
Tetraclorvinfos	mg/l	21	5,1E-03	4,1E-03	0,0E-00	2,2E-03

**Nº: Número de muestras ensayadas y D.S: Desviación Estándar**

**Fuente: Los Autores**

Al igual que los organoclorados por sus distintas formas existentes de pesticidas organofosforados se tiene que sumar también a este grupo para evaluarlos. La concentración de sumar este grupo de elementos nos da como resultado 0,41 mg/l, que comparado con el límite máximo permisible para organofosforados totales de 0,1 mg/l de la norma, se tiene que considerar un control estricto para la remoción efectiva de este parámetro.

### 3.7. CONCLUSIÓN

Realizada la etapa de análisis de laboratorio e interpretación de resultados, se ha concluido, que el agua residual de Celica corresponde a un agua típicamente urbana, ya que la mayoría de las concentraciones máximas de sus parámetros se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles de la normativa, quedando parámetros como: sólidos en suspensión, alcalinidad, DBO<sub>5</sub>, DQO, grasas, organoclorados y organofosforados, los que exceden estos límites exigiendo una mayor remoción en el proceso de diseño.

# **CAPÍTULO 4**

## **ESTUDIO HIDROLÓGICO**



#### **4.1. INTRODUCCIÓN**

El estudio hidrológico es un factor importante en la presente investigación, la temperatura, velocidad del viento, precipitación y la evapotranspiración inciden mucho al momento de seleccionar la tecnología ecológica que más se adapte al sitio en estudio.

Para el estudio y análisis de este factor se trabajó con datos e información hidrológica obtenida del INHAMI, UTPL y PREDESUR referente al clima del período de 1965 a 2005.

#### **4.2. PRECIPITACIÓN**

La precipitación según Villón (2002) es “toda forma de humedad que originándose en las nubes, llega hasta la superficie del suelo. Es la fuente primaria del agua de la superficie terrestre, y sus mediciones y análisis, forman el punto de partida de los estudios concernientes al uso y control del agua”.

De aquí, que el estudio de la precipitación es muy importante al momento de diseñar una balsa de infiltración porque influye directamente en la variación de caudal producida y que se agregará al afluente del lecho de infiltración.

##### **4.2.1. RELLENO DE DATOS FALTANTES DE PRECIPITACIÓN**

###### **4.2.1.1. MÉTODO DE LAS PROPORCIONALIDADES**

Este método es uno de los más utilizados cuando existen datos faltantes para comparación, aquí la serie debe servir de referencia para el relleno de datos faltantes de sí misma. Al trabajar con los valores medios de los datos registrados se tiene una confiabilidad mayor.

Primeramente se debe calcular la precipitación media mensual del periodo para cada mes ( $P_m$ ):



$$Pm = \frac{\sum(Bi)}{b} \quad (\text{Ecuación 4.1})$$

Determinar con las sumatorias anuales de precipitación de series completas la media total para todo el periodo (Pa):

$$Pa = \frac{\sum(Ci)}{c} \quad (\text{Ecuación 4.2})$$

Donde:

- $Pm$  : Precipitación media mensual. (mm)
- $Pa$  : Precipitación media anual. (mm)
- $B$  : Precipitación mensual existente. (mm)
- $b$  : Número de meses con registros existentes.
- $C$  : Precipitación anual con la serie completa. (mm)
- $c$  : Número de años con series completas.

La expresión matemática es:

$$\frac{X1}{Pm1} = \frac{X2}{Pm2} = \dots = \frac{Xn}{Pmn} = \frac{X1+X2+\dots+Xn+\sum \text{datos existentes año completo}}{Pa} \quad (\text{Ecuación 4.3})$$

- $Xi$  : Variable que representa el dato mensual faltante del año a rellenar. (mm)

La tabla 4.1 indica el registro de precipitaciones ya con los datos rellenados.



**Tabla 4.1. Precipitación media mensual en la ciudad de Celica (1965 - 2005). (mm)**

AÑO	ENERO	FEB.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOS.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.
1965	348,90	203,90	576,52	669,00	190,80	41,20	53,10	52,80	8,50	6,10	64,30	109,60
1966	215,60	164,30	129,00	138,60	49,60	1,80	0,00	0,00	0,00	53,50	9,10	29,50
1967	155,40	432,20	225,50	92,80	25,60	3,00	0,00	0,00	0,00	26,10	0,00	20,80
1968	114,60	86,20	223,50	49,20	9,00	0,00	2,00	4,00	6,50	13,00	19,20	16,70
1969	92,50	162,10	417,40	220,00	25,00	75,00	0,00	5,00	3,15	0,50	54,10	119,50
1970	232,70	192,90	88,10	65,30	82,80	8,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1971	0,00	147,10	576,80	104,30	31,60	15,70	1,10	16,20	6,90	6,40	0,90	52,50
1972	126,60	309,90	873,30	113,90	68,00	11,90	3,00	6,60	1,80	12,50	35,20	216,40
1973	121,50	452,10	374,70	191,40	108,90	29,10	1,00	5,60	11,20	5,80	6,60	67,60
1974	136,20	290,60	240,40	83,50	39,10	26,50	2,70	3,20	8,00	29,50	14,80	61,20
1975	90,30	503,80	432,20	190,60	51,90	27,20	1,00	14,70	5,20	41,20	4,70	14,50
1976	243,60	653,00	615,20	212,70	93,40	19,20	0,10	7,80	4,70	2,50	29,00	151,40
1977	315,50	316,00	291,80	268,90	17,40	37,20	0,80	3,60	21,80	4,20	3,40	151,13
1978	243,06	302,80	389,53	194,20	40,08	4,70	0,00	0,00	17,60	3,50	16,90	26,50
1979	167,80	245,40	511,10	143,80	45,00	1,00	0,00	22,00	5,50	2,70	0,50	26,20
1980	98,60	167,90	108,80	227,10	28,50	0,90	0,80	0,60	0,00	39,10	4,00	29,70
1981	63,20	252,90	528,90	165,00	6,50	4,90	0,90	3,00	0,20	2,30	3,90	91,00
1982	140,90	180,60	57,30	153,20	27,80	0,30	0,10	0,80	15,40	57,60	147,60	366,00
1983	652,80	259,80	649,70	393,00	350,20	0,65	8,80	2,00	24,10	55,90	36,50	66,90
1984	152,40	622,80	188,70	305,90	183,44	53,06	27,94	0,00	28,46	32,29	17,34	73,41
1985	549,02	104,93	268,70	649,00	89,31	0,00	6,00	46,00	0,00	31,00	0,00	77,00
1986	787,20	288,95	219,85	505,68	18,01	0,00	0,00	0,00	25,84	0,00	122,70	241,70
1987	486,70	372,09	179,62	243,02	14,69	3,20	2,12	0,00	21,40	1,37	113,50	209,54
1988	167,50	215,10	17,10	95,80	22,50	9,80	2,30	4,80	0,90	2,50	11,80	59,50
1989	1327,40	369,60	569,00	125,60	9,40	16,40	1,80	0,00	0,40	27,90	0,70	24,20
1990	96,90	217,60	137,70	180,70	16,00	13,20	2,00	0,00	0,50	15,90	33,50	38,40
1991	36,60	260,90	371,20	141,80	72,60	12,30	0,00	0,00	0,00	13,80	6,90	59,00
1992	172,70	242,40	381,20	260,80	144,30	5,00	0,00	0,20	24,30	16,50	8,30	58,90
1993	112,90	543,00	471,70	324,50	75,80	0,00	5,30	1,10	12,50	49,80	24,50	52,10
1994	166,10	213,60	226,80	176,40	23,60	9,10	1,00	0,00	14,90	3,50	11,80	106,50
1995	166,00	172,50	186,90	72,90	44,00	5,60	5,90	0,50	3,50	17,40	17,60	13,10
1996	266,00	170,84	47,90	15,10	0,60	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,40	36,00
1997	125,50	170,20	126,70	67,00	50,20	6,90	0,00	4,00	80,80	74,80	125,60	165,00
1998	80,60	276,40	382,20	208,50	55,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	13,60	46,60
1999	129,50	188,40	278,40	57,20	118,30	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	8,37	28,68
2000	145,80	450,10	301,70	82,00	109,30	6,00	0,50	0,00	1,60	0,00	0,00	5,90
2001	80,70	177,10	474,40	194,60	35,70	0,00	0,00	0,00	0,10	14,00	63,60	43,10
2002	17,70	343,30	249,20	244,20	53,40	0,20	0,30	0,00	0,00	14,00	13,10	74,20
2003	120,50	195,30	301,20	101,10	18,20	18,50	4,30	0,00	0,00	1,30	17,40	113,00
2004	187,60	227,80	204,40	146,70	52,10	3,90	6,40	0,00	11,40	34,70	11,30	63,30
2005	57,70	248,20	311,30	151,70	7,90	28,60	5,43	0,00	9,70	30,00	10,10	57,40

Fuente: Los Autores



**4.3. TEMPERATURA.-** La temperatura es un factor importante porque influye directamente en la evaporación de las aguas en las balsas de infiltración y en las propiedades físicas del líquido objeto de tratamiento. Además de actuar sobre la capacidad de asimilación y sobre la capacidad e intensidad de las acciones biológicas, químicas y bioquímicas del suelo de vertido (Seoáñez, 2005).

Por todo esto, se debe contar con un registro de temperaturas para realizar un análisis de su comportamiento así mismo para calcular la evapotranspiración potencial de la zona de estudio.

#### 4.3.1. RELLENO DE DATOS FALTANTES DE TEMPERATURA

Al no contar con un registro completo de temperaturas se ha procedido a rellenar los datos faltantes utilizando la media mensual de las temperaturas precedente y posterior de los años registrados para no afectar la tendencia de los mismos. A continuación se muestra la tabla 4.2, con la temperatura media mensual en la ciudad de Celica.

**Tabla 4.2. Temperatura media mensual en la ciudad de Celica (°C)**

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
CELICA	14,92	14,82	15,30	15,39	15,75	15,77	15,76	15,58	15,65	15,54	15,52	15,23

**Fuente: Los Autores**

**4.4. VIENTO.-** El viento es la variable de estado de movimiento del aire. Es causado por las diferencias de temperatura existentes al producirse un calentamiento desigual en varias zonas de la Tierra y atmósfera; y su dirección depende de la distribución y evolución de los centros isobáricos (<http://www.nimbus.com>).

Para este estudio se deberá evitar situar las balsas en lugares azotados por el viento, ya que junto con la temperatura son los principales causantes de la evaporación del agua (Moreno, 2002).



Para el análisis de velocidad del viento se utilizó el registro del período 1989 a 2008, puesto que en años anteriores no se cuenta con registros completos y estos no pueden ser rellenados debido a que los datos varían en función de la altura y lugar.

A continuación en la tabla 4.3 se muestran los datos registrados desde el año 1989 hasta el 2008 en m/s.

**Tabla 4.3. Valores mensuales de velocidad del viento. (m/s)**

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
CELICA	3,23	2,84	3,26	3,11	4,19	4,59	4,20	4,87	4,52	4,47	4,61	3,83

**Fuente: Los Autores.**

**4.5. EVAPOTRANSPIRACIÓN.-** Esta constituida por la evaporación de la superficie evaporante (del suelo y agua), además de la transpiración de las plantas (Villón, 2002).

**4.5.1. EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL.-** El término *evapotranspiración potencial* fue introducido por Thornthwaite, y se define como la pérdida total de agua, que ocurriría si en ningún momento existiera deficiencia de agua en el suelo, para el uso de la vegetación. (Villón, 2002).

La evapotranspiración potencial es necesaria para realizar el balance total de agua en las balsas de infiltración, el método más utilizado para su cálculo es el de Thornthwaite.

#### **4.5.1.1. MÉTODO DE THORNTHWAITE**

El cálculo de la evapotranspiración potencial por el método de Thornthwaite fue seguido según el procedimiento encontrado en el libro de Vivar (1995), el cual consiste en calcular para cada día una evapotranspiración potencial que podemos compararla al poder evaporante de la atmósfera en la cuenca considerada.



Los cálculos están en función de:

- La temperatura media mensual ( $t$ ) en °C, mediante la aplicación del índice térmico mensual calculado por la fórmula:

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.514} \quad (\text{Ecuación 4.4})$$

- De la latitud, la cual introduce implícitamente, el número de horas de duración de la insolación.

La fórmula de Thornthwaite para la evapotranspiración potencial está expresada como:

$$e = 1.6 \left(10 \frac{t}{I}\right)^a \quad (\text{Ecuación 4.5})$$

Donde:

$e$  : Evapotranspiración potencial en mm/día para el mes considerado

$t$  : Temperatura media mensual en °C

$i$  : Índice térmico mensual

$I$  : Índice anual de calor, el cual tiene la siguiente expresión:

$$I = \sum i = \sum \left(\frac{t}{5}\right)^{1.514} \quad (\text{Ecuación 4.6})$$

$a$  : Exponente que varía con el índice anual de calor ( $I$ ) y que tiene la siguiente expresión:

$$a = 0.0000006751 I^3 - 0.0000771 I^2 + 0.01792 I + 0.049239 \quad (\text{Ecuación 4.7})$$

La tabla 4.4 muestra los cálculos desarrollados y el resultado obtenido de la evapotranspiración potencial mensual.





**Tabla 4.4. Evapotranspiración Potencial mensual en Celica**

MESES PERIODO 1960 - 2000	PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL (mm)	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)	ÍNDICE TÉRMICO MENSUAL (i)	ÍNDICE ANUAL DE CALOR (I)	EXPOSICIÓN	EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (mm/día)	EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (mm, mensual)
ENE	219,34	14,92	5,23	66,14	1,092	3,89	<b>120,64</b>
FEB	277,92	14,82	5,18			3,86	<b>108,16</b>
MAR	322,09	15,30	5,44			4,00	<b>124,00</b>
ABR	195,77	15,39	5,49			4,03	<b>120,77</b>
MAY	61,11	15,75	5,68			4,13	<b>127,99</b>
JUN	12,29	15,77	5,69			4,13	<b>124,03</b>
JUL	3,60	15,76	5,69			4,13	<b>128,08</b>
AGO	4,99	15,58	5,59			4,08	<b>126,48</b>
SEPT	9,19	15,65	5,63			4,10	<b>123,00</b>
OCT	18,13	15,54	5,57			4,07	<b>126,12</b>
NOV	26,70	15,52	5,56			4,06	<b>121,88</b>
DIC	79,60	15,23	5,40			3,98	<b>123,38</b>
			I =	<b>66,14</b>			

Fuente: Los Autores

#### 4.6. ESTUDIO DE BALANCE HÍDRICO

**4.6.1. BALANCE HÍDRICO.-** El Balance Hídrico mensual de un proyecto permite establecer las pérdidas y ganancias de agua registradas en un área dada. Su cálculo es muy útil y práctico para estudios sobre la erosión del suelo, estudios de predicción de inundaciones y sequías, y de manera especial en esta investigación porque permite conocer la reserva de agua que tendrá el suelo del sitio en estudio.

Su cálculo se puede realizar partiendo de la precipitación media mensual, la temperatura y la evapotranspiración potencial calculada.

##### 4.6.1.1. PROCESO DE CÁLCULO PARA DETERMINAR EL BALANCE HÍDRICO DE LA CIUDAD DE CELICA

El cálculo del balance hídrico se lo ha realizado según el procedimiento indicado por González, Romero (2003), el cual empieza a partir del mes



siguiente al que tiene mayor precipitación en el registro de precipitaciones, se asume que la capacidad de almacenamiento del suelo sea de 10 cm (100 mm). Además, el balance hídrico se basa en los casos siguientes:

- Si el balance es mayor de 100, la reserva será 100, el resto será el exceso de agua y el déficit de agua será igual a cero.
- Si el balance es menor de 100, la reserva será el resultado del balance y el exceso y el déficit de agua será igual a cero.
- Si el balance es menor de cero, la reserva será igual a cero, mientras que el déficit de agua será el resultado del balance pero con signo positivo.

Se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$BH = R_{ma} + P_{ma} - ETP_{ma} \quad (\text{Ecuación 4.8})$$

Donde:

$BH$  : Balance hídrico

$R_{ma}$  : Reserva mes anterior

$P_{ma}$  : Precipitación mes actual

$ETP_{ma}$ : Evapotranspiración potencial mes actual

**Reserva:** Será 100 si el balance es mayor que 100; igual al resultado del balance si el balance está comprendido entre  $0 < BH < 100$ ; y será igual a 0 si el balance es negativo.

$$\Delta R = R_{mact} - R_{ma} \quad (\text{Ecuación 4.9})$$

Donde:

$\Delta R$  : Variación de la reserva

$R_{mact}$  : Reserva mes actual



**Déficit de agua:** Si el balance es menor que 0, el déficit será el resultado del balance pero con signo positivo, pero si el balance es mayor que 0, el déficit será 0.

**Exceso de agua:** Si el balance es mayor que 100, el exceso será igual a la diferencia entre el balance y 100; si el balance es menor que 100, pero mayor que 0, el exceso será 0.

El proceso de cálculo del balance hídrico, reserva, déficit y exceso se muestran a continuación en la tabla 4.5.:

**Tabla 4.5. Cálculo del balance hídrico en la ciudad de Celica**

Mes	ETP (mm)	Precip (mm)	Balance Hídrico	Reserva	Variación de la Reserva	Déficit	Exceso
Ene	120,63	219,34	98,71	98,71	98,71	0	0
Feb	108,16	277,92	268,46	100	1,29	0	168,46
Mar	123,99	322,09	298,10	100	0	0	198,10
Abr	120,77	195,77	175,00	100	0	0	75,00
May	127,99	61,11	33,12	33,12	-66,88	0	0
Jun	124,03	12,29	-78,62	0	-33,12	78,62	0
Jul	128,07	3,60	-124,47	0	0	124,47	0
Ago	126,48	4,99	-121,49	0	0	121,49	0
Sep	122,99	9,19	-113,80	0	0	113,80	0
Oct	126,12	18,13	-107,99	0	0	107,99	0
Nov	121,88	26,70	-95,18	0	0	95,18	0
Dic	123,38	79,60	-43,78	0	0	43,78	0

**Fuente: Los Autores**

#### 4.7. CONCLUSIÓN

Con el estudio del balance hídrico en la ciudad de Celica se ha determinado que los meses en los que existe reserva de agua en el suelo son: enero, febrero, marzo, abril y mayo, correspondientes a la estación de invierno, mientras que los meses de junio, julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre, el suelo se encuentra más seco debido a ya encontrarse en época de verano. Cabe señalar que en la ciudad de Celica estas dos estaciones se encuentran muy bien diferenciadas.

# **CAPÍTULO 5**

## **CARACTERIZACIÓN DEL SUELO**



## 5.1. INTRODUCCIÓN

Se estudió el suelo considerando la zona no saturada en la que se producen de forma intensa los procesos responsables de la depuración de las aguas residuales, hasta el nivel de saturación. (Moreno, 2002)

## 5.2. ESTUDIOS

Para conocer las condiciones y propiedades del suelo en estudio, primeramente se han realizado calicatas para la extracción de muestras alteradas e inalteradas, haciendo una inspección visual dentro de los distintos horizontes que se encontraron en la zona no saturada, posteriormente se realiza la caracterización del suelo mediante ensayos de laboratorio y de campo, necesarios para determinar sus características físicas, químicas e hidráulicas.

Dentro de los ensayos realizados para la caracterización física se encuentran los siguientes:

- ✓ Granulometría.
- ✓ Límites de Attemberg.
- ✓ Contenido de Humedad.
- ✓ Textura.
- ✓ Clasificación del suelo por los métodos SUCS y AASHTO.

Los ensayos químicos realizados son:

- ✓ pH.
- ✓ Nutrientes.
- ✓ Capacidad de Intercambio Catiónico.
- ✓ Conductividad Eléctrica.

Los ensayos realizados para determinar las características hidráulicas son:



- ✓ Evolución estacional del nivel freático.
- ✓ Permeabilidad.

### 5.3. CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO PARA LA ELECCIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO

Para elegir el sitio donde se desea implementar la el método de depuración natural, se consideran algunas características de diseño de los diferentes sistemas de tratamiento natural ilustrados en la tabla 5.1 .

Tabla 5.1. Características de diseño de los diferentes sistemas de tratamiento naturales.

Características	Infiltración Lenta	Infiltración Rápida	Escorrentía superficial
<b>Técnicas de aplicación</b>	Aspersión o superficial	Generalmente superficial	Aspersión o superficial
<b>Pendientes</b>	Hasta 15 % en superficies cultivadas. <30% en arbolado	No es factor crítico	2 – 8%
<b>Permeabilidad del suelo</b>	De moderadamente baja a moderadamente alta	Alta (arenas, arenas margosas)	Baja (arcillas, limos arcillosos)
<b>Carga hidráulica anual (m3/m2)</b>	0,5 – 6	6 - 125	3 - 20
<b>Superficie necesaria (ha)<sup>(1)</sup></b>	$0,02 Q_m < A < 0,03 Q_m$	$0,006 Q_m$	$0,01 Q_m < A < 0,018 Q_m$
<b>Pretratamiento mínimo necesario</b>	Sedimentación primaria.	Sedimentación primaria. Desbaste	Desbaste
<b>Evacuación del agua residual aplicada</b>	Evapotranspiración y percolación	Principalmente percolación	Escorrentía superficial y evaporación con algo de percolación
<b>Vegetación</b>	Necesaria	Opcional	Necesaria

(1) A = superficie necesaria, Qm = caudal medio diario a tratar (m3/d)

Fuente: [www.igme.es](http://www.igme.es)



Teniendo en cuenta estas características se ubicó el sitio de estudio a una distancia aproximada de 100 m pendiente abajo del pozo de muestreo de aguas residuales.

**Figura 5.1. Zona de estudio**



**Fuente: Los Autores**

#### **5.4. MUESTREO**

Para poder determinar el estado y las propiedades de un suelo es necesario realizar un muestreo de éste.

El muestreo consiste en obtener porciones de suelo de un área homogénea, para analizar sus características físicas y químicas. En los muestreos realizados en la ciudad de Celica, se extrajo el material teniendo en cuenta las respectivas precauciones para no contaminarlas, además de conservarlas de manera que no pierdan sus propiedades al transportarlas.



### 5.4.1. RECOLECCIÓN DE MUESTRAS INALTERADAS

La Norma ASTM D 1587 indica el procedimiento a seguir para recolección de muestras inalteradas.

#### 5.4.1.1. MATERIALES DE CAMPO

- Botas.
- Papel para etiquetar las muestras y un esferográfico.
- Herramientas manuales: barreta y pala.
- Bolsas plásticas y saquillos.
- Parafina.
- Flexómetro.
- Densímetro nuclear.
- Barrenos.
- Cronómetro.
- Baldes.
- Cámara fotográfica.
- Cinta adhesiva.

