



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

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**“Estudio, diseño y selección de la tecnología adecuada para tratamiento de aguas residuales domésticas para poblaciones menores a 3000 habitantes en la ciudad de Zapotillo”**

Tesis de Grado previo a la obtención del Título de  
Ingeniero Civil

**AUTORES:**

LEONARDO XAVIER AGUIRRE AZANZA  
CRISTIAN IVÁN MUÑOZ JARAMILLO

**DIRECTORA:**

Ing. MÓNICA CISNEROS ABAD

2010

# **ESTUDIO, DISEÑO Y SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA ADECUADA PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS PARA POBLACIONES MENORES A 3000 HABITANTES EN LA CIUDAD DE ZAPOTILLO**

**Aguirre A. Leonardo X., Muñoz J. Cristian I.**

*Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Técnica Particular de Loja*

e-mail: [lxaguirre@utpl.edu.ec](mailto:lxaguirre@utpl.edu.ec); [cimunoz@utpl.edu.ec](mailto:cimunoz@utpl.edu.ec)

## **RESUMEN**

El presente artículo resume los resultados que se han obtenido durante el desarrollo del proyecto de tesis denominado Estudio, diseño y selección de la tecnología adecuada para tratamiento de aguas residuales domésticas para poblaciones menores a 3000 habitantes en la ciudad de Zapotillo.

Este proyecto tiene como objetivo primordial seleccionar un tratamiento de aguas residuales para la ciudad de Zapotillo, con énfasis en tratamientos naturales de infiltración directa en el terreno como una alternativa sostenible y de bajo coste para reducir la contaminación de los causes de agua dulce, garantizar la salud de los habitantes y potenciar el rehusó del agua residual para riego. El contenido de la presente tesis consta de: generalidades, caracterización de aguas residuales, caracterización físico-química e hidráulica del suelo, estudio climatológico, selección de la tecnología de tratamiento de aguas residuales, diseño de la planta de tratamiento utilizando un sistema de infiltración rápida, manual de operación y mantenimiento, estudio de impacto ambiental, conclusiones y anexos.

## **INTRODUCCIÓN**

En la actualidad el mal manejo del agua residual es un aspecto muy preocupante al que se le debería dar mucha importancia, así como también convendría tomar en cuenta que a nivel mundial se está manejando este tipo de contaminante por los problemas que causan al planeta y a la humanidad. A futuro, si no se da el debido control va a ser más difícil reutilizar el recurso agua, los mismos que desencadenarán consecuencias impredecibles para la sociedad.

Existen numerosas alternativas de tratamiento para aguas residuales, sin embargo el desconocimiento sobre el

funcionamiento, operación y mantenimiento de estas tecnologías, además de la baja adaptación al medio y la baja capacidad local para su sostenimiento y manejo conducen a la implementación de sistemas inoperantes y su correspondiente abandono. Los métodos naturales se presentan como una opción tecnológica sostenible para las pequeñas y medianas comunidades dada su alta eficiencia, bajos costos de operación y mantenimiento y fácil construcción. Además, el aprovechamiento de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales, no solo representa una fuente de agua, sino también una fuente potencial de entrada de nutrientes, con beneficios económicos y ambientales, convirtiéndose de este modo en una

alternativa que toma fuerza a nivel mundial y que es conveniente considerar.

La selección de alternativas de tratamiento por métodos naturales depende entonces de los objetivos finales de tratamiento y de las posibilidades de reuso. La disponibilidad de terreno, las características del sitio, la topografía y las condiciones ambientales son criterios claves de selección de estos sistemas.

## **OBJETIVO**

Estudiar, seleccionar y diseñar un tratamiento de aguas residuales basado en alternativas naturales que se adapte a las condiciones propias de la ciudad de Zapotillo, contribuyendo a la disminución de la contaminación de los cauces naturales y de enfermedades de origen hídrico.

## **METODOLOGÍA**

El estudio se inició con la recopilación de experiencias relacionadas con los métodos naturales y el análisis de las metodologías de selección de tecnologías desarrolladas en el campo del tratamiento de las aguas residuales domésticas que se adapten para poblaciones menores a 3000 habitantes.

Se ha realizado visitas técnicas para recopilar información demográfica de la ciudad, para la toma de muestras de agua residual durante el período de enero a noviembre de 2009, toma de muestras para ensayos físico-químicos del suelo y ensayos in-situ para permeabilidad y determinación de la profundidad del nivel freático. Así también, a través de los resultados obtenidos de los análisis en laboratorio tanto de aguas como de suelos se ha

procedido a caracterizar el agua residual, el suelo y climatología de la zona.