### 5.5. DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

#### 5.5.1. TEXTURA

Se define como la proporción relativa de las partículas minerales, arena, arcilla y limo. La textura del suelo juega un papel importante en el riego, drenaje, crecimiento de los cultivos, forma y tamaño de los poros, capacidad de almacenamiento y movimiento del agua, frecuencia y tiempo de riego.

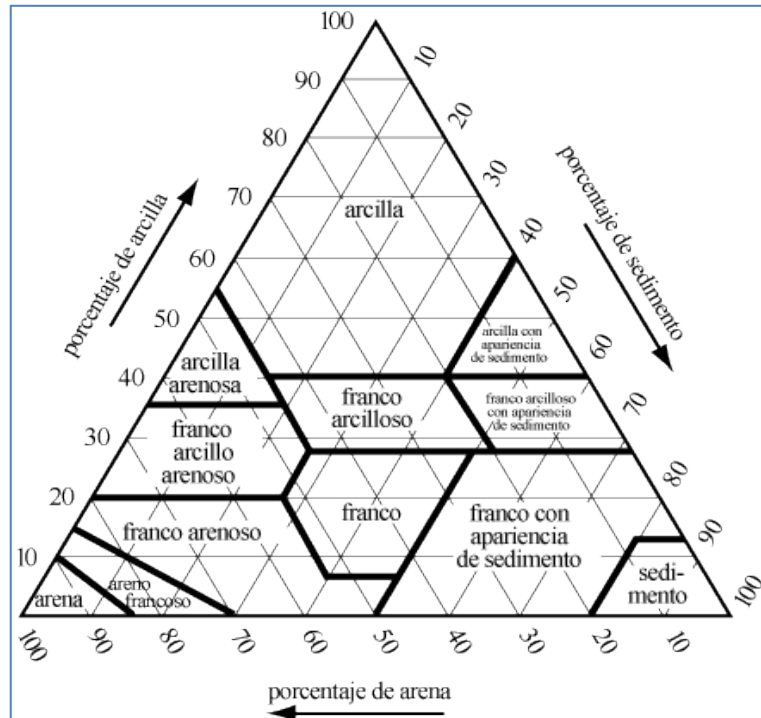
Se ha clasificado la textura del suelo de la ciudad de Celica según el triángulo textural mostrado en la figura 5.2. en la cual los distintos tipos de suelos se han agrupado en textura fina (suelos arcillosos, arcillo - limoso y arcillo - arenoso), textura moderadamente fina (franco-arcillo-limosa y franco-arcillo-arenosa),





textura media (franco, franco-limoso y limoso), textura gruesa (franco-arenosa y arena-franca) y textura muy gruesa (suelo arenoso). (Ortiz, 2008)

**Figura 5.2. Triángulo textural**



**Fuente: (Moreno, 2002)**

El ensayo de textura se lo ha realizado siguiendo la Norma AASHTO T 88, y utilizando el triángulo textural, determinando que el suelo de la ciudad de Celica es Arcillo - Limoso.

### 5.5.2. ESTRUCTURA

La estructura del suelo se refiere al arreglo de las partículas minerales arena, limo y arcilla, unidas entre sí formando agregados secundarios. La acción cementante de la materia orgánica forma los agregados, al igual que la presión-contracción de las arcillas, y la presión ejercida por las raíces.

En este proyecto el estudio y determinación del tipo de estructura que posee el suelo es de gran importancia pues ésta influye en el movimiento e infiltración



del agua, intercambio de gases entre el suelo y la atmósfera, retención de humedad, porosidad, crecimiento de raíces, y drenaje interno.

Se debe tener en cuenta que la estructura de tipo laminar y masiva, propia de suelos arcillosos, presenta una capacidad de transporte y movimiento del agua muy baja; en bloques y prismática, condiciones moderadas; y, la granular, condiciones muy favorables para el movimiento del agua. (Sandoval, 1989)

### 5.5.3. PROFUNDIDAD

Moreno (2002) manifiesta que, “mediante la excavación de calicatas, se puede hacer un primer diagnóstico del tipo de materiales que constituyen la porción más superficial de la zona no saturada e investigar la presencia de fracturas, cambios litológicos inesperados o estratos poco permeables próximos a la superficie”.

Además, estas calicatas deben servir para la toma de muestras que permitan determinar propiedades físicas del suelo, densidad, color.

En Celica se ha excavado una calicata de dimensiones 1 x 1 x 1,5 m, en la cual se identificó tres horizontes, el primero de color café oscuro con una profundidad medida desde la superficie del suelo de 0,40 m en el que se observa contenido de materia orgánica, el segundo de color amarillo con 0,30 m de grosor en el que se observa presencia de agregados gruesos de hasta 2 ½ pulgadas, y el tercer horizonte de color rojizo con 0,80 m de ancho, en el que se observa rocas de hasta 12 pulgadas.

### 5.5.4. COLOR

El color del suelo indica otras propiedades importantes como por ejemplo, los matices amarillentos y rojos indican que un suelo ha sufrido una severa meteorización, ya que estos colores se deben a los óxidos de hierro que se han



formado. Un color oscuro, entre negro y café, a menudo es una indicación de presencia de materia orgánica.

Si durante una excavación se encuentra un cambio de color, esta con frecuencia es una indicación de que se ha descubierto un estrato diferente del suelo con propiedades distintas.

#### **5.5.5. CONTENIDO DE HUMEDAD**

El ensayo de contenido de humedad en las muestras de suelo de la ciudad de Celica se lo ha realizado según el procedimiento indicado en la Norma ASTM D 2216, en la cual se expresa que el contenido de humedad de un suelo es la relación, expresada como porcentaje, del peso de agua en una masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas.

#### **5.5.6. LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLÁSTICO**

Para la determinación del límite líquido se ha utilizado el procedimiento descrito en las Normas ASTM D 4318 y AASHTO T 89, las cuales señalan que el límite líquido de un suelo es el contenido de humedad expresado en porcentaje del suelo secado al horno, cuando éste se halla en el límite entre el estado plástico y el estado líquido.

La Norma AASHTO T 90 indica el procedimiento aplicado para determinar el límite plástico de un suelo y denomina límite plástico a la humedad más baja con la que pueden formarse barritas de suelo de unos 3,2 mm de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa (vidrio esmerilado), sin que dichas barritas se desmoronen.

#### **5.5.7. GRANULOMETRÍA**

Se ha utilizado el procedimiento indicado en las Normas ASTM D 422 y AASHTO T 88 para determinar cuantitativamente la distribución de partículas



del suelo empleando una serie de distintos tamices hasta el de 74 mm (No. 200).

En el anexo 5-A se presentan los ensayos para determinar las características físicas del suelo.

## 5.6. DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

Las propiedades químicas del suelo dependen de la cantidad de los distintos minerales y otras sustancias que componen el suelo. El contenido de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio debe ser abundante y equilibrado. El suelo puede ser ácido, alcalino o neutro.

Además, las características químicas de los suelos afectan la capacidad de infiltración del agua en él.

### 5.6.1. pH

El potencial hidrógeno (pH) es un indicador del grado de acidez o alcalinidad de un suelo, se define como el logaritmo negativo de la concentración actual del ión hidrógeno  $H^+$  y afecta a la disponibilidad de los nutrientes para los cultivos. La escala de pH varía entre 0 y 14 unidades, siendo ácido para valores menores a 7, 7 para neutro y alcalino mayores a 7. (Martínez, 2009)

El pH del suelo se lo ha medido con una suspensión de 1/2,5 de suelo/agua (10 g de suelo + 25 cc de agua destilada).

### 5.6.2. NUTRIENTES

- **Materia Orgánica:** El origen de la materia orgánica en el suelo se debe a la descomposición de los seres vivos que mueren en el, además de la actividad biológica de los organismos y microorganismos presentes.



La descomposición de estos restos y residuos metabólicos dan origen al humus, constituido por macromoléculas (proteínas, azúcares, ácidos orgánicos, minerales) en constante estado de degradación. (<http://www.uclm.es>, 2004).

- **Nitrógeno Total:** El nitrógeno es parte integrante de materiales orgánicos complejos del suelo y se denomina orgánico e inorgánico.

La necesidad de contar con nitrógeno en el suelo es debido a que ayuda a los microorganismos heterótrofos del suelo en la descomposición de la materia orgánica, además el nitrógeno permite el rápido crecimiento de los microorganismos que proporcionan material con carbono al suelo.

Los factores que afectan al proceso de nitrificación son: el suministro del ion amonio, la población de organismos nitrificantes, el pH, la aireación, la humedad y la temperatura del suelo. (<http://www.sagan-gea.org>, 2002).

- **Fósforo:** El fósforo (P) se encuentra en los suelos tanto en formas orgánicas, ligadas a la materia orgánica, como inorgánicas que es la forma como la absorben los cultivos. La disponibilidad de estas formas está condicionada por reacciones fisicoquímicas y biológicas. (<http://www.fertilizando.com>, 2005).
- **Potasio:** El potasio (K) es un elemento nutritivo esencial para todos los organismos vivos. El potasio cumple un rol importante en la activación de un número de enzimas (más de 60), que actúan en diversos procesos metabólicos tales como fotosíntesis, síntesis de proteínas y carbohidratos; además tiene incidencia en el balance de agua y en el crecimiento meristemático (tejidos responsables del crecimiento vegetal). (<http://www.ipni.net>, 2009).



- **Calcio:** El calcio (Ca) presente en el suelo, procede de las rocas y minerales que conforman el suelo y en parte al añadido como fertilizantes diversos y su contenido total puede variar ampliamente.

Además el calcio se encuentra en el suelo formando parte de la materia orgánica o combinado con los ácidos húmicos y fosfóricos en los humatos y fosfohumatos cálcicos.

En suelos ácidos, normalmente situados en zonas sometidas a un alta pluviometría como la ciudad de Celica, el movimiento de este elemento es más amplio. Se encuentra fundamentalmente adsorbido a los coloides en forma intercambiable y como minerales secundarios no descompuestos. (Navarro y Navarro, 2003).

- **Magnesio:** Navarro y Navarro (2003) manifiestan que “el magnesio es un elemento muy abundante en la corteza terrestre. En los suelos se encuentra como constituyente de numerosos minerales, mayoritariamente silicatos. Entre ellos, y como más frecuentes, merecen señalarse: biotina, serpentina y olivino. También se encuentra formando parte de otros silicatos como clorita, vermiculita, illita y montmorillonita”.

En la descomposición de estos silicatos y en la degradación de la materia orgánica, el magnesio pasa en parte al estado de sales solubles: cloruros, sulfatos, etc. En este estado puede: perderse por lixiviación, ser absorbido por los mismos organismos del suelo, ser adsorbido o fijado por los coloides, o precipitado como compuestos magnésicos secundarios (en regiones áridas). (Navarro y Navarro, 2003).

- **Hierro:** El hierro es uno de los elementos más comunes en los suelos debido a que provienen de la alteración de rocas y suelos. La diferencia visual, color, entre horizontes del suelo se relaciona con la forma y



composición de los depósitos de óxidos e hidróxidos de hierro cuyo contenido se puede expresar en porcentajes.

La importancia de los óxidos de hierro radica en que no existe prácticamente un suelo donde no se encuentren, aunque sea en pequeñas cantidades. (Otilio Acevedo-Sandoval, Enrique Ortiz-Hernández, Misael Cruz-Sánchez y Enrique Cruz-Chávez, 2004).

- **Manganeso:** El manganeso es un metal que lo podemos encontrar en forma natural en diversos tipos de rocas. El manganeso cuando es puro es de color plateado, pero no se encuentra en esta forma en la naturaleza.

El manganeso no puede ser degradado en el ambiente. Solamente puede cambiar de forma, adherirse o separarse de partículas. (ATSDR, 2008).

- **Cobre:** El cobre en el suelo se encuentra principalmente adsorbido a la materia orgánica, a los óxidos de hierro y al manganeso, además fijado en la red cristalina que es la base estructural directa de los silicatos del suelo. También puede ser precipitado como hidróxido, carbonato o fosfato.

La concentración de cobre en el suelo varía según el contenido de materia orgánica, del pH y de la disponibilidad de los agentes complejantes. El porcentaje de cobre intercambiable se incrementa generalmente con la disminución del pH. (<http://www.kali-gmbh.com>, 2008).

- **Zinc:** El zinc (Zn) es uno de los elementos más comunes en la corteza terrestre, se lo encuentra en el aire, en el suelo y en el agua. El zinc presente en el suelo se lo encuentra en diferentes formas químicas tales como minerales ferromagnésicos y asociados al aluminio. Además se encuentra en sitios de intercambio de minerales de arcilla y en la materia orgánica del suelo. (<http://www.atsdr.cdc.gov>, 2005).



- **Boro:** El boro (B) es un metaloide con propiedades intermedias entre el carbono y el aluminio. El boro se encuentra mayormente concentrado en los sedimentos y la roca sedimentaria, de manera particular en los sedimentos marinos ricos en arcilla. ([www.sag.gob.cl](http://www.sag.gob.cl)).

### 5.6.3. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

Calderón (2002) manifiesta que: la conductividad eléctrica de un medio, se define como la capacidad que tiene el medio (que por lo general contiene las sales inorgánicas en solución o electrolitos) para conducir la corriente eléctrica.

Cuando se habla de Conductividad Eléctrica de un suelo, se hace referencia a la Conductividad Eléctrica de su extracto de saturación. Y la Conductividad Eléctrica, es determinada en un medio líquido.

### 5.6.4. CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIÓNICO

La capacidad de intercambio Catiónico o CIC representa el proceso en el cual los cationes en solución son intercambiados por otros que están unidos electrostáticamente a la superficie de los coloides.

La CIC, además de controlar la disponibilidad de nutrientes para las plantas (Ca, K, Mg), también determina el papel del suelo como depurador natural al permitir la retención de elementos contaminantes presentes en el mismo. (Guerrero; Carolina; Carolina, 2000).

Los métodos utilizados para ensayar los nutrientes presentes en el suelo son los indicados en la tabla 5.3.





**Tabla 5.2. Métodos utilizados en laboratorio para ensayar químicamente el suelo**

NUTRIENTES		MÉTODO UTILIZADO	
Materia Orgánica (%)		Walkley Black – Titulación con sulfato ferroso amoniacal y destrucción de la materia orgánica con ácido sulfúrico y dicromato de potasio.	
Nitrógeno Total (%)			
P (PPM)		Método Colorimétrico – Olsen modificado (bicarbonato de sodio pH 8,5)	
K (cmol/kg) Asimilables			
Calcio (cmol/kg)		Espectrofotometría de Absorción Atómica (Olsen modificado: bicarbonato de sodio + EDTA pH 8,5)	
Magnesio (cmol/kg)			
Microelementos: (PPM)			Fe
			Mn
			Cu
	Zn		
Capacidad de Intercambio de Cationes (Meq/100)		Extracción con acetato de amonio pH 7, lavado con alcohol etílico y titulación con ácido sulfúrico 10/N. Resultados expresados en CMOL/Kg = Centimol por kilogramo o miliequivalente/100	

**Fuente: Los Autores**

Los resultados obtenidos fueron comparados con los rangos de las normas de la Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro AGROCALIDAD, para su clasificación.

En el anexo 5-B se presentan los ensayos para determinar las características químicas del suelo.

## 5.7. DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS

### 5.7.1. ESTACIONALIDAD DEL NIVEL FREÁTICO

El nivel freático es fundamental para garantizar el buen funcionamiento de los sistemas teniendo en cuenta que cada tecnología obedece a unas condiciones específicas de este parámetro, a continuación se indica el nivel freático recomendado para los distintos tipos de tratamiento en el suelo.



**Tabla 5.3. Nivel freático recomendado según cada tipo de tratamiento en el suelo**

Nivel freático	SISTEMA DE TRATAMIENTO EN SUELO		
	Infiltración Lenta	Infiltración Rápida	Escorrentía Superficial
Profundidad en metros	0,60 a 0,90	3	No es importante

**Fuente: Los Autores.**

Para determinar la profundidad a la que se encuentra el nivel freático en la ciudad de Celica se ha realizado la excavación manual de una calicata de 1 x 1 x 3 m de profundidad, la misma que permite observar el terreno directamente. A esta profundidad no se encontró el nivel freático, por lo cual se concluye que éste se encuentra a una profundidad mayor.

**Figura 5.3. Excavación de calicata para muestreo**



**Fuente: Los Autores**



### 5.7.2. PERMEABILIDAD

Se la define como la capacidad de penetración del agua hacia capas inferiores. Expresa la altura de agua que penetra en el suelo por unidad de tiempo, con una carga hidráulica y temperatura determinadas.

La mayor o menor permeabilidad de los suelos es función directa de su contenido de arcilla que a su vez determina su clasificación textural y modifica en más o en menos las llamadas constantes hidrofísicas del suelo.

Los valores medios de la permeabilidad generalmente determinan la mayor o menor aptitud de los suelos para ser irrigados. (Vivar, 1995)

La velocidad con la que el fluido atraviesa el material depende de tres factores básicos:

- a) La porosidad del material.
- b) La densidad del fluido considerado, afectada por su temperatura.
- c) La presión a que está sometido el fluido.

Para ser permeable, un material debe ser poroso, es decir, debe contener espacios vacíos o poros que le permitan absorber fluido. A su vez, tales espacios deben estar interconectados para que el fluido disponga de caminos para pasar a través del material. (www.wikipedia.org)

Para determinar el coeficiente de permeabilidad (k) del suelo, se extrajo material para ensayarlo en laboratorio y además se ha realizado la prueba Lefranc in situ.

#### 5.7.2.1. ENSAYO DE PERMEABILIDAD EN LABORATORIO

Se utilizó el procedimiento indicado en la Norma ASTM D 2434 para determinar la permeabilidad en suelos granulares.



**Figura 5.4. Preparación del equipo para ensayo de permeabilidad en laboratorio**



**Fuente: Los Autores**

### **5.7.2.2. ENSAYO DE PERMEABILIDAD IN SITU**

#### **5.7.2.2.1. PRUEBA DE PERMEABILIDAD TIPO LEFRANC**

Este ensayo se utiliza para medir el coeficiente de permeabilidad en suelos permeables y semipermeables, de tipo granular, situados por debajo del nivel freático, y en rocas muy fracturadas, en los cuales la velocidad de flujo es lenta. El ensayo se efectúa en el interior de sondeos y puede realizarse durante la ejecución de la perforación o una vez finalizada ésta. La perforación debe quedar entibada y, únicamente el tramo de prueba, situado en la parte inferior de la tubería quedará libre.



**Figura 5.5. Realización del ensayo Lefranc**



**Fuente: Los Autores**

En el anexo 5-C se presentan los ensayos realizados para determinar las características hidráulicas del suelo.

## 5.8. RESULTADOS DE ENSAYOS DE SUELOS

### 5.8.1. RESULTADOS DE ENSAYOS FÍSICOS

**Tabla 5.4. Resultados de los ensayos físicos del suelo en la ciudad de Celica**

Horizonte (profundidad, m)		A (0 – 0.40)	B (0.40 – 0.70)	C (0.70 – 1.50)
COLOR	Color del suelo	Café oscuro	Amarillo claro	Rojo
	Indicativo	Materia orgánica	Óxidos de hierro	Óxidos de hierro
TEXTURA		Arcillo - Limoso	Arcillo - Limoso	Arcillo - Limoso
Contenido de humedad		51	41	41
Límite líquido		54	58	53
Límite plástico		32	29	35

**Fuente: Los Autores**



### 5.8.3. RESULTADOS DE ENSAYOS QUÍMICOS

Tabla 5.5. Resultados obtenidos en los ensayos para determinar la concentración de nutrientes presentes en el suelo de la ciudad de Celica

NUTRIENTES		RESULTADOS OBTENIDOS		
		Horizonte A	Horizonte B	Horizonte C
pH	Valor	4,08	7,01	6,66
	Interpretación	Ácido	Prácticamente neutro	Prácticamente neutro
Materia Orgánica (%)		4,77 (ALTO)	0,73 (BAJO)	0,03 (BAJO)
Nitrógeno Total (%)		0,24 (MEDIO)	0,04 (BAJO)	vestigio
P (PPM)		1,8 (BAJO)	vestigio	2,1 (BAJO)
K (cmol/kg) Asimilables		0,25 (MEDIO)	0,20 (MEDIO)	0,20 (MEDIO)
Calcio (cmol/kg)		11,5 (ALTO)	8 (ALTO)	9 (ALTO)
Magnesio (cmol/kg)		3,29 (ALTO)	3,21 (ALTO)	2,8 (ALTO)
Microelementos: (PPM)	Fe	113,8 (ALTO)	49 (ALTO)	53,8 (ALTO)
	Mn	6	15,8	20,6
	Cu	9,3 (MEDIO)	5 (BAJO)	6,2 (MEDIO)
	Zn	5,8 (MEDIO)	2 (BAJO)	2,2 (BAJO)
Capacidad de intercambio de cationes (Meq/100)		35	30,2	29
Boro (PPM)		0,16 (BAJO)	0,16 (BAJO)	0,20 (BAJO)
Conductividad eléctrica (dS/m 25°C)		0,22 (NO SALINO)	0,15 (NO SALINO)	0,84 (NO SALINO)

Fuente: Los Autores

### 5.8.4. RESULTADOS DE ENSAYOS HIDRÁULICOS

Tabla 5.6. Resultados de ensayos hidráulicos en el suelo de la ciudad de Celica

Estacionalidad del nivel freático	Mayor a 3 m
Permeabilidad (k) a 20°C en laboratorio	2,04E-08 cm/s
Permeabilidad (k) in situ	1,15E-04 cm/s

Fuente: Los Autores



## 5.9. CONCLUSIÓN

Con el estudio de suelos realizado en la ciudad de Celica se ha llegado a determinar que éste es un suelo arcillo-limoso, con una permeabilidad medida en laboratorio de  $2,04E-08$  cm/s e in situ  $1,15E-04$  cm/s, lo cual indica que es un suelo poco permeable. La zona de estudio escogida presenta pendientes del 6%, con pastizales en toda su extensión, el nivel freático se encuentra a una profundidad mayor a los 3 metros.

# **CAPÍTULO 6**

## **IMPACTO AMBIENTAL**





## 6.1. ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL

Los estudios de impacto ambiental (EslA) se dirigen hacia una correcta planificación integral de los proyectos, con el fin de lograr la optimización en el uso de los recursos, con miras a que los beneficios que se puedan obtener con la acción propuesta sean los máximos posibles, y los daños inevitables que se vayan a dar en el ambiente, los mínimos.

## 6.2. EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

La Evaluación de impactos ambientales (EIA) es el proceso que genera a los (EslA), e incluye un conjunto de procedimientos que permiten predecir, mediante la identificación y cuantificación los daños o beneficios, las condiciones ambientales que podrían suscitarse a futuro, en la medida que se desarrolle una acción propuesta en el presente.

Como toda predicción, los resultados que se obtienen de la EIA son aproximados e indican la probabilidad de ocurrencia de los efectos identificados. Por esta situación, previamente a la realización de la EIA, es necesario contar con la mayor cantidad de información posible que permita eliminar al máximo la incertidumbre que se produce por la extrapolación al futuro de los resultados pasados.

Es necesario evaluar el impacto ambiental de las obras de desarrollo ya que las condiciones de vida y bienestar de los miembros de las comunidades se ven directamente afectados por estas alteraciones que inciden en el ambiente, pues hay una conexión cotidiana entre el ambiente afectado por estas obras y los seres humanos, que se traduce en impactos a la salud, a la economía, a la cultura de las comunidades, etc.



### 6.2.1. ALCANCES DE LA EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

Algunas de las grandes ventajas de efectuar estudios de impacto ambiental en las obras de desarrollo son las siguientes:

- ✓ Conservar el ambiente al garantizar una calidad de vida óptima de la población en el presente y en el futuro.
- ✓ Favorecer el uso racional y apropiado de los recursos naturales, y garantizar su renovabilidad en el futuro.
- ✓ Permiten generar beneficios económicos como consecuencia de un mejor aprovechamiento de los recursos naturales en el presente y en el futuro.
- ✓ Permiten fomentar el desarrollo de una cultura ecológica.
- ✓ Posibilitan planificar íntegramente los proyectos, prolongando muchas veces, su vida útil.
- ✓ Incorporar nuevos elementos de juicio en las etapas de toma de decisión que permiten optimizar los proyectos.

### 6.3. METODOLOGÍA PARA LA IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

Existen cuatro tipos principales de metodologías para el análisis de los impactos ambientales susceptibles de ser aplicables en el proyecto:

- ✓ Listas de revisión, verificación o referencia.
- ✓ Matrices causa – efecto (sistema Leopold).
- ✓ Técnicas geográficas, como los mapas de transparencias.
- ✓ Métodos cuantitativos (Batelle).

Una correcta evaluación ambiental de un proyecto debe identificar incluso aquellos componentes ambientales susceptibles de ser alterados en caso de contingencia. Debe recordarse que en la primera etapa del EsIA, en la



descripción del medio, debe hacerse un análisis de riesgos, que facilitará identificar las eventualidades más probables.

Para el estudio del presente proyecto utilizaremos la matriz causa - efecto del sistema de Leopold.

### 6.3.1. MÉTODO DE LEOPOLD

Esta matriz, elaborada por Leopold y otros, fue la primera en este campo y ha sido ampliamente utilizada. Las matrices causa - efecto son, sobre todo, métodos de identificación y valoración que pueden ser ajustados a las distintas fases del proyecto, arrojando resultados cuali - cuantitativos, realizando un análisis de las relaciones de causalidad entre una acción dada y sus posibles efectos en el medio.

Abarca dos extensas listas de revisión, una de los factores ambientales (componentes ambientales) que pueden ser afectados por cualquier tipo de proyecto o acción humana, y otra de acciones, elementos de proyectos y actuaciones en general que pueden producir impacto. Simplificando, a estas últimas se las denomina acciones del proyecto.

La base del sistema, es una matriz en que las entradas según filas contienen las acciones del hombre que pueden alterar el ambiente y las entradas según columnas, son características del medio que pueden ser alteradas.

En cada elemento de la matriz (celdilla), se incluye dos números separados por una diagonal. Uno indica la "magnitud" de la alteración del factor ambiental correspondiente y, por tanto, el grado del impacto, y el otro la "importancia" del mismo.

La magnitud y la importancia se consideran en una escala del 1 al 10. El 1 representa la menor y el 10 la mayor magnitud e importancia. Se añade



además un signo positivo o negativo, que indica que el impacto es beneficioso o adverso, respectivamente.

Los valores de magnitud e importancia que se asignen a los impactos identificados pueden responder a valores prefijados como los que se detallan a continuación.

**Tabla 6.1. Valores de magnitud e importancia asignados a los impactos identificados.**

MAGNITUD			IMPORTANCIA		
CALIFICACION	INTENSIDAD	AFECTACION	CALIFICACION	DURACION	INFLUENCIA
1	Baja	Baja	1	Temporal	Puntual
2	Baja	Media	2	Media	Puntual
3	Baja	Alta	3	Permanente	Puntual
4	Media	Baja	4	Temporal	Local
5	Media	Media	5	Media	Local
6	Media	Alta	6	Permanente	Local
7	Alta	Baja	7	Temporal	Regional
8	Alta	Media	8	Media	Regional
9	Alta	Alta	9	Permanente	Regional
10	Muy Alta	Alta	10	Permanente	Nacional

**Fuente: Los Autores**

### 6.3.2 ALGORITMO PARA USAR LA MATRIZ DE LEOPOLD

1. Delimitar el área a evaluar. Para el presente caso, el área de influencia lo constituyen todos los sectores por donde atraviesa el proyecto.
2. Determinar las acciones que ejercerá el proyecto sobre el área.
3. Determinar para cada acción qué elemento(s) se afecta(n). Esto se logra mediante el rayado correspondiente a la cuadrícula de interacción en la Matriz Causa-Efecto o matriz de Identificación de Impactos Ambientales.
4. Determinar la importancia de cada elemento en una escala del 1 al 10.
5. Determinar la magnitud de cada acción sobre cada elemento, en una escala del 1 al 10.



6. Ponderar si la magnitud es positiva o negativa.
7. Determinar cuántas acciones del proyecto afectan al ambiente, desglosándolas en positivas o negativas.
8. Agregación de los resultados para las acciones.
9. Determinar cuántos elementos del ambiente son afectados por el proyecto, desglosándolos en positivos o negativos.
10. Agregación de los resultados para los elementos del ambiente.
11. La agregación de los resultados de las acciones y de los elementos del ambiente se realiza mediante la suma algebraica de los productos de los valores de cada celda.
12. Con los valores de los pares ordenados de acciones y, elementos se grafica en un sistema de coordenadas donde las abscisas representan la magnitud y las ordenadas la importancia de cada interacción representada en el análisis matricial.

### 6.3.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE UTILIZAR LAS MATRICES CAUSA – EFECTO

#### Ventajas:

- ✓ La amplitud o extensión de las listas de acciones de proyecto y factores ambientales, que disminuye el peligro de no considerar algún aspecto implicado en la actuación.
- ✓ El formato matricial permite ofrecer un resumen de la evaluación, con indicaciones sobre la magnitud y el peso relativo de cada impacto. Ese formato permite, asimismo, indicar la existencia de relaciones causa - efecto.

#### Desventajas:

- ✓ Su amplitud, que puede constituir una ventaja, añade complejidad al proceso.



- ✓ Solamente analiza las interacciones causa - efecto de primer orden.
- ✓ Leopold y su grupo reconocieron que el factor tiempo es importante y sugirieron la realización de una matriz para situaciones temporales. Ello, unido a que para cada alternativa hay que elaborar una matriz lleva a que el número de matrices que pueden ir introduciéndose en el análisis es enorme, dificultando la comparación entre alternativas y alargando el proceso.

#### **6.4. DESCRIPCIÓN DEL MEDIO SOBRE EL CUAL SE PRETENDE IMPLEMENTAR LA ACCIÓN PROPUESTA**

##### **6.4.1. UBICACIÓN**

El proyecto de Tratamiento de Aguas Residuales será construido en la ciudad de Celica la cual se encuentra aproximadamente a 172 km de distancia de la ciudad de Loja.

La población se encuentra asentada en una zona de clima frio a 2100 metros sobre el nivel de mar.

##### **6.4.2. CLIMA**

El proyecto en estudio goza de una temperatura promedio anual de 15 grados centígrados, presentando características climáticas subtropical con temperaturas que varían a lo largo del año, con un periodo seco de junio a diciembre y de invierno de enero a mayo, con una precipitación media anual de 1167 mm y una humedad relativa de aproximadamente de 86,6%.

##### **6.4.3. SUELO**

El uso del suelo de este cantón está destinado a pastizales para la cría de ganado siendo estas áreas explotadas con pasto perennes. Los sectores con



pendientes más regulares están dedicados para cultivos, siendo el principal cultivo el café.

#### **6.4.4. HIDROLOGÍA**

La ciudad de Celica se abastece de agua de las partes altas de las microcuencas Quilluzara y Matalanga. (Cuenca, 2008)

#### **6.4.5. TOPOGRAFÍA DE LA ZONA**

La zona del proyecto presenta una topografía irregular con un desarrollo urbanístico bien definido existiendo un pequeño porcentaje de viviendas dispersas en la zona periférica.

Las razones de crecimiento futuro son amplias debido a que la topografía del terreno lo permite, teniendo un desarrollo urbanístico considerable, las calles de la población están perfectamente delineadas, en los alrededores los asentamientos poblacionales han sido planificados existiendo diferentes urbanizaciones.

#### **6.4.6. FACTORES SOCIO-ECONÓMICOS**

Para el presente trabajo se ha tomado los datos de la encuesta Socio-económica, los mismos que fueron realizados en abril del 2009.

La ocupación agrícola-ganadera es el sostén económico de los habitantes de la zona, siendo los cultivos de ciclo corto los más importantes. La ganadería también es un factor de importancia en cuanto a actividades.

### **6.5. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL**

El diagnóstico ambiental de la situación actual, en el proyecto de la zona de estudio contempla la preparación de una matriz cuantitativa de las acciones



vigentes y de los factores ambientales afectados, en los componentes socioeconómico, ambiental y biótico.

Para aplicar el Método de Leopold al caso particular que se estudia, se ha hecho las siguientes consideraciones:

### **Acciones**

Las acciones que se ejercerán sobre el medio en estudio con la implementación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales son:

- ✓ Alteración del hábitat.
- ✓ Construcción del sistema de tratamiento de aguas residuales.
- ✓ Desmontes y rellenos.
- ✓ Excavaciones superficiales.
- ✓ Ruido y vibraciones.
- ✓ Paisaje (entorno).

### **Componentes ambientales**

Las anteriores acciones tendrán una incidencia directa sobre los siguientes componentes ambientales:

- ✓ Espacios abiertos.
- ✓ Vistas panorámicas y Paisajes.
- ✓ Salud y seguridad.
- ✓ Empleo.
- ✓ Eliminación de residuos líquidos.
- ✓ Especies en peligro.
- ✓ Pesca, excursión.
- ✓ Vectores enfermedades.
- ✓ Aguas superficiales.
- ✓ Tierra.
- ✓ Calidad del agua.





## 6.6. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Con la finalidad de dar una solución definitiva al problema sanitario originado por la no existencia de un adecuado tratamiento de los desechos líquidos (aguas servidas), el cual provoca graves deterioros de la calidad ambiental de la ciudad debido a que la descarga se hace al terreno y a los cursos naturales de agua sin ningún cuidado, se han realizado los estudios del sistema de tratamiento y disposición de aguas servidas para la Ciudad de Celica, con el objetivo de reducir los impactos ambientales causados por la situación actual.

### Componentes

El proyecto descrito está formado por las siguientes partes:

- ✓ Pretratamiento.
- ✓ Tratamiento Biológico.
- ✓ Descarga al terreno o cuerpo receptor.

### Tecnología a ser utilizada

En los diseños definitivos para el nuevo proyecto, se ha previsto utilizar en la construcción del mismo una tecnología apropiada y de bajo coste como es el de escorrentía superficial, la cual es un sistema de aplicación superficial en el terreno del agua a tratar, sea por aspersores o por tuberías perforadas. El agua va depurándose a medida que atraviesa el terreno o área de tratamiento llegando a estar en los niveles permisibles según normativas (EX-IEOS) para ser reutilizada, luego es recolectada por medio de una zanja o canal de recolección pendiente abajo, hasta ser llevada sea a un reservorio o directamente al riego de cultivos y pastizales.

#### 6.6.1. MARCO DE REFERENCIA LEGAL Y ADMINISTRATIVO

El estudio para la implantación de esta tecnología se lo realizó en un terreno particular, por lo que se debería obtener un permiso para autorización de



construcción o bien analizar la opción de buscar otro terreno con similares características al ya estudiado.

### **6.6.2. LOCALIZACIÓN**

El Proyecto se halla ubicado en la cabecera cantonal de Celica, Provincia de Loja.

### **6.6.3. ENVERGADURA DEL PROYECTO**

Considerando que al tratarse de un proyecto para una población urbana, la magnitud de la obra es de tipo alta. Los rubros más relevantes en cuanto a costo son aquellos relacionados con las obras de pretratamiento, desbroce y limpieza, especialmente en lo referente a excavación de canales de recolección e instalación de tuberías.

### **6.6.4. TIPOS DE INSUMOS Y DESECHOS**

Los materiales a utilizarse en el Proyecto son principalmente tuberías PVC, aglomerante (cemento), pétreos (arena, grava, piedra), maderas de encofrado, accesorios de hierro, hierro, etc.

El material producto de las excavaciones, se empleará para realizar rellenos de las zanjas, por lo cual existirá una mínima cantidad de desechos que no afectará en mayor grado al entorno y paisaje del lugar.

## **6.7. IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES EN LAS ETAPAS DE ESTUDIO, CONSTRUCCIÓN, Y FUNCIONAMIENTO, EN LOS ASPECTOS AMBIENTALES, SOCIOECONÓMICOS Y BIÓTICOS.**

Desde este punto de vista, se hará una descripción general del posible impacto causado al medio circundante durante las tres etapas del sistema, esto es,



durante la fase de estudio, durante la fase constructiva y cuando el sistema se encuentre en funcionamiento, para esto nos valdremos de:

### **6.7.1. IMPACTOS POSITIVOS**

#### **EN LA FASE DE ESTUDIOS**

Una vez concluido el estudio para la implantación del sistema de tratamiento de aguas residuales podemos señalar que durante esta fase el impacto causado al medio ambiente natural fue nulo, puesto que para su ejecución no ha sido necesario realizar ninguna actividad que tienda a alterar los paisajes del lugar tales como: tala de bosques, quema de sembríos, etc.

#### **EN LA FASE DE CONSTRUCCIÓN**

Durante la construcción podría tenerse en cuenta las fuentes de trabajo que se crearán, tanto en forma directa como indirecta a los habitantes de la comunidad.

No se producirá desestabilización de taludes ya que el terreno escogido para la construcción de la planta es relativamente plano.

Se deberá tener en cuenta la construcción de un sistema de drenaje adecuado para evitar la formación de corrientes las mismas que puedan originar la erosión del suelo.

Dado que el proyecto en su mayoría atraviesa por zonas pocas o casi nada transitadas, no se producirá algún tipo de alteración en las actividades socio económico de la comunidad (salvo tramos aislados).

#### **EN LA FASE DE FUNCIONAMIENTO**

El impacto que provocará la puesta en funcionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales en el ambiente será del todo favorable, ya que las mismas contribuirán a disminuir la contaminación de los cursos de agua, principalmente de las aguas del río Celica.



Una vez que el proyecto entre en operación los impactos positivos serán múltiples y podríamos citar los siguientes:

- ✓ Mejorará el nivel de salud de la población y enfermedades como: parasitismo, cólera, tifoidea y otros que provienen en especial por falta de una adecuada evacuación de las aguas servidas.
- ✓ Existirá mejora en la economía de la población al reducirse los gastos por tratamientos médicos y medicinas por estas causas.
- ✓ En términos generales las condiciones de vida y salubridad de los beneficiarios mejoraran dando lugar a un cambio positivo en sus costumbres sanitarias.
- ✓ Estímulo a diversos sectores como el turismo que por las atracciones naturales visitan la zona y se sentirán seguros del contar con una ciudad limpia y aseada.

### **6.7.2. IMPACTOS NEGATIVOS**

#### **EN LA FASE DE ESTUDIOS**

Para identificar los principales impactos ambientales negativos se han definido previamente las actividades que tienen relación con la ejecución del proyecto y que básicamente son los siguientes:

- ✓ Impactos negativos relacionados a la localización de las unidades del sistema.

Una vez concluido el estudio para la implantación del sistema de tratamiento de aguas residuales podemos señalar que durante esta fase el impacto causado al medio ambiente es mínimo, puesto que para su ejecución no ha sido necesario realizar ninguna actividad que tienda a alterar los paisajes del lugar tales como: tala de bosques, quema de sembríos, etc. A continuación se describe uno de los posibles impactos negativos:



- ✓ Alteración a la flora y fauna en la fase de levantamiento topográfico que se tiene que realizar para el diseño del proyecto.

Durante la etapa de selección de la ubicación de los diversos componentes del sistema se enumeran los siguientes aspectos que suelen producir impactos ambientales negativos:

- ✓ Contaminación del cuerpo receptor aguas abajo del punto de descarga de los elementos que compone el sistema de tratamiento.
- ✓ Contaminación y efectos negativos en comunidades aguas abajo.

### **EN LA FASE DE CONSTRUCCIÓN**

Para la etapa de construcción se han identificado las actividades que pueden causar impacto negativo debiéndose tomar en cuenta medidas de mitigación, para lo cual describimos las actividades del proyecto:

- ✓ Construcción de las unidades de pretratamiento.
- ✓ Construcción de los canales de recolección del agua depurada.

#### **Construcción de las unidades de Pretratamiento.**

Para la construcción de las unidades de pretratamiento se tiene que realizar las siguientes actividades:

- ✓ Desbroce y limpieza en las zonas que se construirá las unidades de pretratamiento
- ✓ Replanteo y nivelación de las unidades de pretratamiento
- ✓ Excavación de zanjas manual
- ✓ Tendido de tuberías de los sistemas
- ✓ Relleno de las zanjas manual
- ✓ Desalojo de escombros



De acuerdo a las actividades descritas se producirán los impactos negativos siguientes:

- ✓ Movimiento de tierra en la construcción de las unidades de pretratamiento haciendo que se produzca polvo y contamine el aire
- ✓ Alteración del medio por ruidos y vibraciones

### **Construcción de los canales de recolección del agua depurada**

Para la construcción de los canales de recolección se realizarán las siguientes actividades:

- ✓ Replanteo y nivelación de los canales
- ✓ Remoción de la capa vegetal
- ✓ Excavación de zanjas manual
- ✓ Tendido de tuberías
- ✓ Relleno de las zanjas manual
- ✓ Desalojo de escombros

De las actividades descritas se producirán los siguientes impactos negativos:

- ✓ Erosión del suelo y destroce de vegetación por los trabajos de excavación, de manera que afectarán significativamente a ecosistemas frágiles.
- ✓ Generación de ruidos y vibraciones
- ✓ Malestar en la comunidad
- ✓ Alteración del uso del suelo
- ✓ Alteración temporal del entorno

### **EN LA FASE DE FUNCIONAMIENTO**

Se ha establecido que en la fase de operación y mantenimiento de las diversas unidades del sistema de tratamiento de aguas residuales, pueden suceder aspectos que suelen producir impactos ambientales negativos, para esto se debe tomar en cuenta aspectos como:



- Personal de operación y mantenimiento no capacitado. Si no existe una adecuada operación y mantenimiento de los diferentes componentes del sistema, se corre el riesgo de entregar a la población problemas de insalubridad.
- Insuficiente colaboración de los usuarios para mantener y hacer buen uso del sistema, por falta de campañas de difusión.

## 6.8. METODOLOGÍA

Para el presente trabajo se ha desarrollado primeramente el análisis de las actividades correspondientes al proyecto, para luego identificar los efectos e impactos que cada actividad va a producir, esto se analizó en diferentes etapas: primero la etapa de diseño, luego la etapa de construcción y por último la etapa de mantenimiento. Para el análisis de cada efecto e impacto se realizó con base a las siguientes componentes ambientales: Calidad de agua, calidad del aire, degradación de los suelos, alteración flora y fauna, análisis del paisaje.

La metodología que se empleó para la identificación de los impactos es la matriz causa efecto, esto es la comparación entre las condiciones ambientales existentes antes de la implantación del proyecto, con las que se podría originar durante la construcción y la fase de operación y mantenimiento del mismo, además permitió identificar y valorar los impactos ambientales positivos y negativos.

Una vez identificados los impactos ambientales negativos, se definieron el planteamiento de medidas de mitigación, que eliminen o minimicen dichos impactos



Tabla 6.2. Matriz de identificación y valoración de impactos ambientales

FASES DEL PROYECTO		DISEÑO	MÉTODO LEOPOLD															O y M	CIERRE																		
			CONSTRUCCIÓN					GERRAMIENTO Y CASERTA DEL GUARDIA					INICIO, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO						CULMINACIÓN DE TRABAJOS																		
CARACTERÍSTICAS DEL COMPONENTE	COMPONENTES AMBIENTALES	ACTIVIDADES	LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	CONSTRUCCIÓN DE CASETA TEMPORAL	LIMPIEZA MANUAL DEL TERRENO	REPLANTEO Y NIVELACIÓN	EXCAVACIÓN DE MUROS	GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS	MANIPULACIÓN Y DESALOJO DEL MATERIAL EXCAVADO	LIMPIEZA MANUAL DEL TERRENO	REPLANTEO Y NIVELACIÓN	EXCAVACIÓN DE MUROS	RELLENO COMPACTADO MANUAL	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍA PVC Ø = 110 mm	CONSTRUCCIÓN DE TANQUE DE ALMACENAMIENTO	GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS	MANIPULACIÓN Y DESALOJO DEL MATERIAL EXCAVADO	CONSTRUCCIÓN DEL GERRAMIENTO	EXCAVACIÓN EN PLINTOS	MAPOSTERÍA DE LADRILLO	GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS	MANIPULACIÓN Y DESALOJO DEL MATERIAL EXCAVADO	OPERACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO	LIMPIEZA DE UNIDADES DE PRETRATAMIENTO	DESMANTELACIÓN DEL CAMPAMENTO	MANIPULACIÓN Y DESALOJO DE ESCOMBROS	AFECTACIONES POSITIVAS	AFECTACIONES NEGATIVAS	VALOR PARCIAL	VALOR POR COMPONENTE AMBIENTAL	VALOR TOTAL						
																																FÍSICO	AIRE	RUIDO	-1	-3	
GASES																																					
OLORES																																					
POLVO																																					
AGUA	CALIDAD																																				
SUELO	EROSIÓN																																				
SUELO	COMPACTACIÓN																																				
BIÓTICO	FLORA	CUBIERTA VEGETAL																																			
	FAUNA	VECTORES																																			
FAUNA	MIGRACIÓN																																				
PAISAJE	ESTÉTICA																																				
SOCIOECONÓMICOS	EMPLEO																																				
SEGURIDAD POBLACIONAL																																					
SEGURIDAD LABORAL																																					
AFECTACIONES POSITIVAS																																					
AFECTACIONES NEGATIVAS																																					
VALOR PARCIAL																																					
VALOR POR FASE																																					
VALOR TOTAL																																					

Fuente: Los Autores





## 6.9. RESULTADOS DE LA MATRIZ DE LEOPOLD, MATRIZ CAUSA – EFECTO

Del análisis de la matriz de Leopold se determina los siguientes resultados:

**Tabla 6.3. Impactos Ambientales producidos**

IMPACTOS	MEDIO AFECTADO		
	Físico	Biótico	Socio-económico
Positivos	0	1	22
Negativos	55	49	25

**Fuente: Los Autores**

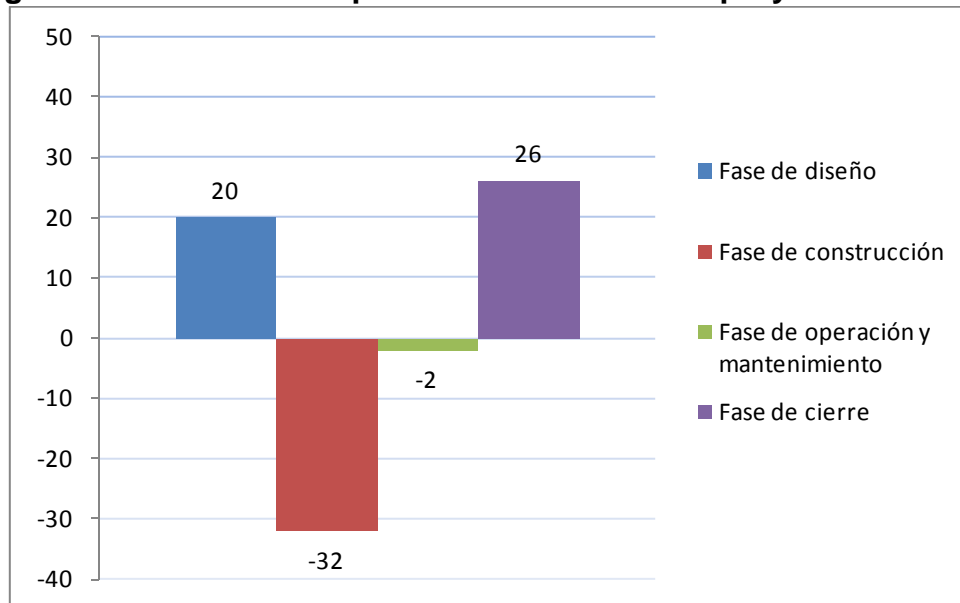
Con esto se concluye que existen 152 interacciones ambientales, de las cuales 129 corresponden a impactos negativos y 23 a impactos positivos tomando en cuenta las fases de Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento, y Cierre.