De los estudios realizados se obtuvo información para seleccionar una tecnología natural de depuración en base a las alternativas de infiltración directa en el terreno que se adapte a las condiciones de la ciudad de Zapotillo, para posteriormente diseñar la planta de tratamiento.

## **ESTUDIOS REALIZADOS**

- 1. Caracterización del agua residual.-** Este proceso ha consistido en conocer la composición físico-química, metales pesados, pesticidas y parámetros bacteriológicos del agua residual a través de la toma de muestras en el punto de descarga del alcantarillado sanitario, y su respectivo análisis en laboratorio con un total de seis muestreos de enero a noviembre de 2009. Además, conocer el volumen y distribución estacional de los vertidos.
- 2. Estudios climatológicos.-** El estudio de climatología consistió en la determinación de los factores como: precipitación media mensual, temperatura media mensual, velocidad del viento media mensual, evapotranspiración media mensual y balance hídrico, utilizando la base de datos de diferentes años de registro de la estación climatológica ordinaria Zapotillo propiedad del INAMHI.
- 3. Caracterización físico-química e hidráulica del suelo.-** El estudio de suelo permite establecer

si el sitio escogido es apropiado o no para implantar un sistema de tratamiento natural de aguas residuales. De esta forma se ha iniciado con la toma de muestras alteradas para el análisis en laboratorio tanto de ensayos físicos químicos e hidráulicos, logrando establecer el tipo de suelo, su textura, su composición de macro nutrientes, micro nutrientes, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico y permeabilidad del suelo. Además se han realizado pruebas in situ para la determinación de la capacidad de infiltración del suelo y la profundidad del nivel freático.

#### **4. Estudio socio-económico-sanitario.-**

Consistió en la aplicación de encuestas en la zona de estudio, obteniéndose resultados de, cobertura de servicios básicos (agua potable, alcantarillado, tipo de alcantarillado, energía eléctrica, centro de salud), actividades económicas de la población, existencia de microempresas, eliminación de aguas, disposición de desechos sólidos. Estos datos nos servirán para conocer las costumbres de la población con respecto al uso del agua y corroborar que el origen del agua residual de la ciudad es característico de un agua doméstica,

- La caracterización de las aguas residuales y el estudio socio económico realizado en la ciudad de Zapotillo, nos ha llevado a obtener que la composición del agua residual en un 100% constituye agua residual doméstica. Los cuadros de las concentraciones de cada parámetro

sin contaminación de desechos industriales.

#### **5. Preselección de las tecnología.-**

Los sistemas naturales de depuración escogidos como alternativas de tratamiento de las aguas residuales para la ciudad de Zapotillo son las siguientes: tratamientos sobre el terreno (infiltración rápida IR, infiltración lenta IL, escorrentía superficial ES).

#### **6. Estudio de impacto ambiental.-**

La construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales conlleva al estudio de impacto ambiental en la zona, permitiendo identificar las acciones y los factores ambientales que se ven afectados de forma positiva o negativa en las diferentes etapas del proyecto, a través de una evaluación de la magnitud e importancia de las mismas utilizando la matriz de Leopold.

Seguidamente se estableció las medidas de mitigación de los impactos ambientales causados por la ejecución del proyecto.

### **RESULTADOS OBTENIDOS**

Después de realizados todos los estudios de campo se ha llegado a obtener los siguientes resultados:

- analizado los podrá encontrar en el documento de tesis.
- La relación  $DBO_5/DQO$  es de 2.3, lo que indica que el agua residual de la ciudad de Zapotillo es biodegradable, apta para ser tratada por tecnologías naturales de depuración.