El componente ambiental más afectado producto de la construcción de la planta de tratamiento es el biótico con -232, seguido del medio físico con -214 y finalmente el socio-económico con 458, producto de la generación de plazas de trabajo.

La valoración de impactos para cada fase del proyecto se presentan en la figura 6.1., en donde se indican los impactos negativos producidos en la fase de diseño con un valor de 20, en la fase de construcción con un valor de -32, de otra manera, en la fase de Operación y Mantenimiento, y Cierre existe un valor de -2 y 26 respectivamente.



**Figura 6.1. Valores de impactos en cada fase del proyecto.**



**Fuente: Los Autores**

Debido a excavaciones, utilización de equipos para construcción, durante la fase de Construcción los impactos serán negativos porque afectan al medio al producirse residuos, ruido, olores, etc. De ahí en las fases posteriores de Operación y Mantenimiento como en la de Cierre, los impactos serán positivos al ya contar con la planta para bienestar de la ciudad.

## 6.10. MEDIDAS DE MITIGACIÓN

Las medidas de mitigación de los impactos ambientales causados por la ejecución de la planta de tratamiento por escorrentía superficial son las siguientes:

### 6.10.1. MEDIDAS DE MITIGACIÓN DURANTE LA CONSTRUCCIÓN

**Protección del entorno:** Se considera imprescindible no dañar el paisaje del medio por motivo de movimiento de tierras y deposición de material en la obra. Se colocará el material a utilizar en un lugar de manera ordenada y que no afecte con las actividades diarias de la ciudadanía.



**Prevención de contaminación de recursos hídricos:** Se tendrá especial cuidado al momento de desechar los residuos provenientes de las tareas referentes a la construcción de la obra.

**Protección de infraestructura existente:** Al momento de utilizar equipo pesado se deberá tener en cuenta no destruir aceras, cerramientos y tuberías sanitarias existentes en la zona de emplazamiento.

#### **6.10.2. MEDIDAS DE MITIGACIÓN DURANTE LA ETAPA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.**

**Mantenimiento de la infraestructura de la planta de tratamiento:** El mantenimiento de la planta de tratamiento deberá ser permanente, el operario tendrá que estar siempre atento al correcto funcionamiento de la misma, y en caso de alguna anomalía, actuar oportunamente.

**Capacitación al personal:** Es importante hacer conocer al personal de la planta el funcionamiento de la misma, indicar qué hacer en ciertas circunstancias además de señalar los procesos de operación y mantenimiento descritos en la guía.

#### **6.11. CONCLUSIÓN**

Al concluir el estudio de impacto ambiental se ha observado que existen valores negativos en las fases de construcción y mantenimiento, esto es debido a los trabajos que se presentarían al implementar la planta de tratamiento. Los impactos positivos suceden en las fases de diseño y cierre, producto de que la planeación y construcción de esta obra es positiva para mejorar las condiciones sanitarias de la ciudadanía, y su desarrollo social.

Las medidas de mitigación se han desarrollado para minimizar al máximo los impactos negativos que se producirían en la construcción de la planta.

# **CAPÍTULO 7**

## **SELECCIÓN DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL SUELO**



## 7.1. INTRODUCCIÓN

Un sistema de tratamiento de aguas residuales urbanas por vertido en el suelo implica utilizar las plantas, la superficie y la matriz del suelo para su depuración. (Álvarez, Contreras y Poggi, 2002) A través de procesos físicos, químicos y biológicos se puede alcanzar diferentes niveles de tratamiento para vertidos municipales, industriales, dependiendo de las características de la zona, tasas de carga, características del agua residual a tratar y de los objetivos de diseño. (Crites, Tchobanoglous, 2000)

## 7.2. SISTEMAS DE DEPURACIÓN MEDIANTE TECNOLOGÍAS ECOLÓGICAS Y DE BAJO COSTO

Robert K. Bastian (2005), manifiesta que:

Los sistemas de tratamiento en el suelo fueron considerados por ser la alternativa más efectiva en los Estados Unidos desde 1880 a 1905, y fue usada por muchas comunidades para tratamiento de aguas residuales.

Crites, R. W., S. C. Reed, y R. K. Bastian, (citado en Bastian, 2005) afirma que hasta el día de hoy, los sistemas de depuración mediante tecnologías ecológicas han cumplido su propósito de una manera satisfactoria, esto se debe a que con el pasar del tiempo la tecnología se ha ido modificando y adecuando a las condiciones que presenta el agua a tratar.

Los sistemas de tratamiento en el suelo son tres: Infiltración rápida, infiltración lenta y esorrentía superficial.

### 7.2.1. SISTEMA DE INFILTRACIÓN RÁPIDA

La infiltración rápida es un proceso de tratamiento en el suelo en el cual el agua se aplica de manera controlada sobre campos de distribución a nivel, que



contienen suelo con permeabilidad de media a alta. El agua residual se trata por procesos físicos, químicos y biológicos a medida que percola a través de la capa de suelo. (Crites, Tchobanoglous, 2000) Este método se aplica a poblaciones menores a 5000 habitantes.

La aplicación del agua al terreno es realizada en tasas elevadas ya sea mediante aspersión o por extensión en lagunas teniendo en cuenta que se debe alternar periodos de inundación con periodos de secado. El vertido se realiza de forma cíclica para permitir la regeneración aerobia de la zona de infiltración y mantener una óptima capacidad de tratamiento. (Moreno, 2003)

Es necesario tener vegetación en las balsas de infiltración si se utilizan sistemas de aspersión para el agua residual al terreno, pero se tiene que tener un constante mantenimiento para evitar problemas causados por los microorganismos patógenos dispersos.

Para este tipo de sistema se debe tener en cuenta la necesidad de al menos un tratamiento primario antes de verter el agua residual al lecho filtrante y así evitar la colmatación del lecho filtrante.

Se puede recuperar o reutilizar el agua tratada a través de zanjas o pozos ya que este sistema consigue recargar artificialmente los acuíferos con bajos niveles de contaminación.

El sistema de infiltración rápida se encuentra entre los sistemas de depuración de agua residual urbana más económicos debido a que su mantenimiento no involucra utilizar aditivos químicos o este no es complicado.

### **7.2.2. SISTEMA DE INFILTRACIÓN LENTA**

Este sistema de depuración utilizando el suelo como medio, es uno de los más antiguos, por sus elevados requerimientos de espacio generalmente se utiliza en poblaciones de menos de 3000 habitantes. Consiste en la aplicación



controlada de un caudal de agua residual sobre la superficie del terreno en el cual se ha colocado previamente una masa forestal o un cultivo. (Moreno, 2002)

La infiltración lenta es conceptualmente similar a la infiltración rápida, la diferencia es que tiene tasas de carga hidráulica sustancialmente menores. La depuración del agua se produce por la acción conjunta del suelo, microorganismos y plantas, los cuales realizan la acción de filtrado, intercambio iónico, precipitación, degradación orgánica, etc. todo esto tiene lugar en los horizontes superiores del terreno.

Para mantener el terreno en condiciones óptimas (estado aerobio) se aplica el agua residual alternando ciclos discontinuos, de entre 4 y 10 días, y la carga hidráulica varía, según el terreno, época del año y tipo de cultivo, entre 0,5 y 6 m/año. (Metcalf y Eddy, 1995).

Este sistema requiere terrenos con características de permeabilidad y granulometría determinados, en particular los suelos franco-arcillosos y franco-arenosos, además de un nivel piezométrico a más de 1,5 m de la superficie, superficie del orden de 1 ha por cada 250 habitantes (40 m<sup>2</sup>/hab). (Metcalf y Eddy, 1995).

### **7.2.3. SISTEMA DE ESCORRENTÍA SUPERFICIAL**

La técnica de este sistema consiste en forzar la escorrentía del agua residual, mediante riego por circulación superficial en láminas, en un suelo previamente acondicionado, siempre alternando periodos de riego con los de secado.

El vertido de agua residual al terreno se lo realiza alternando ciclos de aplicación y de secado de varias horas durante 5 a 7 días a la semana, previo un pretratamiento sencillo, la aplicación se puede distribuir mediante aspersores, rociadores o tuberías provistas de orificios.



En este método el agua es depurada por procesos físicos, químicos y biológicos, al escurrirse por suelos de características relativamente impermeables. (Moreno, 2002)

La esorrentía superficial se logra de mejor manera en terrenos con baja permeabilidad del suelo y con pendientes inclinadas del orden de 0 a 12%. Es necesario indicar que en superficies con pendientes inferiores a 2% se debe tener cuidado por posibles empozamientos del agua y por otra parte, en terrenos con pendientes mayores a 8% puede ocurrir erosión del suelo. (Crites Tchobanoglous, 2000)

Debido a la baja permeabilidad de los suelos, las pendientes necesarias en el terreno, y que la profundidad del nivel freático no es crítica, las aguas subterráneas no se ven afectadas al poner en funcionamiento el tratamiento.

Se puede utilizar vegetación en el terreno pero no es imprescindible, su utilización es positiva desde el punto de vista de evitar erosión en el suelo y también como traba para detener el paso de partículas sólidas.

### **7.3. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE DEPURACIÓN**

La selección de alternativas de tratamiento por métodos naturales depende de los objetivos finales que se quiera obtener del tratamiento y de las posibilidades de reuso del agua tratada. La disponibilidad de terreno, las características del sitio, la topografía y las condiciones ambientales son criterios claves de selección de estos sistemas. (Helmer y Hespanhol, citado en Bernal, Cardona, Gálvez y Peña, 2002)

Es por esto que a través de matrices de selección se ha realizado un análisis tomando en cuenta los principales parámetros y variables involucrados en la elección de una tecnología depuradora ecológica, los mismos que se detallan a continuación:





- ✚ Superficie necesaria
- ✚ Facilidad de construcción
  - ✓ Movimiento de tierras
  - ✓ Obra civil
  - ✓ Equipos
- ✚ Operación y Mantenimiento
  - ✓ Funcionamiento
  - ✓ Personal
  - ✓ Equipos
  - ✓ Frecuencia de Control
- ✚ Análisis de Costos
  - ✓ Costos de Construcción
  - ✓ Costos de Mantenimiento
- ✚ Rendimiento de Sistema
  - ✓ DQO
  - ✓ DBO
  - ✓ SS
  - ✓ Nt
  - ✓ Pt
  - ✓ Coliformes Fecales
- ✚ Subproductos
  - ✓ Producción de lodos
  - ✓ Generación de olores
  - ✓ Vectores
- ✚ Características del terreno
  - ✓ Permeabilidad
  - ✓ Pendiente
  - ✓ Profundidad del nivel freático
- ✚ Impacto Ambiental





**Tabla 7.3. Operación y mantenimiento**

VARIABLE	Infiltración Rápida	Infiltración Lenta	Escorrentía Superficial
<b>Funcionamiento</b>	MS	MS	MS
Calificación	10	10	10
<b>Personal</b>	S	S	MP
Calificación	8	8	10
<b>Equipos</b>	MP	MP	MP
Calificación	10	10	10
<b>Frecuencia de control</b>	S	S	S
Calificación	8	8	8
Total	36	36	38
<b>Promedio de variable</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>9,5</b>

MP/MS: Muy Poco/Muy Simple = 10    S: Simple = 8  
F: Frecuente = 6

**Fuente: Adaptado de Moreno, 2002**

**Tabla 7.4. Análisis de costos.**

VARIABLE	Infiltración Rápida	Infiltración Lenta	Escorrentía Superficial
<b>Costo de Construcción</b>	P	P	MP
Calificación	8	8	10
<b>Costo de Mantenimiento</b>	P	P	MP
Calificación	8	8	10
Total	16	16	20
<b>Promedio de variable</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>10</b>

MP: Muy Poco = 10    P: Poco = 8

**Fuente: Adaptado de Moreno, 2002**







### 7.3.2. MATRIZ FINAL DE SELECCIÓN

Esta matriz sirve para asignar la respectiva puntuación a cada factor analizado en las matrices anteriores. Así, el más alto puntaje obtenido en la sumatoria de cada columna da la tecnología más apropiada para la ciudad de Celica, cabe indicar que el más alto valor que se puede obtener es 80 ya que son 8 matrices de selección.

Tabla: 7.9. Matriz final de selección

<b>FACTOR</b>	<b>Infiltración Rápida</b>	<b>Infiltración Lenta</b>	<b>Escorrentía Superficial</b>
<b>Superficie necesaria</b>	10	6	8
<b>Facilidad de construcción</b>	8,7	9,3	9,3
<b>Operación y mantenimiento</b>	9,0	9,0	9,5
<b>Análisis de costos</b>	8,0	8,0	10
<b>Rendimiento de Sistemas</b>	8,0	9,7	6,7
<b>Subproductos</b>	9,3	8,0	10
<b>Características del terreno</b>	8,0	9,3	10
<b>Impacto ambiental</b>	9,0	8,0	9,0
<b>TOTAL</b>	<b>70,0</b>	<b>67,3</b>	<b>72,5</b>

Fuente: Los Autores.

### 7.4. CONCLUSIÓN

Luego de haber realizado y analizado la matriz de selección final, se ha encontrado que la tecnología que suma el mayor puntaje es la de Escorrentía Superficial, la diferencia entre las otras dos tecnologías no es tan grande, pero ésta es la que mejor se adapta a las condiciones físicas del suelo y ambiente de la ciudad de Celica.

Los cálculos del diseño hidráulico de la planta de tratamiento por escorrentía superficial se encuentran en el capítulo 8.

# CAPÍTULO 8

DISEÑO HIDRÁULICO  
DEL TRATAMIENTO POR  
ESCORRENTÍA  
SUPERFICIAL

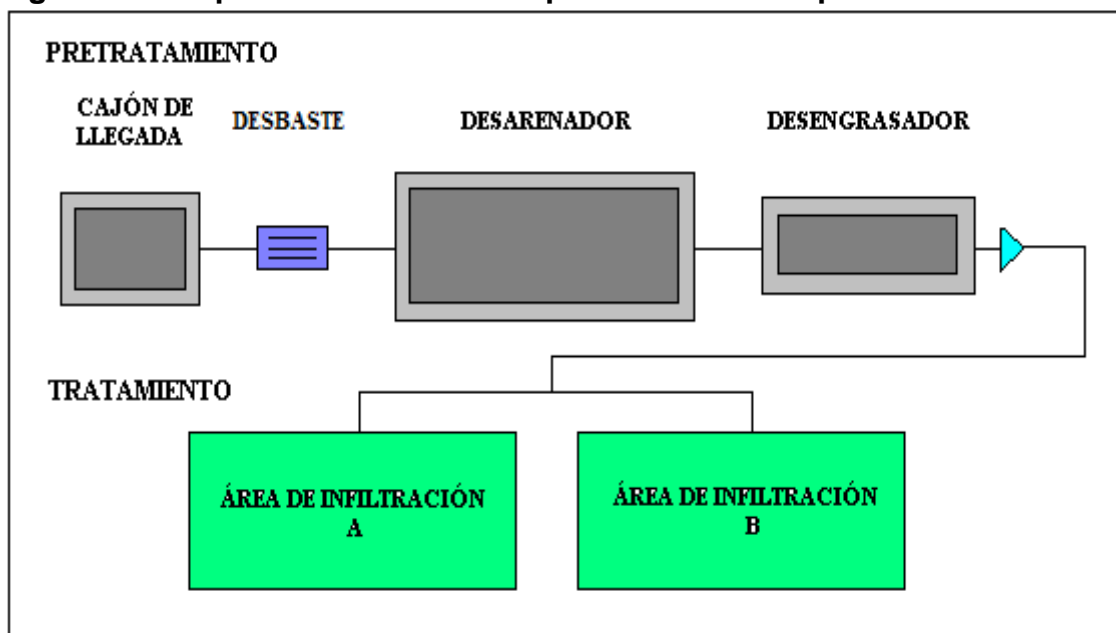


## 8.1. BASES DE DISEÑO

Para el presente proyecto se utilizará el documento preparado por la Subsecretaría de Saneamiento Ambiental (Ex-IEOS): **NORMAS PARA ESTUDIO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES PARA POBLACIONES MAYORES A 1000 HABITANTES**, así como también el **MANUAL DE DEPURACIÓN DE URALITA** y el libro de **DISEÑO HIDRÁULICO DE SVIATOSLAV KROCHIN**.

El sistema de tratamiento por escorrentía superficial de aguas residuales urbanas consiste básicamente en dos áreas acondicionadas (en pendiente y vegetación), en las que se hará escurrir el agua residual mediante escorrentía previo a un pretratamiento que consta de cajón de llegada, desbaste, desarenador y desengrasador tal como se muestra en el esquema en la figura 8.1.

**Figura 8.1. Esquema del tratamiento por escorrentía superficial**



Fuente: Los Autores





### 8.1.1. PERIODO DE DISEÑO

Se entiende por periodo de diseño, en cualquier obra civil, el número de años durante los cuales una obra determinada ha de prestar con eficiencia el servicio para el cual fue diseñada.

Los factores que intervienen en la selección del período de diseño son:

- ❖ La vida útil de las estructuras y equipos.
- ❖ Ampliaciones futuras y planeación de las etapas de construcción del proyecto.
- ❖ Cambios en el desarrollo social y económico de la población.
- ❖ Comportamiento hidráulico de las obras cuando éstas no tengan un funcionamiento óptimo.

Para el presente proyecto se adoptado un periodo de diseño de 10 años, basando en las recomendaciones nicaragüenses.

### 8.1.2. POBLACIÓN

El cálculo de la proyección poblacional se lo realizó en el capítulo 2, en donde se aplicó el método geométrico recomendado por el Ex-IEOS y se determinó el índice de crecimiento poblacional de 1,68 %, y la población al año 2009 de 4219 habitantes. El índice de crecimiento poblacional se tomará para hacer el cálculo de la población futura al año 2019 que es donde culminará el periodo de diseño del proyecto.

#### 8.1.2.1. POBLACIÓN FUTURA DE DISEÑO

La determinación del número de habitantes para los cuales ha de diseñarse el sistema de tratamiento es un parámetro básico en el cálculo del caudal de diseño. Con el fin de estimar la población futura la norma sugiere como mínimo tres métodos para su proyección, a continuación se presenta los métodos de cálculo adoptados:



### a) Método geométrico

El crecimiento será geométrico si el aumento de la población es proporcional al tamaño de ésta y se expresa por la siguiente fórmula:

$$Pf = Pa \times \left(1 + \frac{i}{100}\right)^t \quad (\text{Ecuación 8.1})$$

Donde:

- $Pf$  : Población futura (hab.)
- $Pa$  : Población inicial de referencia (hab.)
- $i$  : Índice de crecimiento anual (%)
- $t$  : Periodo de diseño (años)

### b) Método exponencial

$$Pf = Pa \times e^{\frac{i \times t}{100}} \quad (\text{Ecuación 8.2})$$

Donde:

- $Pf$  : Población futura (hab.)
- $Pa$  : Población inicial de referencia (hab.)
- $i$  : Índice de crecimiento (%)
- $t$  : Periodo de diseño (años)
- $e$  : Base de los logaritmos neperianos

### d) Método Wappaus

$$Pf = Pa \times \left(\frac{200 + i \times t}{200 - i \times t}\right) \quad (\text{Ecuación 8.3})$$

Donde:

- $Pf$  : Población futura (hab.)
- $Pa$  : Población inicial de referencia (hab.)
- $i$  : Índice de crecimiento anual (%)
- $t$  : Periodo de diseño (años)



**Tabla 8.1. Cálculo de la población futura**

Método geométrico	Método exponencial	Método Wappaus
$Pf_{2019} = Pa \times \left(1 + \frac{i}{100}\right)^t$	$Pf_{2019} = Pa \times e^{\frac{i \times t}{100}}$	$Pf_{2019} = Pa \times \left(\frac{200 + i \times t}{200 - i \times t}\right)$
$Pf_{2019} = 4219 \times \left(1 + \frac{1,68}{100}\right)^{10}$	$Pf_{2019} = 4219 \times e^{\frac{1,68 \times 10}{100}}$	$Pf_{2019} = 4219 \times \left(\frac{200 + 1,68 \times 10}{200 - 1,68 \times 10}\right)$
$Pf_{2019} = 4984 \text{ hab}$	$Pf_{2019} = 4991 \text{ hab}$	$Pf = 4993 \text{ hab}$

**Fuente: Los Autores**

Luego de la revisión de las Normas vigentes y de acuerdo a las consideraciones expuestas, se ha decidido que lo más adecuado para computar la población de diseño es la aplicación del método geométrico. Por lo tanto la población futura adoptada será 4984 hab.

### 8.1.3. DOTACIÓN FUTURA

Es la que corresponde a la dotación doméstica, o sea, aquella necesaria únicamente para cubrir el consumo doméstico. Los valores de esta dotación dependen de algunos factores como son: clima, nivel de vida y además si se trata de zonas urbanas o rurales. En nuestro caso se recomienda para una población urbana de clima frío entre 80 y 120 L/hab/día. Para el cálculo del aporte por consumo de agua potable hacia las redes de alcantarillado sanitario. Adoptamos un valor promedio de 100 L/hab./día.

### 8.1.4. CAUDALES DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE CELICA

#### 8.1.4.1. CAUDAL MÍNIMO HORARIO AFORADO

Este caudal corresponde al mínimo de los caudales aforados, es importante de su conocimiento ya que este puede generar velocidades reducidas causando sedimentación en las unidades del tratamiento. El caudal mínimo horario aforado es 2,88 L/s.



#### 8.1.4.2. CAUDAL MEDIO HORARIO AFORADO

Este caudal resulta del análisis cuantitativo estadístico de los caudales de aforo, obteniéndose un valor de 4,36 L/s.

#### 8.1.4.3. CAUDAL MÁXIMO HORARIO AFORADO

Se debe considerar el caudal máximo de los caudales aforados, es importante ya que en base a las velocidades que genera éste puede afectar a las unidades del tratamiento como es el caso de la colmatación por acumulación de sólidos. El caudal máximo horario aforado es 5,02 L/s.

#### 8.1.4.4. CAUDAL MEDIO DIARIO (Qmd)

Es el aporte medio diario al alcantarillado sanitario; se lo obtiene multiplicando la dotación futura por la población al final del periodo de diseño y por el coeficiente de retorno.

$$Qmd = \frac{D \times Pf \times C}{86400} \quad (\text{Ecuación 8.4})$$

Donde:

- Qmd* : Caudal medio diario (L/s)
- D* : Dotación media futura (L/hab/día)
- Pf* : Población futura (hab)
- C* : Coeficiente de Retorno

**Coeficiente de Retorno:** Este coeficiente tiene en cuenta de que no toda el agua consumida dentro del domicilio es devuelta al alcantarillado. Se puede establecer, entonces, que solo un porcentaje del total del agua consumida se devuelve al alcantarillado. Este porcentaje es el llamado “coeficiente de retorno”, el que estadísticamente fluctúa entre 70% a 80 %. (Norma EX-IEOS). Para nuestro caso se eligió el 80%.



Por lo tanto el caudal medio diario es:

$$Qmd = \frac{D \times Pf \times C}{86400}$$

$$Qmd = \frac{100L/hab/día \times 4984hab \times 0,80}{86400}$$

$$Qmd = 4,61 L/s$$

#### 8.1.4.5. CAUDAL MÁXIMO HORARIO (QMH)

Este caudal se lo obtiene multiplicando el consumo medio diario por un factor pico que se llama coeficiente de simultaneidad, el cual se selecciona de acuerdo a las características propias de cada población.

**Coficiente de simultaneidad:** permite determinar las máximas y las mínimas que tiene el caudal de agua residual, en relación con las variaciones de consumo de agua potable, dependiendo fundamentalmente del número de habitantes.

También se puede emplear ecuaciones empíricas para determinar el coeficiente de simultaneidad. Para nuestro caso hemos adoptado el factor de relación de Harmon, el mismo que fluctúa entre  $1,80 \leq M \leq 3,00$ . (INAA, 1976).

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{Pf}} \quad (\text{Ecuación 8.5})$$

Donde:

$M$  : Factor de relación de Harmon

$Pf$  : Población futura en miles de habitantes

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{4984}}$$

$$M = 1,19$$



Por lo tanto, el caudal máximo horario es:

$$Q_{MH} = M \times Q_{md} \quad (\text{Ecuación 8.6})$$

$$Q_{MH} = 1,80 \times 4,61 \text{ L/s}$$

$$Q_{MH} = 8,30 \text{ L/s}$$

#### 8.1.4.6. CAUDAL DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

Al no existir la presencia de ninguna industria en la zona, no se ha considerado este valor.

#### 8.1.4.7. CAUDAL DE AGUAS DE INFILTRACIÓN

Las aguas de infiltración son aquellas que, debido a la presencia de aguas subterráneas y a imperfecciones en las juntas de tuberías y colectores, penetran por ellos aportando al caudal normal de circulación.

Para nuestro cálculo se ha considerado un coeficiente de infiltración de 0.0001 lit/s/m considerando que la tubería en su totalidad es de PVC multiplicado por longitud de tubería total del sistema de alcantarillado existente.

$$Q_{inf} = 0,0001 \text{ L/s/m} \times \text{Longitud de tubería} \quad (\text{Ecuación 8.7})$$

$$Q_{inf} = 0,0001 \text{ L/s/m} \times 21662 \text{ m}$$

$$Q_{inf} = 2,17 \text{ L/s}$$

#### 8.1.4.8. CAUDAL DE AGUAS ILÍCITAS

Este aporte proviene principalmente de conexiones que equivocadamente se hacen de las aguas lluvias, domiciliarias y clandestinas; se puede estimar este valor en un 10% del caudal máximo horario.

$$Q_{ili} = 0,10 \times Q_{MH} \quad (\text{Ecuación 8.8})$$

$$Q_{ili} = 0,10 \times 8,30 \text{ L/s}$$

$$Q_{ili} = 0,83 \text{ L/s}$$



### 8.1.4.9. CAUDALES DE DISEÑO

Para el caudal máximo y medio de diseño se ha sumado los caudales propuestos anteriormente, en el caso del primero se ha sumado el caudal máximo horario, el caudal de aguas de infiltración y el caudal de aguas ilícitas, mientras que en el segundo se reemplaza el caudal máximo horario por el caudal medio diario.

$$Q_{m\acute{a}x} d = Q_{MH} + Q_{inf} + Q_{ili} \quad (\text{Ecuaci3n 8.9})$$

$$Q_{m\acute{a}x} d = 8,3L/s + 2,17L/s + 0,83L/s$$

$$Q_{m\acute{a}x} d = 11,30L/s$$

$$Q_{med} d = Q_{md} + Q_{inf} + Q_{ili} \quad (\text{Ecuaci3n 8.10})$$

$$Q_{med} d = 4,61L/s + 2,17L/s + 0,83L/s$$

$$Q_{med} d = 7,61L/s$$

Los caudales de diseo que se consideraron para las unidades del tratamiento, fueron el resultado de promediar los caudales de aforo con los caudales te3ricos. Cabe sealar que para el caso de los caudales aforados de la ciudad de Celica se los mayoraron en un 20% por las descargas no aforadas, debido a que 3stas descargaban en quebradas embauladas que aumentaban su caudal por aportaci3n de las mismas, consider3ndolas como no representativas.

#### Caudales de diseo finales:

$$Q_{m\acute{a}x} d = \frac{Q_{m\acute{a}x} d + Q_{m\acute{a}x} Aforo}{2}$$

$$Q_{m\acute{a}x} d = \frac{11,30L/s + 6,02L/s}{2}$$

$$Q_{m\acute{a}x} d = 8,66L/s$$

$$Q_{med} d = \frac{Q_{med} d + Q_{med} Aforo}{2}$$

$$Q_{med} d = \frac{7,61L/s + 5,23L/s}{2}$$

$$Q_{med} d = 6,42L/s$$



Tabla 8.2. Resumen de las bases de diseño

Población de diseño (2019)	$P_f =$	4984 hab
Dotación de AAPP (2019)	$D =$	100 L/hab/día
Coefficiente de Retorno	$C =$	0,80
Caudal medio diario	$Q_{md} =$	$\frac{100L/hab/día \times 4984hab \times 0,80}{86400}$
	$Q_{md} =$	4,61 L/s
Factor de relación de Harmon $1,80 \leq M \leq 3,00$		$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{P_f}}$
Coefficiente de Punta	$M =$	1,19
	$M =$	1,80 Adoptado
Caudal máximo horario	$Q_{MH} =$	4,61 L/s x 1,80
	$Q_{MH} =$	8,30 L/s
Coefficiente de infiltración (PVC)		0,0001 L/s/m
Longitud de tubería	$L_{tub} =$	21662 m
Caudal de infiltración	$Q_{inf} =$	0,0001 L/s/m x 21662 m
	$Q_{inf} =$	2,17 L/s
Coefficiente por conexiones ilícitas		10 %
Caudales ilícitos	$Q_{ili} =$	10 % x 8,30 L/s
	$Q_{ili} =$	0,83 L/s
Caudal máximo de diseño	$Q_{máxd} =$	8,30 L/s + 2,17 L/s + 0,83 L/s
	$Q_{máxd} =$	11,30 L/s
Caudal medio de diseño	$Q_{medd} =$	4,61 L/s + 2,17 L/s + 0,83 L/s
	$Q_{medd} =$	7,61 L/s
Caudales de aforo		
	$Q_{máx} =$	5,02 L/s
Caudal más el 20 % por cada descarga que no se aforo	$Q_{máx} =$	5,02 L/s x 1,20 = 6,02 L/s
	$Q_{med} =$	4,36 L/s
Caudal más el 20 % por cada descarga que no se aforo	$Q_{med} =$	4,36 L/s x 1,20 = 5,23 L/s
CAUDALES DE DISEÑO	$Q_{máxd} =$	11,30 L/s + 6,02 L/s
	$Q_{máxd} =$	8,66 L/s
	$Q_{medd} =$	7,61 L/s + 5,23 L/s
	$Q_{medd} =$	6,42 L/s

Fuente: Los Autores





## 8.2. DIMENSIONES DE LAS UNIDADES DE PRETRATAMIENTO

### 8.2.1. CAJÓN DE ENTRADA

Es indispensable construir a la entrada de la PTAR un cajón para inspecciones. Debido al emisario hacia la planta, se cree conveniente colocar un pozo o cajón de 0,60 m de ancho por 0,60 m de largo, que tendrá una pantalla para romper presión de llegada y uniformizar velocidades. El fondo de este cajón está 10 cm más bajo que el nivel de llegada del emisario (**10 a 15 cm** según recomendaciones del **EX-IEOS**).

Ancho de cajón =	0,6 m
Largo de Cajón =	0,6 m
Altura del cajón de llegada =	0,6 m
Distancia de la pantalla rompe presión adoptada =	0,2 m
Altura de la pantalla =	0,4 m
Ancho de la pantalla =	0,4 m
Espesor de la pantalla =	0,1 m

### 8.2.2. DISEÑO DEL CANAL DE ENTRADA

#### SEGÚN EL MANUAL DE URALITA

El canal de entrada se diseñara con las siguientes características:

Sección:	Rectangular
Ancho del canal (m):	$0,3 \leq B \leq 0,7$
Pendiente del canal (m):	$\geq 0,5 \%$
Capacidad del canal (m):	Q <sub>máx</sub> de entrada a pretratamiento
Altura máxima útil (m):	0,7
Altura de reguardo (m):	$> 0,4$
Velocidad a Q <sub>med</sub> (m/s):	$> 0,6$
Velocidad a Q <sub>máx</sub> (m/s):	$< 3,0$



Modelo de cálculo de velocidad:  $v = 73 \times R^{2/3} \times S^{1/2}$  (Ecuación 8.11)

Donde:

- $R$  : Radio Hidráulico
- $S$  : Pendiente del canal

Caudal de entrada a pretratamiento

$$Q = BY \times \left( \frac{1}{n} \left( \frac{BY}{B+2Y} \right)^{2/3} S^{1/2} \right) \quad \text{(Ecuación 8.12)}$$

Donde:

- $Q$  : Caudal (L/s)
- $n$  : Coeficiente de rugosidad de Manning
- $B$  : Ancho del canal de entrada (m)
- $Y$  : Tirante del caudal (m)
- $S$  : Pendiente del canal

Caudal de entrada a pretratamiento	$Q_{\text{máx}} = 8,66 \text{ L/s}$	$= 0,00866 \text{ m}^3/\text{s}$	$= 31,18 \text{ m}^3/\text{h}$
	$Q_{\text{med}} = 6,42 \text{ L/s}$	$= 0,00642 \text{ m}^3/\text{s}$	$= 23,11 \text{ m}^3/\text{h}$
	$S = 0,02$	m/m	
	$n = 0,013$	Manning	
	$B = 0,3 \text{ m}$	Adoptado	

$$Q = BY \times \left( \frac{1}{n} \left( \frac{BY}{B+2Y} \right)^{2/3} S^{1/2} \right)$$

(MANNING)

Velocidad a  $Q_{\text{máx}}$  (m/s) < 3,0

$Q_{\text{máx}} = 0,00866 \text{ m}^3/\text{s}$	
$Y = 0,03067 \text{ m}$	TANTEOS
$V = 0,93 \text{ m/s}$	< 3,0 m/s OK
$Q = 0,00866 \text{ m}^3/\text{s}$	
<b>Borde libre = 0,009 m</b>	SEGURIDAD
<b>Altura total del canal = 0,040 m</b>	
<b>Modelo de cálculo de velocidad = 0,89 m/s</b>	URALITA



Velocidad a  $Q_{med}d$  (m/s) > 0,6

$$Q_{med}d = 0,00642 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Y = 0,02532 \text{ m} \quad \text{TANTEOS}$$

$$V = 0,84 \text{ m/s} \quad > 0,6 \text{ m/s OK}$$

$$Q = 0,00642 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Borde libre} = 0,008 \text{ m} \quad \text{SEGURIDAD}$$

$$\text{Altura total del canal} = 0,033 \text{ m}$$

$$\text{Modelo de cálculo de velocidad} = 0,80 \text{ m/s} \quad \text{URALITA}$$

### SEGÚN STAVIATOSLAV KROCHIN

Para el dimensionamiento del canal de llegada al pretratamiento se elige transportar agua mediante un canal rectangular.

Las formulas usadas para canal rectangular son:

$$k = \frac{Q \times n}{b^{8/3} \times S^{1/2}} \quad (\text{Ecuación 8.13})$$

Donde:

- $K$  : Constante de velocidad
- $Q$  : Caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
- $n$  : Coeficiente de rugosidad de Manning
- $b$  : Ancho del canal de llegada (m)
- $S$  : Pendiente del canal (%)

$$\frac{d}{b} = 1,66240 \times k^{0,74232} \quad (\text{Ecuación 8.14})$$

Donde:

- $d$  : Tirante de agua en el canal (m)
- $b$  : Ancho en el canal de llegada (m)
- $k$  : Constante de velocidad



La velocidad debe mantenerse entre los límites **(0,7 – 2,0 m/s)** según **Staviatoslav Krochin**. Para comprobar la velocidad se utiliza la ecuación de Manning:

$$v = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2} \quad (\text{Ecuación 8.15})$$

Donde:

- $v$  : Velocidad con que llega el agua al canal (m/s)
- $n$  : Coeficiente de rugosidad de Manning
- $R$  : Radio hidráulico del canal (m)
- $S$  : Pendiente del canal (%)

$$S = 0,02 \quad \text{m/m}$$

$$n = 0,013 \quad \text{Coeficiente de rugosidad de Manning}$$

$$B = 0,3 \text{ m} \quad \text{Adoptado}$$

$$Q_{\text{máx}}d = 0,00866 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$k = 0,0197$$

$$d = 0,027 \text{ m}$$

$$R = 0,023$$

$$v = 0,88 \text{ m/s} \quad < 3,0 \text{ m/s OK} \quad \text{URALITA}$$
$$0,7 \text{ m/s} \leq v \leq 2,0 \text{ m/s OK} \quad \text{Staviatoslav Krochin}$$

$$Q_{\text{med}}d = 0,00642 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$k = 0,0146$$

$$d = 0,022 \text{ m}$$

$$R = 0,019$$

$$v = 0,77 \text{ m/s} \quad > 0,6 \text{ m/s OK} \quad \text{URALITA}$$

Se recomienda una altura de seguridad  $\geq 0,40 \text{ m}$ , pero dadas las características de diseño se adopta  $d = 0,40 \text{ m}$ .



**Tabla 8.3. Resumen de los datos de entrada a pretratamiento**

Ancho del canal	0,30	m
Calado del canal a caudal máximo	3	cm
Calado del canal a caudal medio	2,5	cm
Altura del canal	0,40	m
Longitud del canal	1,00	m
Desnivel del canal	2,00	cm

**Fuente: Los Autores**

#### LONGITUD DE TRANSICIÓN AL CANAL DE ENTRADA

$$L = \frac{b_1 - b_2}{2 \times \operatorname{tg} 12,5^\circ} \quad (\text{Ecuación 8.16})$$

Donde:

$b_1$  : Ancho mayor

$b_2$  : Ancho menor

$$L = \frac{b_1 - b_2}{2 \times \operatorname{tg} 12,5}$$

$b_1$  ancho de cajón de entrada = 0,60 m

$b_2$  ancho de canal de entrada = 0,30 m

Angulo = 12,5 °

L transición = 0,68 m

#### 8.2.3. DISEÑO DE REJAS DE DESBASTE

**Tabla 8.4. Dimensiones de la Rejilla**

Ancho de los barrotes de la rejilla (5 - 15mm)	(a)=	15	mm	Norma SSA
Profundidad de la barra (25 - 37,5mm)	(e) =	25	mm	Norma SSA
Ancho del canal de entrada	(c)=	300	mm	
Separación útil entre barrotes (25 - 50mm)	(s)=	25	mm	Norma SSA
Inclinación de la rejilla con la horizontal (25 - 50°)	(φ)=	45	°	Adoptado
Velocidad de aproximación (0,30 - 0,60 m/s)	(v) =	0,6	m/s	Adoptado

**Fuente: Los Autores**

#### ANCHO EN LA ZONA DE REJILLAS (b en mm)

$$b = \left( \frac{c}{s} - 1 \right) \times (s + a) + s \quad (\text{Ecuación 8.17})$$



$$b = \left( \frac{0,30m}{0,025m} - 1 \right) \times (0,025m + 0,015m) + 0,025m$$

**b = 0,465 m**  
**b = 0,50 m    Adoptado**

NÚMERO DE BARRAS (n en unidades)

$$n = \frac{b-s}{a+s} \quad \text{(Ecuación 8.18)}$$

$$n = \frac{0,50m - 0,025m}{0,015m + 0,025m} \quad \mathbf{n = 11,88 \text{ u}}$$

**n = 12 u    Adoptado**

PÉRDIDA DE CARGA EN BARRAS

$$h_f = F \times \left( \frac{e}{s} \right)^{\frac{4}{3}} \times \frac{v^2}{2g} \text{sen} \varnothing \quad \text{(Ecuación 8.19)}$$

Factor de forma de las barras  $\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{F = 1,79} \quad \text{Circular} \\ \mathbf{F = 2,42} \quad \text{Rectangular con aristas vivas} \end{array} \right.$

$$h_f = 2,42 \times \left( \frac{0,025}{0,025} \right)^{\frac{4}{3}} \times \frac{(0,60)^2}{2 \times 9,81} \text{sen} 45$$

**hf = 0,030 m**  
**hf = 3 cm**

En la práctica, para diseño, se adopta por lo menos una pérdida de 15 cm.

ÁREA DEL CANAL

$$A = \frac{Q_{máx} d}{v} \quad \text{(Ecuación 8.20)}$$

$$A = \frac{0,00866 \text{ m}^3/\text{s}}{0,67 \text{ m/s}} = 0,013 \text{ m}^2$$

ALTURA DE LA LÁMINA DE AGUA

$$A = b \times h \quad \mathbf{h = 0,026 \text{ m}}$$

$$h = \frac{A}{b} \quad \mathbf{h = 0,40 \text{ m} \quad \text{Adoptado}}$$

**h = 40 cm**



LONGITUD DE LA REJILLA

$$L = \frac{h}{\text{sen}\theta} \quad (\text{Ecuación 8.21})$$

$$L = \frac{0,40\text{m}}{\text{sen}45^\circ}$$

$$L = 0,57 \text{ m}$$

$$L = 0,60 \text{ m}$$

$$L = 60 \text{ cm}$$

Adoptado

CALCULO DE LA VELOCIDAD

Según la norma del **EX-IEOS** la velocidad en la rejilla a  $Q_{\text{med}}$  debe estar entre **0,4 y 0,75 m/s**. Para comprobar la velocidad utilizamos las formulas de **Staviatoslav Krochin** de canal rectangular y la velocidad de la ecuación de **Manning**.

$$k = \frac{Q \times n}{b^{8/3} \times S^{1/2}}$$

$$\frac{d}{b} = 1,66240 \times k^{0,74232}$$

$$v = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2}$$

**S** = 0,02 m/m

**n** = 0,013 Coeficiente de rugosidad de Manning

**b** = 0,50 m Adoptado

**$Q_{\text{med}}d$**  = 0,00642 m<sup>3</sup>/s

**k** = 0,0037

**d** = 0,013 m

**R** = 0,012

**v** = 0,59 m/s

< 1,0 m/s **OK**

**URALITA**

0,4 m/s ≤ v ≤ 0,75 m/s **OK**

**EX-IEOS**

**$Q_{\text{máx}}d$**  = 0,00866 m<sup>3</sup>/s

**k** = 0,0051

**d** = 0,016 m

**R** = 0,015

**v** = 0,67 m/s

< 1,0 m/s **OK**

**URALITA**

0,4 m/s ≤ v ≤ 0,75 m/s **OK**

**EX-IEOS**



**EN EL MANUAL DE URALITA RECOMIENDA QUE:**

Las rejas se ubicarán con limpieza a favor de la corriente, por lo tanto:

$V_r(Q_{med}) > 0,6 \text{ m/s}$

$V_r(Q_{med}) < 1,0 \text{ m/s}$  (limpieza a favor de la corriente)

Velocidad a  $Q_{med}$  (m/s)  $> 0,6$

$Q_{med}d = 0,00642 \text{ m}^3/\text{s}$

$Y = 0,018 \text{ m}$  TANTEOS

$V = 0,70 \text{ m/s}$   $> 0,6 \text{ m/s OK}$

$Q = 0,00642 \text{ m}^3/\text{s}$

**Borde libre = 0,005 m** SEGURIDAD

**Altura total del canal = 0,023 m**

**Modelo de cálculo de velocidad = 0,68 m/s** URALITA

Velocidad a  $Q_{máx}$  (m/s)  $< 3,0$

$Q_{máx}d = 0,00866 \text{ m}^3/\text{s}$

$Y = 0,02166 \text{ m}$  TANTEOS

$V = 0,79 \text{ m/s}$   $< 3,0 \text{ m/s OK}$

$Q = 0,00866 \text{ m}^3/\text{s}$

**Borde libre = 0,006 m** SEGURIDAD

**Altura total del canal = 0,028 m**

**Modelo de cálculo de velocidad = 0,76 m/s** URALITA

**Tabla 8.5. Resumen de los datos de desbaste**

Ancho del canal en la zona de rejilla	0,50	m
Altura del canal	0,40	m
Longitud del canal	1,00	m
Número de barras	12	u
Ancho de los barrotes de las rejillas	15	mm
Separación útil entre barrotes	25	mm
Desnivel del canal	2,00	cm
Velocidad a paso medio de caudal	0,70	m/s
Velocidad a paso máximo de caudal	0,79	m/s

**Fuente: Los Autores**





LONGITUD DE TRANSICIÓN AL CANAL DE DESBASTE

**b<sub>1</sub> ancho de canal de desbaste = 0,50 m**

**b<sub>2</sub> ancho de canal de entrada = 0,30 m**

**Angulo = 12,5 °**

**L transición = 0,45 m**

$$L = \frac{b_1 - b_2}{2 \times \operatorname{tg} 12,5^\circ}$$

**8.2.4. DISEÑO DEL DESARENADOR**

**Tabla 8.6. Información típica de desarenadores de flujo horizontal**

Características	Valor	Intervalo
Tiempo de retención (s)	45-90	60
Velocidad Horizontal (m/s).	0.20-0.40	0.3
Velocidad de sedimentación para eliminación de:		
Malla 65 (m/min)	0.95-1.25	1.15
Malla 100 (m/min)	0.60-0.90	0.75
Pérdida de carga en la sección de control como porcentaje		
De la profundidad del canal (%).	30-40	36
Incremento por turbulencia en la entrada y salida	2*Dm-0.5*L	

**Fuente: Metcalf y Eddy, (pág. 523 Volumen 2)**

DATOS:

**Q<sub>máxd</sub> = 0,00866 m<sup>3</sup>/s = 8,66 L/s**

**T Reten = 60 seg**

**V<sub>H</sub> = 0,3 m/s** (V<sub>a</sub>) Velocidad horizontal

**C<sub>s</sub> = 2,65 gr/cm<sup>3</sup>** Peso específico de arenas

**D = 0,2 mm** Diámetro de las partículas de arena a retenerse

**Limpieza = 7 días** Limpieza del desarenador

ÁREA

$Q = A \times v_a$                       **A = 0,03 m<sup>2</sup>**

Relación b = 2\*h (recomendada por norma EX-IEOS)



$$\begin{array}{lll} b = 2h & h = 0,12 \text{ m} & \\ A = b \times h & h = 0,20 \text{ m} & \text{Adoptado} \\ A = 2h \times h & b = 0,40 \text{ m} & \\ A = 2h^2 & b = 0,40 \text{ m} & \text{Adoptado} \\ h = \sqrt{\frac{A}{2}} & & \end{array}$$

Altura de sedimentación **hs de 0,20 m (Norma EX-IEOS)**. Por lo tanto la altura total será:

$$ht = hs + h$$

$$ht = 0,40 \text{ m}$$

Si observamos la condición dada para desarenadores de flujo horizontal en el MANUAL DE URALITA, se tiene que:

La anchura de la sección y la altura útil debe estar comprendida:  $1 < \frac{a}{h} < 5$ , donde a = ancho y h = altura.