- El tipo de suelo de la zona de estudio es generalmente de textura gruesa correspondiente a un suelo de grava arcillosa con arena de permeabilidad moderadamente alta. En cuanto a su composición química se ha establecido que el suelo es alcalino, con un bajo contenido de materia orgánica y una buena adsorción garantizando que existirá una buena depuración del agua residual.
- La época lluviosa está comprendida entre los meses de diciembre a mayo, registrándose una precipitación media entre (1.4 a 276.3) mm. La época seca se presenta de junio a noviembre con muy poca incidencia de lluvia. Por otra parte la temperatura ambiente se encuentra en un rango de 24 °C a 27 °C y la media mensual del viento es de 2.2 km/h.
- Basados en criterios de selección desarrollados por investigadores de campo del tratamiento de aguas residuales y los datos recopilados en la ciudad de Zapotillo, se ha seleccionado la tecnología de infiltración rápida como tratamiento de las aguas residuales, tomando en consideración que se debe diseñar un pretratamiento para la eliminación de sólidos y grasas.
- El diseño de la planta depuradora de aguas residuales consta de un pretratamiento compuesto por un canal de entrada, cribado, canal desarenador, desengrasador y un tanque distribuidor de caudales hacia las balsas de infiltración, las mismas que permiten la retención de un gran porcentaje de sólidos y partículas abrasivas así como del exceso de grasas, ayudando al tratamiento a funcionar óptimamente. La siguiente

etapa consta de un tratamiento de infiltración rápida constituido por 4 balsas donde se produce la remoción de DBO y DQO de 93% y 68% respectivamente, nitrógeno total > 80% y bacteriológicos más del 99%.

El detalle todos los resultados los podrá encontrar en el documento completo de tesis.

## REFERENCIAS

1. Angelone Silvia, Garibay María, Cauhapé Marina C. (2006). Geología y Geotecnia. Permeabilidad de suelos. Universidad Nacional de Rosario. Recuperado en noviembre de 2009 de <http://fiselect2.fceia.unr.edu.ar/geologiygeotecnia/Permeabilidad%20en%20Suelos.pdf>.
2. APHA. (1995). Standard methods. 19th Edition. American Public Health Association, Washington, DC.
3. Bernal D., Cardona D., Galvis A., Peña M. (2002). Guía de selección de tecnología para el tratamiento de aguas residuales domésticas por métodos naturales. Seminario Internacional sobre métodos naturales para el Tratamiento de Aguas Residuales. CINARA. Universidad del Valle. Cali. Colombia. Recuperado de <http://www.ingenieroambiental.com/4014/berna.pdf> en Junio de 2008.
4. Cheng Liu, Jack B. Evett. (2000). Soil Properties, Testing, Measurement and Evaluation, Fourth edition. New York: Prentice Hall. Chapter 18.

5. Clair N., Sawyer., McCarthy., Parkin, Gene F. (2001). Química para ingeniería ambiental. Colombia. 4ta. Edición: Mc Graw-Hill.
6. Collado L. Ramón. (1992). Depuración de aguas residuales en pequeñas comunidades. Madrid: Colegio de ingenieros de caminos. canales y puertos.
7. Crites R., Tchobanoglous. G. (2000). Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados. Tomo 2. Santafé de Bogotá: Mc Graw Hill.
8. Espinoza Guillermo. (2001). Fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental. SANTIAGO – CHILE. Recuperado en Febrero 2010 de [http://www.exactas.unlpam.edu.ar/academica/catedras/resProblemasAmb/Unidad6/Fundamentos de evaluaci%C3%B3n de IA.pdf](http://www.exactas.unlpam.edu.ar/academica/catedras/resProblemasAmb/Unidad6/Fundamentos%20de%20evaluaci%C3%B3n%20de%20IA.pdf).
9. Galvis A., Cardona D. A. Bernarl D. P. (2005). Modelo Conceptual de Selección de Tecnología para el Control de Contaminación por Aguas Residuales Domésticas en localidades Colombianas Menores a 30.000 habitantes. SELTAR. Conferencia Internacional: De la Acción Local a las Metas Globales. Cinara y UTP. Recuperado el 2 de diciembre de 2008 de
10. Metcalf & Eddy. (1995). Ingeniería de aguas residuales tratamiento. vertido y reutilización. Volumen I. Madrid. España: Mc Graw Hill.
11. Metcalf & Eddy. (1996). Ingeniería de aguas residuales tratamiento. vertido y reutilización. 3ª Ed. México: McGraw-Hill.
12. Moreno Merino Luis. (2003). La depuración de aguas residuales urbanas de pequeñas poblaciones mediante infiltración directa en el terreno. Fundamentos y casos prácticos. Instituto geológico y minero de España.
13. Norma de Calidad Ambiental de descarga de Efluentes: Recurso Agua. 2002. Recuperado de <http://www.ambiente.gov.ec/docs/LIBRO%20VI%20Anexo%201.pdf>.
14. Normas para el estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes. (2000). Ecuador: Subsecretaria de saneamiento ambiental (EX-IEEOS).
15. Normativa: ASTM D 2434-68. Grado de permeabilidad de un suelo; ASTM D2216-71. Contenido de Humedad; ASTM D 421-58. Análisis Granulométrico; ASTM D 423-66. Límite líquido de un suelo; ASTM D 424-59. Límite plástico de un suelo.
16. Organización Mundial de la Salud (OMS-CEPIS). (1981). Proyecto de desarrollo tecnológico de las instituciones de abastecimiento de agua potable y alcantarillado: Tratamientos preliminares. Lima.
17. Romero Rojas Jairo Alberto. (2000). Tratamiento de aguas residuales. teoría y principios de diseño. Primera edición. Santafé de Bogotá: Editorial escuela colombiana de ingeniería.
18. Seoáñez Calvo Mariano. (2004). Depuración de las aguas residuales por tecnologías ecológicas de bajo