Por lo tanto  $b/h = 2$  OK

#### VOLUMEN DE AGUA RESIDUAL

Volumen de agua que pasa por el desarenador a los 7 días.

$$Q = \frac{\text{Volumen}}{\text{tiempo}}$$

$$V_{AR} = Q \times t \quad (\text{Ecuación 8.22})$$

$$V_{AR} = 0,00642 \text{ m}^3 / \text{s} \times 7 \text{ días} \times 86400 \text{ s/día} \quad V_{AR} = 3882,816 \text{ m}^3$$

#### VOLUMEN DE SÓLIDOS A RETENERSE

La cantidad de área recogida por el desarenador, **según el Texto de la Dra. Petia Mijaylova Nacheva pag.81, varía de 75 a 90 litros por cada 1000 m<sup>3</sup> de AR.** Se tomó un valor de 80 L/1000 m<sup>3</sup> (AR).



$$V_{\text{arena}} = 80 \text{ L}/1000 \text{ m}^3 \text{ (AR)}$$

$$V_{sr} = \frac{V_{AR} \times V_{arena}}{10^6} \quad \text{(Ecuación 8.23)}$$

$$V_{sr} = \frac{3882,816 \text{ m}^3 \times 80}{10^6} = 0,31 \text{ m}^3$$

### LONGITUD DEL DESARENADOR

Según el EX-IEOS, a la longitud del desarenador se la debe incrementar entre el 30 – 50 %. Se adopto 40 %.

$$L_d = \frac{V_{sr}}{h_s \times B} \quad \text{(Ecuación 8.24)}$$

$$L_d = \frac{0,31 \text{ m}^3}{0,20 \text{ m} \times 0,40 \text{ m}}$$

$$L_d = 3,9 \text{ m}$$

$$L_d = 5 \text{ m Incrementada}$$

Según el EX-IEOS, la relación mínima entre el largo y la altura de agua debe ser como mínimo 25.

$$\frac{L_d}{h} \geq 25$$

$$\frac{L_d}{h} = 27 \text{ OK}$$

### VOLUMEN ÚTIL DEL DESARENADOR

$$V_{\text{útil}} = L_d \times h_t \times B \quad \text{(Ecuación 8.25)}$$

$$V_{\text{útil}} = 5 \text{ m} \times 0,40 \text{ m} \times 0,40 \text{ m} = 0,80 \text{ m}^3$$

### PERIODO DE RETENCIÓN

$$\text{Periodo de retención} = \frac{\text{Volumen Útil}}{Q_{\text{máx}}} \quad \text{(Ecuación 8.26)}$$

$$\text{Periodo de retención} = \frac{0,80 \text{ m}^3}{0,00866 \text{ m}^3/\text{s}} = 100 \text{ s}$$



**Tabla 8.7. Resumen de los datos del desarenador**

Ancho del desarenador	0,40	m
Ancho del desarenador doble cámara	1,00	m
Altura libre de agua, útil	0,20	m
Altura de sedimentación	0,20	m
Altura total del desarenador	0,40	m
Longitud total del desarenador	5	m
Volumen de sólidos retenidos	0,31	m <sup>3</sup>
Volumen útil del desarenador	0,80	m <sup>3</sup>
Periodo de retención	100	s

**Fuente: Los Autores**

LONGITUD DE TRANSICIÓN AL CANAL DE ENTRADA AL DESENGRASADOR

**b<sub>1</sub> ancho del desarenador = 1,00 m**

**b<sub>2</sub> ancho de canal de entrada al desengrasador = 0,40 m**

$$L = \frac{b_1 - b_2}{2 \times \operatorname{tg} 12,5^\circ}$$

**Angulo = 12,5 °**

**L transición = 1,35 m**

### 8.2.5. DISEÑO DEL CANAL DE ENTRADA AL DESENGRASADOR

#### SEGÚN EL MANUAL DE URALITA

El canal de entrada se diseñara con las siguientes características:

Sección:	Rectangular
Ancho del canal (m):	$0,3 \leq B \leq 0,7$
Pendiente del canal (m):	$\geq 0,5 \%$
Capacidad del canal (m):	Q <sub>máx</sub> de entrada a desengrasador
Altura máxima útil (m):	0,7
Altura de reguardo (m):	> 0,4
Velocidad a Q <sub>med</sub> (m/s):	> 0,6
Velocidad a Q <sub>máx</sub> (m/s):	< 3,0
Modelo de cálculo de velocidad:	$v = 73 \times R^{2/3} \times S^{1/2}$



Caudal de entrada a pretratamiento	$Q_{\text{máx}d} = 8,66 \text{ L/s} = 0,00866 \text{ m}^3/\text{s} = 31,18 \text{ m}^3/\text{h}$
	$Q_{\text{med}d} = 6,42 \text{ L/s} = 0,00642 \text{ m}^3/\text{s} = 23,11 \text{ m}^3/\text{h}$
	$S = 0,02 \text{ m/m}$
	$n = 0,013 \text{ Manning}$
	$B = 0,4 \text{ m Adoptado}$

$$Q = BY \times \left( \frac{1}{n} \left( \frac{BY}{B + 2Y} \right)^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \right)$$

MANNING

Velocidad a  $Q_{\text{máx}d} \text{ (m/s)} < 3,0$

$Q_{\text{máx}d} = 0,00866 \text{ m}^3/\text{s}$	
$Y = 0,02512 \text{ m}$	TANTEOS
$V = 0,85 \text{ m/s}$	< 3,0 m/s OK
$Q = 0,00866 \text{ m}^3/\text{s}$	
<b>Borde libre = 0,008 m</b>	SEGURIDAD
<b>Altura total del canal = 0,033 m</b>	
<b>Modelo de cálculo de velocidad = 0,82 m/s</b>	URALITA

Velocidad a  $Q_{\text{med}d} \text{ (m/s)} > 0,6$

$Q_{\text{med}d} = 0,00642 \text{ m}^3/\text{s}$	
$Y = 0,02083 \text{ m}$	TANTEOS
$V = 0,76 \text{ m/s}$	> 0,6 m/s OK
$Q = 0,00642 \text{ m}^3/\text{s}$	
<b>Borde libre = 0,006 m</b>	SEGURIDAD
<b>Altura total del canal = 0,027 m</b>	
<b>Modelo de cálculo de velocidad = 0,73 m/s</b>	URALITA

### SEGÚN STAVIATOSLAV KROCHIN

Para el dimensionamiento del canal de llegada al pretratamiento se elige transportar agua mediante un canal rectangular.

Las formulas usadas para canal rectangular son:



$$k = \frac{Q \times n}{b^{8/3} \times S^{1/2}}$$

$$\frac{d}{b} = 1,66240 \times k^{0,74232}$$

La velocidad debe mantenerse entre los límites **(0,7 – 2,0 m/s)** según **Staviatoslav Krochin**. Para comprobar la velocidad se utiliza la ecuación de Manning:

$$v = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2}$$

**S** = 0,02 m/m

**n** = 0,013 Coeficiente de rugosidad de Manning

**B** = 0,4 m Adoptado

**Q<sub>máx</sub>d** = 0,00866 m<sup>3</sup>/s

**k** = 0,0092

**d** = 0,020 m

**R** = 0,019

**v** = 0,88 m/s

< 3,0 m/s **OK**

**URALITA**

0,7 m/s ≤ v ≤ 2,0 m/s **OK Staviatoslav Krochin**

**Q<sub>med</sub>d** = 0,00642 m<sup>3</sup>/s

**k** = 0,0068

**d** = 0,016 m

**R** = 0,015

**v** = 0,67 m/s

> 0,6 m/s **OK URALITA**

Se recomienda una altura de seguridad ≥ **0,40 m**, pero dadas las características de diseño se adopta **d = 0,4**



**Tabla 8.8. Resumen de los datos de entrada al desengrasador**

Ancho del canal	0,40	m
Calado del canal a caudal máximo	2,5	cm
Calado del canal a caudal medio	2,1	cm
Altura del canal	0,40	m
Longitud del canal	1,00	m
Desnivel del canal	2,00	cm

**Fuente: Los Autores**

### 8.2.6. DISEÑO DEL DESENGRASADOR

Las cantidades de grasas incorporadas en las aguas residuales son muy variables, pero para aguas urbanas, puede considerarse unas cifras de 24 g/hab/día, o bien 28% de los sólidos en suspensión.

Caudal máximo diario =  $Q_{máxd} = 0,00866 \text{ m}^3/\text{s}$

Sólidos en suspensión= Máx = 163,83 mg/L

Mín = 115,50 mg/L

Cantidad de grasas = 24 g/hab/día

Cantidad de grasas = 45,87 mg/L (28% de los sólidos en suspensión)

Carga hidráulica = 4 L/(s\*m<sup>2</sup>) Norma EX-IEOS

Tiempo de retención = 4 min En las unidades de pequeño tamaño

### ÁREA DEL DESENGRASADOR

$$Carga\ hidráulica\ (CH) = \frac{Caudal\ a\ depurar}{Area} \quad (\text{Ecuación 8.27})$$

$$Area = \frac{Q_{máx}}{CH} = 2,17 \text{ m}^2 \quad (\text{Ecuación 8.28})$$

$$Area = \frac{8,66L/s}{4L/(s \times m^2)} = 2,17 \text{ m}^2$$

### VOLUMEN DEL DESENGRASADOR

$$V = Q_{máx} \times T_r \quad (\text{Ecuación 8.29})$$



$$\text{Relación Óptima} = \frac{L}{b} = 1,5$$

$$L = 1,5b \quad b = 1,20 \text{ m} \quad V = Q_{m\acute{a}x} \times T_r \quad V = 2,08 \text{ m}^3$$

$$A = L \times b \quad b = 1,20 \text{ m} \quad \text{Adoptado}$$

$$A = 1,5b \times b$$

$$A = 1,5b^2 \quad L = 1,80 \text{ m} \quad V = A \times h \quad h = 0,96 \text{ m}$$

$$b = \sqrt{\frac{A}{1,5}} \quad L = 2,00 \text{ m} \quad \text{Adoptado} \quad h = \frac{V}{A} \quad h = 1,00 \text{ m} \quad \text{Adoptado}$$

**Tabla 8.9. Resumen de los datos del desengrasador**

Ancho del desengrasador	1,20	m
Longitud del desengrasador	2,00	m
Altura del desengrasador	1,00	m

**Fuente: Los Autores**

### 8.3. TRATAMIENTO POR ESCORRENTIA SUPERFICIAL

Según la Guía de Tratamiento Nicaragüense, la carga hidráulica es función de la tasa de aplicación y de la longitud de la pendiente y se calcula por la ecuación siguiente:

$$CH = \frac{100TP}{S} \quad (\text{Ecuación 8.30})$$

Donde: CH : carga hidráulica, cm/d  
 T : tasa de aplicación, m<sup>3</sup>/h\*m  
 P : período de aplicación, h/d  
 S : longitud de la pendiente

Para sistemas con almacenamiento, el área de pendiente requerida se calcula por la ecuación siguiente:

$$A = \frac{365Q+V}{100D(CH)} \quad (\text{Ecuación 8.31})$$





- Donde:
- A : área de la pendiente, ha
  - V : pérdida o ganancia neta en almacenamiento debida a precipitación, evaporación y percolación, m<sup>3</sup>/año
  - Q : caudal medio diario, m<sup>3</sup>/d
  - D : número de días de operación, d/año
  - CH : carga hidráulica de diseño, cm/d

Dado el caso particular ya que nuestro sistema no posee almacenamiento antes del vertido, se puede hacer una combinación de las dos ecuaciones anteriores y se puede calcular el área de la pendiente con base en la tasa de aplicación y la longitud de la pendiente, mediante la ecuación siguiente:

$$A = \frac{(365Q+V)S}{10^4 DTP} \quad \text{(Ecuación 8.32)}$$

**Tabla 8.10. Criterios de diseño y operación de escorrentía superficial**

Criterio	Definición	Valor
Carga hidráulica	Caudal medio dividido por el área mojada de la pendiente.	0.6 – 6.7 cm/d 6.3 – 40 cm/semana
Tasa de aplicación	Caudal aplicado a la pendiente por unidades de ancho de pendiente.	0.03 – 0.24 m <sup>3</sup> /m*h
Periodo de aplicación	Horas diarias de aplicación de agua residual.	5 – 24 h/d
Frecuencia de aplicación	Número de días por semana que se aplica agua residual a la pendiente.	5 – 7 d/semana

Fuente: Guía de Tratamiento Nicaragüense, pág. XI – 21.

- Caudal máximo de diseño  $Q_{\text{máx}}d = 8,660 \text{ L/s} = 748,22 \text{ m}^3/d$
- Caudal mínimo de diseño  $Q_{\text{mín}}d = 6,420 \text{ L/s} = 554,69 \text{ m}^3/d$
- Pendiente del terreno 8 %



### ÁREA A

$$CH = \frac{100TP}{S}$$

$$A = \frac{(365Q + V)S}{10^4 DTP}$$

**T** = 0,240 m<sup>3</sup>/h\*m De tabla

**Q** = 554,69 m<sup>3</sup>/d

**P** = 12 h/d

**S** = 45 (De 36 – 45 m)

**S** = 45 m (De 36 – 45 m)

**D** = 182 d/año

**T** = 0,240 m<sup>3</sup>/h\*m De tabla

**CH** = 6,4 cm/d

**P** = 24 h/d

**V** = 0 Sin almacenamiento

**A** = 0,9 ha

### ÁREA B

$$CH = \frac{100TP}{S}$$

$$A = \frac{(365Q + V)S}{10^4 DTP}$$

**T** = 0,240 m<sup>3</sup>/h\*m De tabla

**Q** = 554,69 m<sup>3</sup>/d

**P** = 12 h/d

**S** = 45 (De 36 – 45 m)

**S** = 45 m (De 36 – 45 m)

**D** = 182 d/año

**T** = 0,240 m<sup>3</sup>/h\*m De tabla

**CH** = 6,4 cm/d

**P** = 24 h/d

**V** = 0 Sin almacenamiento

**A** = 0,9 ha

## 8.4. CONCLUSIÓN

Una vez puesto en marcha el sistema por escorrentía superficial el agua residual entra con ciertas concentraciones de contaminación, los cuales se pretende remover a través de cada una de las unidades de pretratamiento y tratamiento. A continuación en las tablas 8.11 y 8.12 se muestran un ejemplo con los porcentajes teóricos de remoción que se han alcanzado en investigaciones de este tipo de tratamientos. (Seoáñez, 2005; Crites & Tchobanoglous, 2000; Romero, 2004).

En el Anexo 8-A se detalla los planos correspondientes al diseño hidráulico de la planta de tratamiento por escorrentía superficial.



Tabla 8.11. Porcentaje de remoción en el Pretratamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celica

UNIDAD DE PRETRATAMIENTO	Calidad del constituyente del efluente que pasa a cribado fino (mg/L)	DESBASTE		DESARENADOR		DESENGRASADOR		% DE REMOCIÓN			
		% Retención	% Retención Asumida	% Retención	% Retención Asumida	% Retención	% Retención Asumida				
SS (Sólidos en Suspensión)	163,83	5 a 10	5	155,64	0 a 10	3	150,97	0,00	0	150,97	92,15
DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno)	334,67	3 a 5	3	324,63	0 a 5	1	321,38	0,00	0	321,38	96,03
Grasas	60,33	0	0	60,33	0	0	60,33	95 a 100	100	0,00	0

Fuente: Los Autores

Tabla 8.12. Porcentaje de remoción de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celica

Constituyente del Agua Residual	TRATAMIENTO POR ESCORRENTÍA SUPERFICIAL				NORMA	% DE REMOCIÓN	% DE REMOCIÓN
	Calidad del constituyente del efluente que pasa al tratamiento de escorrentía superficial (mg/L)	% Remoción	% Remoción Asumida	Calidad del constituyente del efluente para utilizar en riego (mg/L)			
SS (Sólidos en Suspensión)	150,97	> 95	70	45,29	100	72	78
DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno)	321,38	> 98	87	41,78	100	88	91
DQO (Demanda Química de Oxígeno)	752,33	> 95	83	127,90	150 - 200	83	83
N	93,00	> 85	85	13,95	15	85	85
P	33,2	> 85	80	6,64	20 - 30	80	80
Metales	1,732	> 85	82	0,31	5	82	82
Patógenos	40416667	99	99,9	40417	> 99	99,9	99,9

Fuente: Los Autores

# CAPÍTULO 9

## PRESUPUESTO



### **9.1. INTRODUCCIÓN**

Una vez realizado el diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celica, en el presente capítulo se aborda el proceso lógico que se sigue para la obtención del presupuesto. Para iniciar este proceso es preciso tener la mayor parte de la obra definida en cuanto al dimensionamiento y características técnicas de las obras diseñadas en el tratamiento, así mismo se necesita contar con los planos definitivos antes de iniciar la obra. El siguiente paso es proceder a obtener las cantidades de obra requeridas para cada unidad del proyecto antes de fijar su precio. Una vez medida y definida la obra, se procede a calcular el precio de cada unidad. El análisis de precios unitarios se ha realizado de acuerdo a los rendimientos vigentes para este tipo de obras.

### **9.2 MEDICIONES**

Las mediciones del proyecto son la base para obtener el presupuesto. Se las realiza sobre los planos, los mismos que deben estar dibujados a la escala adecuada para conseguir la máxima precisión, de ser posible, se leen directamente las cotas reales sin recurrir a los planos, debido a que pueden dar lugar a errores importantes en la fase de construcción si el plano se encontrase mal delineado o se han producido cambios en las escalas.

### **9.3 CÁLCULO DE LOS PRECIOS**

Una vez efectuadas las mediciones de las obras, es necesario proceder al cálculo del precio de cada unidad comprendida en el proyecto. Se lleva a cabo a partir de los precios de mercado de materiales, maquinaria y mano de obra, combinado con los diferentes equipos de trabajo (maquinaria y mano de obra). Los precios de los materiales pueden variar dependiendo del sitio donde se los adquiere y requiera.

El análisis de precios unitarios se detalla en el Anexo 9-A.



### 9.3.1 TIPOLOGÍA DE COSTOS

El cálculo de los precios de las distintas unidades de la obra se basa en la determinación de los costos directos e indirectos precisos para su ejecución.

#### 9.3.1.1. DEFINICIÓN DE COSTO DIRECTO

Es la suma de material, mano de obra y equipo necesarios para la realización de un proceso productivo. (Suarez, 2006)

La mano de obra interviene directamente en la ejecución de la unidad que se trate, para cada unidad de obra hay que determinar las diversas categorías laborales que intervienen en ella, estableciendo el tiempo empleado y el costo de la hora de trabajo. También hay que determinar los diferentes materiales que intervienen y el costo que representa el montar estos materiales en las estructuras. En cuanto a la maquinaria empleada para la ejecución de cada unidad, hay que establecer el tiempo empleado y el costo de su hora de su funcionamiento efectivo. Las herramientas menores se calculan aplicando el 5% sobre el costo total de la mano de obra.

#### 9.3.1.2. DEFINICIÓN DE COSTO INDIRECTO

Es la suma de todos los gastos que, por su naturaleza intrínseca, son aplicables a todos los conceptos de una obra en especial. (Suarez, 2006)

Los costos indirectos a menudo suelen estar representados por los valores de personal técnico, personal administrativo, pago por consumo de arrendamiento, pago por consumo de servicios básicos, etc. Es decir comprende los costos que no se han considerado como indirectos.

### 9.4 PRESUPUESTO

El presupuesto total del proyecto, es el costo de la obra más el 20% de costos indirectos, los mismos que incluyen el margen de utilidad que va a tener el



contratista. El objetivo del presupuesto es obtener una valoración de la obra, lo más aproximada a la realidad. El presupuesto referencial se detalla a continuación.