costo. Madrid. España: Mundi-Prensa.

**19.** Sérgio Rolim Mendonca (2000). Sistemas de lagunas de estabilización. Cómo utilizar aguas residuales tratadas en sistemas de regadío. Bogotá: Editorial Nomos S.A.

**20.** Villón Béjar Máximo. (2002). Hidrología. Instituto tecnológico de Costa Rica. Segunda Edición. Editorial Villón



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

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**“Estudio, diseño y selección de la tecnología adecuada para tratamiento de aguas residuales domésticas para poblaciones menores a 3000 habitantes en la ciudad de Zapotillo”**

**TESIS DE GRADO PREVIA A LA  
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL**

**AUTORES:**

LEONARDO XAVIER AGUIRRE AZANZA  
CRISTIAN IVÁN MUÑOZ JARAMILLO

**DIRECTORA:**

Ing. Mónica Cisneros Abad

Loja – Ecuador  
2010

Ingeniera

Mónica Cisneros Abad,

**DOCENTE DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y DIRECTORA DE TESIS;**

## **C E R T I F I C A:**

Que revisada y dirigida la tesis sobre el tema: **“ESTUDIO, DISEÑO Y SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA ADECUADA PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS PARA POBLACIONES MENORES A 3000 HABITANTES EN LA CIUDAD DE ZAPOTILLO”**, fue elaborada por los Egresados Leonardo Xavier Aguirre Azanza y Cristian Iván Muñoz Jaramillo bajo mi dirección, habiendo cumplido con los requisitos metodológicos, teóricos, prácticos, laboratorio y de investigación. Después de la revisión, análisis y corrección respectiva, autorizo su presentación para la defensa y sustentación del proyecto de tesis.

Loja, marzo 2010

Ing. Mónica Cisneros Abad  
**DIRECTORA DE TESIS**

## **CESIÓN DE DERECHOS DE TESIS**

Leonardo Xavier Aguirre Azanza y Cristian Iván Muñoz Jaramillo 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, tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”.

**LEONARDO XAVIER AGUIRRE A.**

**CRISTIAN IVÁN MUÑOZ J.**

# AUTORÍA

Las ideas y conceptos, así como el tratamiento formal y científico de la metodología de la investigación contemplados en la tesis sobre **“ESTUDIO, DISEÑO Y SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA ADECUADA PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS PARA POBLACIONES MENORES A 3000 HABITANTES EN LA CIUDAD DE ZAPOTILLO”**, previa a la obtención del grado de Ingeniero Civil de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica Particular de Loja, son de nuestra responsabilidad.

**LEONARDO XAVIER AGUIRRE A.**

**CRISTIAN IVÁN MUÑOZ J.**

## **AGRADECIMIENTO**

Esta tesis, si bien ha requerido de esfuerzo y mucha dedicación por parte de los autores y su directora de tesis, no hubiese sido posible su finalización sin la cooperación desinteresada de todas y cada una de las personas que a continuación citaremos y muchas de las cuales han sido un soporte muy fuerte en momentos de angustia y desesperación.

Primero y antes que nada, dar gracias a **Dios**, por estar con nosotros en cada paso que damos, por fortalecer nuestro corazón e iluminar nuestra mente y por haber puesto en nuestro camino a aquellas personas que han sido nuestro soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

De igual manera nuestro más sincero agradecimiento a la Ing. Mónica Cisneros Directora de la tesis a quien debemos la realización exitosa de la misma.

Así también a toda la Facultad de Ingeniería Civil y al IQA ya que dentro de los ámbitos que a cada uno le competen nos han colaborado sin poner ningún impedimento.

A nuestros compañeros del proyecto, por brindarnos su amistad, afecto y respaldo.

## **LOS AUTORES**

## DEDICATORIA

Dedico este proyecto de tesis a Dios, a mis Padres, Hermano y Abuelitos. A Dios porque ha estado conmigo a cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar, a mis Padres, Hermano y Abuelitos, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento, depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad. Es por ellos que soy lo que soy ahora. Los amo con mi vida.

Leonardo Xavier Aguirre Azanza

A Dios por estar presente en toda mi vida y llenarla de bendiciones, a mis Padres Iván y Peti quienes han sido un apoyo fundamental en mi proceso de formación y educación brindándome confianza en todas las metas propuestas a lo largo de mi vida, a mi hermano Israel, a mi familia y a las personas que han hecho posible que se realice este proyecto. Gracias de corazón muchas gracias.

Cristian Iván Muñoz Jaramillo

# INDICE

## CONTENIDO

CERTIFICACIÓN: .....	i
CESIÓN DE DERECHOS DE TESIS .....	ii
A U T O R Í A .....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
DEDICATORIA.....	v
INDICE .....	vi

## CAPITULO I

### GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN .....	2
1.2. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	3
1.3. CARACTERIZACIÓN SOCIO – ECONÓMICA – SANITARIA .....	3
1.3.1. TABULACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA ENCUESTA REALIZADA .....	4
1.4. CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS.....	12
1.4.1. TOMA DE MUESTRAS .....	12
1.4.2. AFORO.....	12
1.4.3. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS .....	13
1.4.4. METALES PESADOS .....	16
1.4.5. PESTICIDAS.....	19
1.4.6. CARACTERÍSTICAS BACTERIOLÓGICAS .....	21
1.4.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RESULTADOS .....	22
1.5. CARACTERÍSTICAS DEL SUELO.....	23
1.5.1. OBTENCIÓN DE LA MUESTRA DE SUELOS.....	24
1.5.2. ENSAYOS "IN SITU".....	25
1.5.3. ENSAYOS EN LABORATORIO .....	26
1.5.4. ENSAYOS QUÍMICOS .....	28
1.6. ANÁLISIS HIDROLÓGICOS.....	28
1.7. MÉTODOS NATURALES DE DEPURACIÓN EN EL TERRENO .....	29
1.7.1. INFILTRACIÓN RÁPIDA (IR) .....	29
1.7.2. INFILTRACIÓN LENTA (IL) .....	31
1.7.3. FLUJO SUPERFICIAL.....	32
1.7.4. HUMEDALES DE FLUJO SUPERFICIAL Y SUB SUPERFICIAL.....	33
1.8. SELECCIÓN DE LOS MÉTODOS NATURALES DE DEPURACIÓN EN EL TERRENO	34
1.9. DISEÑO DEL TRATAMIENTO .....	36
1.10. IMPACTO AMBIENTAL .....	36
1.10.1. METODOLOGÍA.....	37

## CAPITULO II

### CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL

2.1. DESCRIPCIÓN.....	40
2.2. TOMA DE MUESTRAS.....	40
2.2.1. MATERIALES PARA LA TOMA DE MUESTRAS .....	40
2.2.2. PROCEDIMIENTO DE MUESTREO .....	40
2.3. FRECUENCIA DE MUESTREO .....	42

2.4.	PROGRAMA DE MUESTREO.....	42
2.5.	AFORO .....	43
2.6.	TEMPERATURA .....	44
2.7.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	45
2.7.1.	ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS (ANEXO 2.2) .....	45
2.7.2.	PARÁMETROS BACTERIOLÓGICOS.....	54
2.7.3.	METALES PESADOS (ANEXO 2.3) .....	55
2.7.4.	PESTICIDAS ORGANOCLORADOS TOTALES (ANEXO 2.4) .....	56
2.7.5.	PESTICIDAS ORGANOFOSFORADOS TOTALES (ANEXO 2.5).....	57
2.8.	BIODEGRADABILIDAD .....	57
2.8.1.	RELACIÓN DE BIODEGRADABILIDAD.....	58