**Tabla 9.1. Presupuesto Referencial**

RUBRO No.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO TOTAL
<b>PRETRATAMIENTO</b>					
<b>CAJON, TRANSICION Y CANAL DE LLEGADA</b>					<b>540,60</b>
PSE001	LIMPIEZA MANUAL DEL TERRENO	m <sup>2</sup>	3,70	0,86	3,18
PSE002	REPLANTEO Y NIVELACIÓN	m <sup>2</sup>	3,70	2,35	8,70
PSE003	EXCAVACION DE MUROS	m <sup>3</sup>	2,01	6,71	13,49
PSE004	RELLENO COMPACTADO MANUAL	m <sup>3</sup>	0,46	5,83	2,68
PSE005	HORMIGÓN SIMPLE EN REPLANTILLO f'c =180 kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	0,45	94,75	42,64
PSE006	HORMIGÓN SIMPLE EN MUROS f'c =210 kg/cm <sup>2</sup> + ENCOFRADO	m <sup>3</sup>	0,46	118,01	54,28
PSE007	ACERO DE REFUERZO fy = 4200 kg/cm <sup>2</sup> ø = 12 mm	Kg	138,71	1,66	230,26
PSE008	COMPUERTA DE VOLANTE	U	1,00	185,37	185,37
<b>REJILLAS DE DESBASTE Y TRANSICION</b>					<b>342,73</b>
PSE009	LIMPIEZA MANUAL DEL TERRENO	m <sup>2</sup>	3,30	0,86	2,84
PSE0010	REPLANTEO Y NIVELACION	m <sup>2</sup>	3,30	2,35	7,76
PSE0011	EXCAVACION DE MUROS	m <sup>3</sup>	3,63	6,71	24,36
PSE0012	RELLENO COMPACTADO MANUAL	m <sup>3</sup>	0,21	5,83	1,22
PSE0013	HORMIGÓN SIMPLE EN REPLANTILLO f'c =180 kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	0,92	94,75	87,17
PSE0014	HORMIGÓN SIMPLE EN MUROS f'c =210 kg/cm <sup>2</sup> + ENCOFRADO	m <sup>3</sup>	0,40	118,01	47,20
PSE0015	REJILLAS DE DESBASTE DE 50x60	U	1,00	113,37	113,37
PSE0016	ACERO DE REFUERZO fy = 4200 kg/cm <sup>2</sup> ø = 12 mm	Kg	35,43	1,66	58,81
<b>DESARENADOR, TRANSICION Y CANAL DE ENTRADA AL DESENGRASADOR</b>					<b>1336,57</b>
PSE0017	LIMPIEZA MANUAL DEL TERRENO	m <sup>2</sup>	10,38	0,86	8,93
PSE0018	REPLANTEO Y NIVELACION	m <sup>2</sup>	10,38	2,35	24,39
PSE0019	EXCAVACION DE MUROS	m <sup>3</sup>	6,94	6,71	46,57
PSE0020	RELLENO COMPACTADO MANUAL	m <sup>3</sup>	0,95	5,83	5,54
PSE0021	HORMIGÓN SIMPLE EN REPLANTILLO f'c =180 kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	1,50	94,75	142,13
PSE0022	HORMIGÓN SIMPLE EN MUROS f'c =210 kg/cm <sup>2</sup> + ENCOFRADO	m <sup>3</sup>	2,25	118,01	265,52
PSE0023	COMPUERTA DE VOLANTE	U	4,00	185,37	741,48
PSE0024	ACERO DE REFUERZO fy = 4200 kg/cm <sup>2</sup> ø = 12 mm	Kg	61,45	1,66	102,01
<b>DESENGRASADOR</b>					<b>280,97</b>
PSE0025	LIMPIEZA MANUAL DEL TERRENO	m <sup>2</sup>	4,08	0,86	3,51
PSE0026	REPLANTEO Y NIVELACION	m <sup>2</sup>	4,08	2,35	9,59
PSE0027	EXCAVACION DE MUROS	m <sup>3</sup>	4,70	6,71	31,54
PSE0028	RELLENO COMPACTADO MANUAL	m <sup>3</sup>	0,75	5,83	4,37
PSE0029	HORMIGÓN SIMPLE EN REPLANTILLO f'c =180 kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	0,62	94,75	58,75
PSE0030	HORMIGÓN SIMPLE EN MUROS f'c =210 kg/cm <sup>2</sup> + ENCOFRADO	m <sup>3</sup>	1,10	118,01	129,81



ESTUDIO, DISEÑO Y SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS APLICABLE A LA CIUDAD DE CELICA.

CAPITULO 9

RUBRO No.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO TOTAL
PSE0031	ACERO DE REFUERZO $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ $\phi = 12 \text{ mm}$	Kg	13,76	1,66	22,84
PSE0032	TUBERIA DE DESAGUE DE PVC $\phi = 110 \text{ mm}$	m	2,00	10,28	20,56
<b>TRATAMIENTO</b>					<b>61133,72</b>
PSE0033	LIMPIEZA MANUAL DEL TERRENO	m <sup>2</sup>	7,04	0,86	6,05
PSE0034	REPLANTEO Y NIVELACION	m <sup>2</sup>	20300,00	2,35	47705,00
PSE0035	EXCAVACION DE MUROS	m <sup>3</sup>	312	6,71	2093,52
PSE0036	RELLENO COMPACTADO MANUAL	m <sup>3</sup>	87,56	5,83	510,47
PSE0037	HORMIGON SIMPLE EN REPLANTILLO $f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$	m <sup>3</sup>	48,07	94,75	4554,63
PSE0038	HORMIGON SIMPLE EN MUROS $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ + ENCOFRADO	m <sup>3</sup>	29,78	118,01	3514,34
PSE0039	ACERO DE REFUERZO $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ $\phi = 12 \text{ mm}$	Kg	246,10	1,66	408,53
PSE0040	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA PERFORADA DE PVC $\phi = 110 \text{ mm}$	m	720,00	2,71	1951,20
PSE0041	UNION PVC DESAGUE $\phi = 110 \text{ mm}$	U	120,00	2,71	325,20
PSE0042	CODO PVC DESAGUE DE 90° $\phi = 110 \text{ mm}$	U	5,00	3,22	16,10
PSE0043	TEE PVC DESAGUE $\phi = 110 \text{ mm}$	U	3,00	4,05	12,15
PSE0044	VALVULA CORTADORA DE COMPUERTA	U	1,00	36,53	36,53
PSE0045	TUBERIA DE DESAGUE DE PVC $\phi = 110 \text{ mm}$	m	20,00	10,28	205,60
<b>CERRAMIENTO Y CASETA DE GUARDIAN</b>					<b>12592,22</b>
PSE0046	POSTES DE HORMIGON H = 1.50 m	U	305,00	22,03	6719,15
PSE0047	CERRAMIENTO DE ALAMBRE DE PUAS	m <sup>2</sup>	609,52	6,70	4083,78
PSE0048	PUERTA DE MALLA GALVANIZADA PEATONAL, SEGÚN DETALLE	U	1,00	58,45	58,45
PSE0049	EXCAVACION EN PLINTOS Y CIMIENTOS	m <sup>3</sup>	8,64	8,95	77,33
PSE0050	RELLENO COMPACTADO MANUAL	m <sup>3</sup>	8,00	5,83	46,64
PSE0051	HORMIGON SIMPLE EN REPLANTILLO $f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$	m <sup>3</sup>	0,30	94,75	28,43
PSE0052	HORMIGON SIMPLE EN CADENAS DE AMARRE $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ + ENCOFRADO	m <sup>3</sup>	0,03	147,43	4,72
PSE0053	HORMIGON SIMPLE $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ + ENCOFRADO	m <sup>3</sup>	3,50	136,69	478,42
PSE0054	LOSETA MACIZA e = 15 cm $210 \text{ kg/cm}^2$	m <sup>2</sup>	1,50	219,35	329,03
PSE0055	MALLA ELECTROSOLDADA 5 x 5 m	U	1,00	6,50	6,50
PSE0056	PUERTA METALICA TUBO 1" + TOOL DE 0,90 X 2,10 M	U	1,00	126,01	126,01
PSE0057	VENTANA DE HIERRO CON PROTECCION + VIDRIO	U	1,00	36,03	36,03
PSE0058	MAMPOSTERIA DE LADRILLO 10 X 25X 7 + MORTERO DE 1:6	m <sup>2</sup>	32,67	13,37	436,80
PSE0059	INODORO DE TANQUE	U	1,00	67,27	67,27
PSE0060	LAVABO	U	1,00	39,76	39,76
PSE0061	ACERO DE REFUERZO $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ $\phi = 10 \text{ mm}$	Kg	14,86	1,40	20,80
PSE0062	ACERO DE REFUERZO $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ $\phi = 12 \text{ mm}$	Kg	19,94	1,66	33,10
<b>Loja, febrero del 2010</b>				<b>SUBTOTAL</b>	76226,80
<b>Son: Setenta y seis mil doscientos veinte y seis dólares con ochenta centavos.</b>				<b>IVA (%)</b>	0
				<b>TOTAL</b>	76226,80

Fuente: Los Autores





El presupuesto referencial de la obra es de 76 226,81 dólares americanos, el mismo que al dividirlo por 3693 que es el número de habitantes de la localidad nos da un costo de 20,64 dólares americanos por habitante.

## 9.5 COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Los costos de operación y mantenimiento del sistema de tratamiento por escorrentía superficial, depende de variables como tamaño de la planta depuradora, necesidad de personal, frecuencia del mantenimiento, control del funcionamiento, programa de capacitación al personal, herramientas.

El costo anual de operación y mantenimiento para el sistema de tratamiento propuesto es de 7 842, 79 dólares americanos, el mismo que al dividirlo por el número de habitantes de la localidad nos da un costo de 2,12 dólares americanos.

El costo total de construcción, operación y mantenimiento asignado para cada habitante es de 22,76 dólares americanos.

Los costos de operación y mantenimiento se detallan en la tabla 9.2 a continuación.



Tabla 9.2. Costos de Operación y Mantenimiento

<b>PERSONAL:</b>				
No. Personas	Personal	Jornal real / día	No. de días	Total anual
1	Operador	17,04	365	6219,60
1	Peón	17,04	48	817,92
			<b>Subtotal:</b>	<b>7037,52</b>
<b>CAPACITACION:</b>				
Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Total Anual
Curso de capacitación	Hora	12	12,00	144,00
			<b>Subtotal:</b>	<b>144,00</b>
<b>HERRAMIENTAS:</b>				
Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Total Anual
pH metro de campo para suelo	U	1	110,50	110,50
Linterna	U	1	8,20	8,20
Pico	U	1	9,30	9,30
Pala	U	1	12,00	12,00
Barreta	U	1	20,00	20,00
Lampa	U	1	4,17	4,17
Rastrillo	U	1	15,00	15,00
Machete	U	1	3,10	3,10
Carretilla	U	1	45,00	45,00
			<b>Subtotal</b>	<b>227,27</b>
<b>EQUIPO PARA EL PERSONAL:</b>				
Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Total Anual
Guantes de butilo	Par	2	25,00	50,00
Mascarilla Buconasal con dos filtros	U	1	35,00	35,00
Casco de seguridad ligero	U	1	20,00	20,00
Botas de hule para agua	Par	1	32,00	32,00
Gafas tipo panorámica	Par	1	15,00	15,00
Mono laboral impermeable	Global	1	32,00	32,00
			<b>Subtotal:</b>	<b>184,00</b>
<b>CONTROL DE CLIDAD DEL AGUA RESIDUAL</b>				
Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Total Anual
Muestras de agua residual	Global	12	20,83	250,00
			<b>Subtotal:</b>	<b>250,00</b>
<b>Total anual = 7037,52 + 144,00 + 227,27 + 184,00 + 250,00 =</b>				<b>7842,79</b>
<b>Número de viviendas servidas de la ciudad de Celica =</b>				<b>600</b>
<b>Costo anual por vivienda =</b>				<b>13,07</b>
<b>Costo mensual por vivienda =</b>				<b>1,09</b>

Fuente: Los Autores

# **CAPÍTULO 10**

**MANUAL DE  
OPERACIÓN Y  
MANTENIMIENTO**



## 10.1. GENERALIDADES

Las limitaciones financieras y el bajo nivel de gestión por parte de los pequeños municipios han sido algunos de los causantes de la escases de recursos para el pago de técnicos especializados, y operadores para el buen funcionamiento de una estación depuradora de aguas residuales, debido a estos problemas se ha visto la necesidad de realizar estudios técnicos con el objeto de implementar sistemas de tratamientos por métodos naturales.

Para que estos sistemas naturales de tratamiento de aguas residuales ayuden a disminuir y controlar la contaminación, deben contar con obras de infraestructura adecuadas y un personal que identifique los procesos que hagan posible el funcionamiento óptimo, eficiente y efectivo de la estación depuradora, sin que se produzcan interrupciones debidas a las fallas de cualquiera de los elementos, procesos u operaciones ocasionadas por una deficiente operación y mantenimiento de cada uno de los elementos de la depuradora.

El manual estará sujeto a procesos operacionales sencillos y de bajo costo que permitan llevar a cabo el mantenimiento sin problemas de personal y equipo.

### **Los objetivos de este manual son:**

- Dar información a los encargados de la planta depuradora sobre la puesta en marcha, mantenimiento y operaciones mínimas que se deben desarrollar para el buen funcionamiento de las unidades que constituyen el sistema de tratamiento natural.
- Facilitar a los encargados de la planta un manual que les permita dar un mantenimiento óptimo y sin complicaciones.
- Describir procesos de operación sencillos y entendibles para los trabajadores, lo cual permita minimizar costos en equipo y capacitación a los municipios.



- Presentar los parámetros de control necesarios que se deben dar a las unidades del sistema, de manera que ésta cumpla con los requerimiento de depuración establecidos.
- Proteger de la contaminación al ambiente receptor, asegurándonos que la planta depuradora trabaje con los niveles de eficiencia para los cuales fue diseñada, basados en un óptimo mantenimiento.

## 10.2. FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DEPURADORA

Su funcionamiento depende primordialmente de la capacidad receptora de agua, y de las unidades de tratamiento que posee. Es necesario que la estación depuradora de aguas residuales cuente con estructuras de tratamiento preliminar de llegada y mantenimiento, un tratamiento primario dependiendo de las características de las aguas residuales, y tratamiento biológico que comprende el sistema natural propuesto según las características del lugar.

Para la presente investigación luego de la selección de alternativas para el tratamiento de aguas residuales, se determinó que el sistema adecuado dependiendo de las características del lugar es el Tratamiento por Escorrentía Superficial, por lo cual se hace referencia al mismo en este manual. Las unidades que conforman este tratamiento se detallan a continuación:

Unidades de pretratamiento:

- Cajón de Llegada y Compuertas
- Desbaste
- Desarenado
- Cámara de grasas

Tratamiento Natural por Escorrentía Superficial



### 10.3. UNIDADES DE PRETRATAMIENTO

#### 10.3.1. CAJÓN DE LLEGADA Y COMPUERTAS DE ADMISIÓN

##### 10.3.1.1. CAJÓN DE LLEGADA

La función principal de esta estructura es romper la presión al final del emisario principal y permitir un rebose de las aguas residuales por el by-pass, mediante su cierre total o parcial en épocas de lluvia o en períodos de limpieza ó mantenimiento.

Tiene la finalidad de disipar la energía con la que llegan las aguas residuales por el emisario final y permite uniformizar la velocidad del efluente. Por la importancia que tiene se debe dar *mantenimiento* si es posible diariamente a fin de que trabaje cumpliendo su función.

Es preciso que un *operador* revise el cajón, y en caso de ser necesario limpiar los sólidos grandes con ayuda de un rastrillo, pala y carretilla para luego ser retirados al relleno sanitario municipal o enterrarlos.

##### 10.3.1.2. COMPUERTAS

Se encuentran en las entradas a los desarenadores, ya que son necesarias para aislar el caudal y dar mantenimiento.

Un *operador* debe revisar diariamente que no esté pasando agua por las paredes de las compuertas. En caso de haber falla por este motivo el operador debe avisar al responsable de la planta para que haga los arreglos pertinentes.

En la *Figura 10.1* se detallan las estructuras de tratamiento preliminar de llegada y mantenimiento mencionadas anteriormente.



Figura 10.1.  
Estructuras de tratamiento preliminar: Cajón de llegada y compuerta.





Fuente: Carrión E., Betancurt W., 2007

### 10.3.2. DESBASTE

El procedimiento más usual consiste en hacer pasar el agua a través de rejas metálicas (*Figura 10.2*) paralelas e igualmente espaciadas. Su finalidad consiste en la eliminación de los sólidos de tamaño grande y mediano (trozos de madera, trapos, raíces, etc.) que estén en suspensión o flotando, así como de finos. A medida que los sólidos se van acumulando en las rejas, éstas se van colmatando y el agua encuentra mayor dificultad para atravesarlas. Por tanto, es necesario eliminar los sólidos depositados por lo menos una vez al día.

La *limpieza* de las rejas (*Figura 10.3*) se las hará de forma manual, debiendo efectuarla el operador, utilizando para ello un rastrillo que encaja entre los barrotes. Es necesario que el *operador* recoja los sólidos de la limpieza lo antes posible y los entierre o los retire diariamente al relleno sanitario municipal, evitando siempre su almacenamiento a la intemperie, para evitar problemas de salud.



<p><b>Figura 10.2.</b> Rejilla de desbaste</p>	<p><b>Figura 10.3.</b> Limpieza manual de rejilla de desbaste</p>
	
<p>Fuente: Carrión E., Betancurt W., 2007</p>	<p>Fuente: Martín G. Isabel y otros, 2006</p>

### 10.3.3. DESARENADORES

Los desarenadores eliminan partículas de arena u otras materias inorgánicas más pesadas que el agua, que tienden a sedimentar.

Los desarenadores (*Figura 10.4*) instalados son prácticamente siempre de flujo horizontal. Las arenas y otros materiales pesados se acumulan en el fondo del desarenador, donde se van eliminando en forma manual teniendo precauciones con posibles resbalones. La *limpieza* manual (*Figura 10.5*) se lleva a cabo semanalmente mediante palas de mano y baldes, operación que se facilita cuando se cuenta con dos unidades para el desarenado, con lo cual se deja fuera de servicio la que se está limpiando. Aunque en el diseño de los desarenadores se ajusta la velocidad del agua residual de forma que sedimente sólo la materia inorgánica las fluctuaciones de caudal pueden dar lugar a variaciones de velocidad, que resulten en la sedimentación de la materia orgánica.





Con respecto a la *disposición* de las arenas si su contenido de materia orgánica está produciendo malos olores esta debe unirse a los sólidos procedentes de las otras unidades del pretratamiento y enterrarse o llevarse al relleno sanitario municipal, mientras que si la arena es más limpia, puede ser aprovechada en rellenos, caminos, lechos de secado de lodos y otros.

<b>Figura 10.4.</b> Desarenador de doble cámara y Rejas de desbaste	<b>Figura 10.5.</b> Limpieza manual de los desarenadores
	
Fuente: Linares C. Juan C., 2005	Fuente: Martín G. Isabel y otros, 2006

#### 10.3.4. CÁMARA DE GRASAS

La separación de grasas de las aguas residuales se verifica en cámaras donde aceites, grasas, espumas, corchos y otros materiales de menor densidad que el agua se van reteniendo en la superficie, mientras que la corriente de agua se desvía hacia el fondo, desde donde pasa a la unidad siguiente de la planta.

La frecuencia en la *limpieza* de estas cámaras de grasas (*Figura 10.6*) debe ajustarse a la cantidad de materias retenidas, y depende del agua residual propia de cada zona. Las materias retenidas son recogidas con cucharones o baldes diariamente y es conveniente retirar el material acumulado y enterrarlo junto a los sólidos provenientes de las otras etapas del pretratamiento.



**Figura 10.6.**  
**Extracción manual de grasas en el desengrasador**



Fuente: Martín G. Isabel y otros, 2006

**Tabla 10.1. Resumen de las Actividades de Operación y Mantenimiento de las Unidades de Pretratamiento**

UNIDAD	ACTIVIDADES	FRECUENCIA	PERSONAL	HERRAMIENTAS
Cajón de llegada – by-pass – compuerta de admisión	Inspección, limpieza de desechos sólidos, escombros, etc.	1 vez / día	Operador	Rastrillo, pala de mano, carretilla
Desbaste	Inspección, limpieza de sólidos de tamaño grande y mediano (trozos de madera, trapos, raíces, etc.) así como de finos.	1 vez / día	Operador	Rastrillo, pala de mano, carretilla
Desarenador	Inspección y retiro de arenas y otros materiales pesados que se acumulan en el fondo del desarenador.	1 vez / semana	Operador	Pala de mano, balde, carretilla
Cámara de grasas	Inspección, limpieza de aceites, grasa, espumas, corchos y otros materiales retenidos en la superficie	1 vez / día	Operador	Cucharones, baldes, palo largo para limpiar natas de grasas

Fuente: Los Autores



#### 10.4. TRATAMIENTO NATURAL POR ESCORRENTÍA SUPERFICIAL

En este sistema tras un pretratamiento que consiste en la separación de las fracciones sólidas de mayor y menor tamaño, el *operador* deberá forzar la escorrentía del agua residual sobre dos áreas acondicionadas (en pendiente y vegetación). La alimentación de agua residual se hará mediante tuberías perforadas que funcionan por gravedad o a baja presión, asegurando una distribución uniforme del agua residual sobre cada una de las áreas de influencia, para ser posteriormente recogida en canales colectores de escorrentía. Estos canales tienen una pendiente del 1 %, con el fin de prevenir depósitos de agua.

La aplicación del agua residual se realizará primero utilizando una de las dos áreas de depuración durante 3 días, posteriormente, al termino del ciclo de aplicación en la misma el *operador* deberá cerrar la válvula de paso de caudal e inmediatamente deberá abrir la válvula de la otra área de influencia, permitiendo que el suelo de la primera se recupere durante los tres días de funcionamiento de la superficie en uso, obteniendo un funcionamiento continuo de la depuradora las 24 horas del día durante los 365 días del año.

El *operador* deberá dar *mantenimiento* al suelo realizando el aplanamiento de pendientes pronunciadas debido a la erosión causada por la escorrentía superficial.

Las consideraciones de O&M incluyen la afinación del ciclo de aplicación, la siega periódica de la hierba, el mantenimiento de la pendiente y de los canales colectores de escorrentía.

Con respecto a la depuración de aguas residuales por la aplicación de este método se alcanza rendimientos de los sólidos suspendidos totales 70 al 75 %, para la DBO<sub>5</sub> del 85 y 90 %, para el nitrógeno total del 80 al 85%, para el fósforo total del 80 al 85% y para los coliformes fecales del 99,9 %.