### **CAPITULO III**

#### **ESTUDIO DE SUELOS**

3.1.	TOMA DE MUESTRAS.....	61
3.2.	ENSAYOS FÍSICOS.....	61
3.2.1.	PERFIL ESTRATIGRÁFICO.- (ANEXO 3.1) .....	61
3.2.2.	PERMEABILIDAD:.....	62
3.2.3.	TEXTURA (ANEXO 3.4) .....	63
3.2.4.	CLASIFICACIÓN DEL SUELO (ANEXO 3.5).....	64
3.2.5.	RESUMEN DE RESULTADOS .....	66
3.3.	ENSAYOS QUÍMICOS (ANEXO 3.6) .....	66
3.3.1.	RESUMEN DE RESULTADOS .....	67

### **CAPITULO IV**

#### **ANÁLISIS HIDROLÓGICO**

4.1.	DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	70
4.2.	ELEMENTOS CLIMATOLÓGICOS .....	70
4.2.1.	PRECIPITACIÓN.....	70
4.2.2.	TEMPERATURA.....	71
4.2.3.	VIENTOS.....	72
4.2.4.	EVAPOTRANSPIRACIÓN .....	72
4.3.	BALANCE HÍDRICO.....	74

### **CAPITULO V**

#### **SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA**

5.1.	CARACTERÍSTICAS DE LA UBICACIÓN .....	78
5.1.1.	LIMITACIONES CLIMÁTICAS.....	78
5.1.2.	PROFUNDIDAD HASTA EL NIVEL FREÁTICO.....	78
5.1.3.	SUPERFICIE NECESARIA.....	78
5.1.4.	PENDIENTE.....	78
5.2.	CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO.....	79
5.2.1.	PERMEABILIDAD DEL SUELO .....	79
5.2.2.	TEXTURA DEL SUELO .....	79
5.2.3.	CLASIFICACIÓN DEL SUELO .....	80
5.3.	CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO .....	80
5.3.1.	PRE TRATAMIENTO MÍNIMO NECESARIO .....	80
5.3.2.	EVACUACIÓN DEL AGUA RESIDUAL APLICADA.....	81
5.3.3.	VEGETACIÓN.....	81

5.4.	SIMPLICIDAD DE CONSTRUCCIÓN.....	81
5.4.1.	MOVIMIENTO DE TIERRAS.....	81
5.4.2.	OBRA CIVIL.....	82
5.4.3.	EQUIPOS.....	82
5.5.	EXPLOTACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	82
5.5.1.	SIMPLICIDAD DE FUNCIONAMIENTO.....	82
5.5.2.	NECESIDAD DE PERSONAL.....	83
5.5.3.	DURACIÓN DEL CONTROL.....	83
5.5.4.	FRECUENCIA EN EL CONTROL.....	83
5.6.	RENDIMIENTOS.....	83
5.7.	IMPACTO AMBIENTAL.....	84
5.7.1.	MOLESTIA DE OLORES.....	84
5.7.2.	MOLESTIA DE RUIDOS.....	84
5.7.3.	MOLESTIA DE INSECTOS.....	84
5.7.4.	INTEGRACIÓN CON EL ENTORNO.....	84
5.8.	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL MÉTODO SELECCIONADO.....	86
5.8.1.	VENTAJAS.....	86
5.8.2.	DESVENTAJAS.....	86

## **CAPITULO VI**

### **DISEÑO DEL SISTEMA DE INFILTRACIÓN RÁPIDA**

6.1.	DATOS DE DISEÑO.....	90
6.2.	CAUDAL DE DISEÑO.....	91
6.3.	DISEÑO DEL PRETRATAMIENTO.....	92
6.3.1.	CAJÓN DE ENTRADA.....	92
6.3.2.	REJAS.....	94
6.3.3.	TRANSICIONES.....	96
6.3.4.	DESARENADOR.....	97
6.3.5.	DESENGRASADOR.....	100
6.3.6.	TANQUE DE DISTRIBUCIÓN.....	103
6.4.	TRATAMIENTO INFILTRACIÓN RÁPIDA.....	105
6.4.1.	TASA DE CARGA HIDRÁULICA.....	106
6.4.2.	COMPARACIÓN: CARGA HIDRÁULICA VS CARGA DE NITRÓGENO ACEPTABLE.....	106
6.4.3.	CARGA DE DBO (LB/D).....	106
6.4.4.	ÁREA NECESARIA.....	106
6.4.5.	CICLOS DE OPERACIÓN (RA).....	106
6.4.6.	COMPROBACIÓN DEL CICLO OPERATIVO VS VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN 107	
6.4.7.	NÚMERO DE BALSAS.....	107
6.4.8.	ÁREA DE CADA Balsa.....	108
6.4.9.	CONSIDERACIONES DE CONSTRUCCIÓN.....	108
6.5.	PRESUPUESTO TOTAL DEL TRATAMIENTO.....	109
6.5.1.	COSTOS POR HABITANTE.....	112