Tabla 10.2. Actividades de Operación y Mantenimiento del Sistema por Escorrentía Superficial (ES)

UNIDAD / PROBLEMA	ACTIVIDADES / SOLUCIÓN	FRECUENCIA	PERSONAL	HERRAMIENTAS
Tubería de vertido	Control en la apertura y cierre de válvulas en los ciclos de aplicación del vertido en cada una de las áreas de influencia.	1 / 3 días	Operador	Calendario programado para la aplicación del vertido
Tubería de vertido / Obstrucción de los orificios producida debido a sólidos depositados por ser la zona inicial de caída de vertido.	Inspección visual, control y retiro de maleza o sólidos que obstruyen la salida del agua residual a la escorrentía.	1 / día	Operador y Peón	Lampa, rastrillo
Suelo / Erosión causada por la escorrentía superficial	Inspección, aplanamiento de pendientes pronunciadas y mantenimiento de las mismas, arado siguiendo las curvas de nivel, de modo que el vertido fluya en forma de lámina.	En lluvias esporádicas y épocas de invierno	Operador y Peón	Pico, pala, barreta, rastrillo
Suelo / Compactación causada por animales de pastoreo cuando el suelo está muy húmedo	Se debe esperar hasta después de hacer el vertido del agua residual para permitir el pastoreo de animales.	1 / día En las horas de reposo del suelo	Operador	Control de pastoreo
Suelo / Vegetación excesiva	Inspección visual, siega periódica de la hierba, siendo una buena medida la extracción de lo cortado.	1 / mes	Operador y Peón	Machete, pala carretilla
Colectores /	Inspección visual.	1 / semana	Operador	Pala de mano,



UNIDAD / PROBLEMA	ACTIVIDADES / SOLUCIÓN	FRECUENCIA	PERSONAL	HERRAMIENTAS
Presencia de sólidos provocando depósitos de agua	Limpieza de los colectores del agua depurada.			carretilla

Fuente: Los Autores

## 10.5. ARRANQUE O PUESTA EN MARCHA

### 10.5.1. CUIDADO DE LA OBRA CIVIL

El mantenimiento de la depuradora en buenas condiciones debe ser uno de los objetivos fundamentales del operador. Al igual que ocurre con cualquier instalación, si no se cuida diariamente de que esté limpia, y se vayan reparando los desperfectos a medida que se van produciendo, en poco tiempo la planta se deteriora y envejece. En el caso concreto de una planta de tratamiento de aguas residuales surgen también problemas higiénicos para la población, debido a un desajuste en la carga orgánica aplicada a cada tratamiento por encima o por debajo del intervalo utilizado en el tratamiento, ocasionando así la aparición de malos olores como el olor a huevo podrido causadas por el desarrollo de bacterias fotosintéticas del azufre, desarrollo de mosquitos y otros insectos, etc.

El operador, por tanto, debe ser consciente de que su trabajo es muy importante para la comunidad, y de que es responsable de posibles amenazas a la salud pública que pueden derivarse de un mantenimiento incorrecto de la planta.

### 10.5.2. OPERADOR

El operador es el responsable directo del cuidado y funcionamiento del servicio de la planta depuradora de aguas residuales. No necesita ser una persona especializada o con conocimientos superiores, ya que el trabajo es sumamente



sencillo. De preferencia deberá contratarse al personal obrero que ha laborado en la construcción de este sistema de tratamiento y que está viviendo en la comunidad, ya que es él, quien más conocimiento tiene sobre diversos temas vinculados con su trabajo para cumplir con las responsabilidades que ella demanda.

#### **10.5.2.1. RESPONSABILIDADES DEL OPERADOR**

- Estar completamente familiarizado con la planta de tratamiento de aguas residuales, para lo cual debe conocer la función de cada uno de los procesos que conforma la planta de tratamiento.
- Tener en mente que es imposible realizar una buena operación sino existe un buen mantenimiento.
- Estar habituado y ser consciente de la importancia de su trabajo en la conservación del medio ambiente y de la salud de la población en general.
- El operador deberá cumplir con todo lo indicado en el manual que para el fin le será entregado.
- Presentará mensualmente los controles llevados durante el mes de los trabajos de mantenimiento y reparación realizados a la entidad Administradora.
- Deberá llevar un registro de las actividades diarias realizadas.
- El ingreso a la planta de tratamiento será restringido solo a personas autorizadas y con la vigilancia y responsabilidad de un operador o una autoridad municipal encargada.



- Si llegara a notar algún desperfecto deberá notificar al Municipio, Junta Parroquial, Junta de Aguas, etc., a fin de que ésta pueda contratar los servicios de personal especializado.

#### **10.5.2.2. MEDIDAS HIGIÉNICAS DEL OPERADOR**

La higiene de los operadores que van a desempeñar los trabajos es muy importante para el control de riesgos, a continuación se dará una serie de instrucciones:

- Prohibir que los trabajadores coman, beban o fumen en las zonas de trabajo en la que exista dicho riesgo.
- Proveer a los trabajadores de prendas de protección apropiadas.
- Disponer de retretes, cuartos de aseo apropiados y un botiquín adecuado para uso de los trabajadores que incluyan productos para la limpieza ocular y antisépticos para la piel.
- Lavarse bien las manos con agua y jabón antes de comer y después del trabajo.
- No tocarse la nariz, boca u oídos con las manos a menos que estén recién lavadas. La mayoría de las veces la gente contrae las enfermedades cuando tiene gérmenes en las manos y se toca dichas partes del cuerpo.
- Usar guantes impermeables antes de realizar las labores de limpieza.



- Disponer de un lugar determinado para el almacenamiento adecuado de los equipos de protección y verificar que se limpien y se compruebe su funcionamiento, si fuera posible con anterioridad.
- Al salir de la zona de trabajo, el trabajador deberá quitarse las ropas de trabajo y los equipos de protección personal que puedan estar contaminados por agentes biológicos y deberá guardarlos en lugares que no contengan otras prendas.

### **10.5.2.3. EQUIPOS DE TRABAJO**

Para la realización de las diferentes operaciones que se van a realizar en el mantenimiento de la estación depuradora, los operarios necesitan de equipos de trabajo y herramientas manuales que ayuden a evitar riesgos innecesarios, como herramientas de albañilería: picos, palas, rastrillos, planas, etc.; herramientas estándares: llaves, destornilladores, martillos, etc.

El operador estará equipado con: botas de hule, guantes, overol, mascarilla y casco. En su equipo debe incluir una linterna, para posibles inspecciones nocturnas durante eventos máximos de lluvia. Todo el equipo y suministro debe ser entregado al operador por parte del Municipio a cargo.

### **10.6. PROBLEMAS Y SOLUCIONES**

Pueden presentarse ocasionalmente problemas operativos en el funcionamiento de la planta, que se manifiestan por una serie de síntomas que el operador debe ser capaz de reconocer lo antes posible para tomar las medidas correctoras correspondientes.





**Tabla 10.3. Cuadro de Problemas y Soluciones**

PROBLEMAS	SOLUCIONES
Desajuste del caudal de entrada	Regular el caudal en el pretratamiento para que no incida en la aplicación del caudal al terreno.
Distribución de caudal no uniforme causadas por estructuras de ingreso mal niveladas (fallas constructivas en las estructura de ingreso).	Colocar vertederos rectangulares pequeños o ajustarlos para permitir la distribución uniforme del caudal afluente. Colocar obstáculos como pantallas para ajustar la distribución del caudal afluente.
Obstrucción de compuertas	Chequeo por parte del operador.
Atascamiento de las rejillas, presentados en épocas de lluvias intensas y en lugares donde no se dimensionan bien los aliviaderos de pluviales.	El operador debe retirar los objetos que estas obstaculizando el paso del caudal.
Malos olores provocados por las presencia de materia orgánica en el desarenador, debido a una velocidad de arrastre pequeña.	Adecuar la velocidad de paso y si no es posible aumentar la aireación.
Escapes de arena debido a altas velocidades en el desarenador.	Instalación de unidades que minimicen esta velocidad. Colocación de transición o campanas en la entrada del desarenador.
Presencia de insectos extraños, roedores, pájaros y otros animales.	Realizar servicios de mitigación periódicas hasta la exterminación de los mismos. Mediante insecticidas, eliminar los insectos tratando al máximo de no hacerlo dentro de las unidades de tratamiento, ni que el insecticida vaya a mezclarse con el agua residual que circula entre las unidades

**Fuente: Los Autores**

# **CAPÍTULO 11**

## **CONCLUSIONES**



Una vez culminado el presente proyecto en sus etapas de investigación, ensayos, análisis, diseño y finalmente selección de una tecnología depuradora de aguas residuales aplicable a la ciudad de Celica, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

1. Con la ayuda de las encuestas realizadas y con la caracterización física, química y bacteriológica de las aguas residuales, se ha llegado a determinar que su composición y origen corresponde a un agua residual de tipo domestico, la cual es apta para ser tratada por métodos naturales.
2. Los resultados de los estudios y análisis de suelos indican que están compuestos de arcilla limosa, los mismos que tienen una baja permeabilidad y hacen apto el terreno para la implantación de esta tecnología por escorrentía superficial
3. La tecnología de depuración seleccionada para la ciudad de Celica ha sido escogida mediante un análisis completo de los factores ambientales, características del suelo, del agua residual y características propias de la ciudad.
4. En base al estudio y diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales por el método de escorrentía superficial, se ha llegado a determinar el porcentaje de remoción teórico de la misma con los presentes valores para cada parámetro, SST = 78%, DBO = 91%, DQO = 83%, Nt = 85%, Pt = 80% y más del 99% de coliformes fecales.
5. Mediante la evaluación de los impactos positivos y negativos que produciría implantar ésta tecnología en la ciudad de Celica, se observa que existe mayor cantidad de impactos negativos (129) que positivos (23), principalmente en la fase de construcción afectando los parámetros ambientales suelo, aire, flora y fauna. No obstante, los beneficios en saneamiento que produciría la puesta en marcha de esta planta, serían muy positivos ayudando en el sector agrícola para la reutilización del agua para riego.

**REFERENCIAS  
BIBLIOGRÁFICAS**

1. AASHTO (American Association Of State Highway and Transportation Officials) T 88 (2000), *Procedimiento para ensayo de textura en un suelo*, EE. UU.
2. AASHTO (American Association Of State Highway and Transportation Officials) T 90 (2000), *Procedimiento para cálculo de límite plástico de un suelo*, EE. UU.
3. Acevedo, O; Ortiz, E; Cruz, M; Cruz, E. (2004). *Mineralogía, petrografía y micromorfología de horizontes árgicos endurecidos en Luvisoles*. México.
4. Aching, C. (2006). *Ratios financieros y matemáticas de la Mercadotecnia*. Perú: PROCIENCIA Y CULTURA S. A.
5. Álvarez, D; Contreras, S; Poggi, H. (2002). *Sistemas de tratamiento de aguas residuales por aplicación al suelo*. México.
6. APHA, AWWA, WPCF (American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation). (1992). *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. Madrid. Lavel, S. A.
7. ASTDR (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades). (2002). *Reseña Toxicológica del Aldrin/Dieldrin* (edición actualizada) (en inglés). Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU., Servicio de salud Pública.
8. ASTDR (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades). (2005). *Reseña Toxicológica de Alfa, Beta, Gama- y Delta-Hexaclorociclorohexano* (versión actualizada) (en Spanish). Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU., Servicio de salud Pública.
9. ASTDR (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades). (2000). *Reseña Toxicológica del Endosulfán* (en inglés). Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU., Servicio de salud Pública.
10. ASTDR (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades). (1996). *Reseña Toxicológica de la Endrina* (en inglés). Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU., Servicio de salud Pública.

11. ASTDR (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades). (2007). *Reseña Toxicológica del Heptacloro y Epóxido de cloro* (versión actualizada) (en inglés). Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU., Servicio de salud Pública.
12. ASTDR (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades). (1995). *Reseña Toxicológica del Mirex y la Clordecona* (en inglés). Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU., Servicio de salud Pública.
13. ASTDR (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades). (2002). *Reseña Toxicológica del DDT, DDE y DDD* (edición actualizada) (en inglés). Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU., Servicio de salud Pública.
14. ASTDR (Agency for Toxic Substances & Disease Registry). (2005). Recuperado de <http://www.atsdr.cdc.gov>.
15. ASTDR (Agency for Toxic Substances & Disease Registry). (2008). Recuperado de [http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts151.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts151.html).
16. ASTM (American Standard Test Material) D 1587 (2000), *Muestreo de suelos inalterados (superficiales)*, EE. UU.
17. ASTM (American Standard Test Material) D 2216 (2000), *Procedimiento para determinar el contenido de humedad de un suelo*, EE. UU.
18. ASTM (American Standard Test Material) D 2434 (2000), *Determinación de la permeabilidad en suelos granulares*, EE. UU.
19. ASTM (American Standard Test Material) D 422 (2000) y AASHTO (American Association Of State Highway and Transportation Officials) T 88 (2000), *Procedimiento para determinar la granulometría de un suelo*, EE. UU.
20. ASTM (American Standard Test Material) D 4318 (2000) y AASHTO (American Association Of State Highway and Transportation Officials) T 89 (2000), *Procedimiento para cálculo de límite líquido de un suelo*, EE. UU.
21. ATSDR (Agency for Toxic Substances & Disease Registry). (2005). Recuperado el 17 de septiembre de 2009 de <http://www.atsdr.cdc.gov>.
22. ATSDR (Agency for Toxic Substances & Disease Registry). (2008). Recuperado el 17 de septiembre de 2009 de [http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts151.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts151.html).

23. AWWA (American Water Works Association). (2002). *Calidad y tratamiento del agua*. Manual de suministros de agua comunitaria. España. Mc Graw Hill.
24. Bastian, R. (2005). *Interpreting Science in the Real World for Sustainable Land Application*. USA: Published by ASA, CSSA, and SSSA.
25. Bernal, D; Cardona, D; Galvis, A; Peña, M. (2002). *Guía de selección de tecnología para el tratamiento de aguas residuales domésticas por métodos naturales*. Cali, Colombia: Instituto Cinara, Universidad del Valle.
26. Boschetti, G., y Quintero, C. (2005). Importancia del Fósforo Orgánico del Suelo en la Nutrición Fosfatada de los Cultivos. Recuperado el 15 de septiembre de 2009 de <http://www.fertilizando.com/articulos/Importancia%20del%20fosforo%20organico%20del%20suelo.asp>
27. Calderón, F. (2002). *La Conductividad Eléctrica –CE- y la Conductividad Eléctrica a Granel -CEG- del suelo como base para la medición de la humedad del suelo*. Bogotá, Colombia.
28. Cobre (2008). Recuperado el 15 de septiembre de 2009 de [http://www.kaligmbh.com/eses/fertiliser/advisory\\_service/nutrients/copper.html](http://www.kaligmbh.com/eses/fertiliser/advisory_service/nutrients/copper.html)
29. Criterios de calidad de aguas o efluentes tratados para uso en riego (2005, marzo). Recuperado el 15 de septiembre de 2009 de [http://www.sag.gob.cl/biblioteca\\_digital/documentos/medio\\_ambiente/criterios\\_calidad\\_suelos\\_aguas\\_agricolas/pdf\\_aguas/anexo\\_A/boro.pdf](http://www.sag.gob.cl/biblioteca_digital/documentos/medio_ambiente/criterios_calidad_suelos_aguas_agricolas/pdf_aguas/anexo_A/boro.pdf).
30. Crites Ron & Tchobanoglous George. (2000). *Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados*. Tomo 1. Mc Graw Hill. Santafé de Bogotá, Colombia.
31. Crites Ron & Tchobanoglous George. (2000). *Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados*. Tomo 2. Mc Graw Hill. Santafé de Bogotá, Colombia.
32. Cuenca, J. (2008). *Protección de la Cantidad y Calidad del Agua*. Celica, Ecuador: CEDERENA.
33. EXTTOXNET, PIPs Proyecto sobre Información de Pesticidas, Junio, (1996). Universidad de Cornell, Universidad del Estado de Oregon, Universidad de Idaho, Universidad de California en Davis, Instituto de Toxicología

- Ambiental, Universidad Estatal de Michigan. Consultado el 29 de marzo del 2010. Disponible en: <http://extoxnet.orst.edu/pips/azinopho.htm>.
34. EXTOXNET, PIPs Proyecto sobre Información de Pesticidas, Junio, (1996). Universidad de Cornell, Universidad del Estado de Oregon, Universidad de Idaho, Universidad de California en Davis, Instituto de Toxicología Ambiental, Universidad Estatal de Michigan. Consultado el 29 de marzo del (2010). Disponible en: <http://extoxnet.orst.edu/pips/carbophe.htm>.
35. EXTOXNET, PIPs Proyecto sobre Información de Pesticidas, Junio, 1996. Universidad de Cornell, Universidad del Estado de Oregon, Universidad de Idaho, Universidad de California en Davis, Instituto de Toxicología Ambiental, Universidad Estatal de Michigan. Consultado el 29 de marzo del (2010). Disponible en: <http://extoxnet.orst.edu/pips/chlorpyr.htm>.
36. EXTOXNET, PIPs Proyecto sobre Información de Pesticidas, Junio, 1996. Universidad de Cornell, Universidad del Estado de Oregon, Universidad de Idaho, Universidad de California en Davis, Instituto de Toxicología Ambiental, Universidad Estatal de Michigan. Consultado el 29 de marzo del (2010). Disponible en: <http://extoxnet.orst.edu/pips/ethion.htm>.
37. Formas del Nitrógeno en el suelo (2004, 13 de agosto). Recuperado el 15 de septiembre de 2009 de <http://www.sagan-gea.org/hojared/CSuelo.html>
38. González E. y Romero O. (2003, 28 de agosto). Cálculo del balance hídrico del suelo. Recuperado el 15 de mayo de 2009 de <http://www.monografias.com/trabajos51/balance-hidrico/balance-hidrico.shtml>
39. Guerrero, B; Carolina, J; Carolina, I. (2000). *Manejo de la Nutrición de las Plantas en Agroecosistemas*. Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina, Agencia Española de Cooperación Internacional.
40. Hernández M. Aurelio, Hernández L. Aurelio & Gálan M. Pedro. (2004). *Manual de depuración uralita*. Sistemas para depuración de aguas residuales en núcleos de hasta 20000 habitantes. Madrid – España. Thonson Paraninfo.
41. Información General de Celica (2007). Recuperado el 22 de enero de 2010 de <http://www.visitaecuador.com/andes.php?opcion=datos&provincia=12&ciudad=7mYYpjdI>.



42. INNA (Instituto Nicaragüense de acueductos y alcantarillados). (1976). *Guía técnica para el diseño de Alcantarillado Sanitario y Sistemas de tratamiento de aguas residuales*.
43. Instituto Geográfico Militar Ecuador (IGME). (2002). Recuperado de: [http://www.igme.es/INTERNET/actividadesIGME/lineas/HidroyCA/publica/libro33/pdf/lib33/cap\\_3.pdf](http://www.igme.es/INTERNET/actividadesIGME/lineas/HidroyCA/publica/libro33/pdf/lib33/cap_3.pdf).
44. Linares C. Juan C. (2005). *Evaluación de la administración, operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de agua residual del municipio y departamento de Retalhuleu*. Tesis de Maestría en Formulación y Evaluación de Proyectos. Guatemala.
45. Mapa de la Provincia de Loja. (2008). Recuperado de [http://www.inec.gov.ec/image/image\\_gallery?img\\_id=1506395&t=1223038401741](http://www.inec.gov.ec/image/image_gallery?img_id=1506395&t=1223038401741).
46. Martín G. Isabel., Betancort R. Juana R., Salas R. Juan J., Peñate S. Baltasar., Pidre B. Juan R., Sardón M. Nieves. (2006). *Guía sobre tratamientos de aguas residuales urbanas para pequeños núcleos de población*. ITC. Canarias.
47. Martínez, C. (2009). *Edafología II, Manual de prácticas de laboratorio*.
48. Materia orgánica presente en el suelo (2004, 10 de febrero). Recuperado el 15 de septiembre de 2009 de [http://www.uclm.es/users/higueras/mga/Tema03/Tema\\_03\\_Suelos\\_3\\_4.htm](http://www.uclm.es/users/higueras/mga/Tema03/Tema_03_Suelos_3_4.htm)
49. Menendez D. Faustino. (2009). *Higiene Industrial. Manual para la formación del especialista*. Un décima edición.
50. METCALF & EDDY, INC. 1995. *Ingeniería de aguas residuales tratamiento, vertido y reutilización*. Volumen I. Mc Graw Hill. Madrid – España.
51. Moreno G. María D. (1991). *Depuración por lagunaje de aguas residuales. Manual de operadores*. Madrid. MARFIL, S.L.
52. Moreno, L. (2002). *La depuración de aguas residuales urbanas de pequeñas poblaciones mediante infiltración directa en el terreno*. Madrid, España: Instituto Geológico y Minero de España.
53. Navarro, S; Navarro, G. (2003). *Química Agrícola*. Madrid, España: Mundi Prensa.
54. Nimbus Weather Services. (2005). *Weather*. Recuperado el 13 de mayo de 2009 de <http://nimbus.com.uy/weather/pdf/cap7.pdf>.

55. NORMAS PARA ESTUDIO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES PARA POBLACIONES MAYORES A 1000 HABITANTES. (1993). Subsecretaria de Saneamiento Ambiental y Obras Sanitarias e Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias (EX-IEOS).
56. Normativa del Ministerio de Medio Ambiente del Ecuador, Norma de Calidad Ambiental para Descarga de Efluentes: Recurso Agua.
57. Orozco B. Carmen, Pérez S. Antonio, González D. M<sup>a</sup> Nieves, Rodríguez V. Francisco J. y Alfayate B. José M. (2008). *Contaminación ambiental*. Una visión desde la química. Madrid – España. THONSON.
58. Ortiz. (2008). *Hidroponía en el suelo*. Quito, Ecuador: Edición ABYA-YALA
59. Pauta Guillermina. (1998). MANUAL DE TEORÍA Y PRACTICAS DE ANÁLISIS DE AGUAS. Cuenca.
60. Permeabilidad (1997). Recuperado el 15 de septiembre de 2009 de <http://es.wikipedia.org/wiki/Permeabilidad>
61. Sandoval, J. (1989). *Principios de riego y drenaje*. Guatemala. Universidad de San Carlos.
62. Sawyer Clair N., McCarty Perry L., & Parkin Gene F. (2000). *Química para ingeniería ambiental*. COLOMBIA. Mc Graw Hill.
63. Seoáñez C. Mariano. (2005). *Depuración de las aguas residuales por tecnologías ecológicas y de bajo costo*. Mundi-Prensa. Madrid.
64. Some Things to Know About Potassium (2009). Recuperado el 15 de septiembre de 2009 de <http://www.ipni.net/ipniweb/portal.nsf/0/C6AC61E2B0724B05852571FD005009DE>
65. Staviatoslav Krochin. (2009). *Diseño hidráulico*. Loja – Ecuador. Editorial UTPL.
66. Villón, M. (2002). *Hidrología*. Lima, Perú: MaxSoft.
67. Vivar, L. (1995). *Manual Técnico de Riego*. Colombia.

# **ANEXOS**