## **CAPITULO VII**

### **OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO**

7.1.	PRE TRATAMIENTO.....	115
------	----------------------	-----

7.1.1. CAJÓN DE LLEGADA.....	115
7.1.2. CRIBADO .....	115
7.1.3. DESARENADORES.....	115
7.1.4. DESENGRASADOR .....	116
7.2. INFILTRACIÓN RÁPIDA.....	116
7.3. OTROS MANTENIMIENTOS .....	118
7.4. MATERIAL DE PROTECCIÓN E HIGIENE.....	118
7.5. COSTO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	119

## **CAPITULO VIII**

### **ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL**

8.1. INFORMACIÓN DE PARTIDA.....	122
8.2. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA.....	122
8.3. CARACTERIZACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LOS IMPACTOS .....	123
8.4. FACTORES AMBIENTALES QUE AFECTAN EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA TECNOLOGÍA. ....	127
8.5. MATRIZ DE LEOPOLD.....	130
8.6. RESULTADOS OBTENIDOS .....	131
8.7. MEDIDAS DE MITIGACIÓN.....	131

## **CAPITULO IX**

### **CONCLUSIONES**

BIBLIOGRAFÍA .....	137
--------------------	-----

### ANEXOS

## **INDICE DE TABLAS**

### **CAPITULO I**

TABLA 1-1 TABULACIÓN NIVEL CULTURAL .....	4
TABLA 1-2 TABULACIÓN TIPO DE VIVIENDA.....	5
TABLA 1-3 TABULACIÓN ACTIVIDAD A LA QUE SE DEDICA LA POBLACIÓN .....	5
TABLA 1-4 TABULACIÓN EXISTENCIA DE MICROEMPRESAS .....	6
TABLA 1-5 TABULACIÓN SERVICIO DE ALCANTARILLADO.....	6
TABLA 1-6 TABULACIÓN DE SERVICIOS PRESTADOS EN LA CIUDAD .....	7
TABLA 1-7 TABULACIÓN INGRESOS MENSUALES.....	7
TABLA 1-8 TABULACIÓN ABASTECIMIENTO DE AGUA.....	8
TABLA 1-9 TABULACIÓN EXISTENCIA CONEXIÓN DOMICILIARIA.....	9
TABLA 1-10 TABULACIÓN ELIMINACIÓN DE LAS AGUAS DE LAVADO .....	9
TABLA 1-11 TABULACIÓN DISPOSICIÓN DE EXCRETAS.....	9
TABLA 1-12 TABULACIÓN DISPOSICIÓN DE LA BASURA ORGÁNICA.....	10
TABLA 1-13 TABULACIÓN DISPOSICIÓN DE LA BASURA INORGÁNICA .....	10
TABLA 1-14 TABULACIÓN ELIMINACIÓN DE ESTIÉRCOL .....	11
TABLA 1-15 TABULACIÓN LUGAR DONDE SE ENCUENTRAN LOS ANIMALES DOMÉSTICOS .....	11

## CAPITULO II

TABLA 2-1 FRECUENCIA DE MUESTREOS.....	42
TABLA 2-2 PROGRAMA DE MUESTREO PARA LA CIUDAD DE ZAPOTILLO.....	42
TABLA 2-3 RESUMEN DE CAUDALES OBTENIDOS .....	43
TABLA 2-4 RESUMEN DE TEMPERATURAS OBTENIDAS .....	44
TABLA 2-5 MÉTODOS Y EQUIPOS UTILIZADOS EN LOS ANÁLISIS FÍSICOS Y QUÍMICOS. ...	45
TABLA 2-6 MÉTODOS Y EQUIPOS UTILIZADOS EN LOS ANÁLISIS BACTERIOLÓGICOS. ....	54
TABLA 2-7 MÉTODOS Y EQUIPOS UTILIZADOS EN LOS ANÁLISIS DE METALES PESADOS. .....	55
TABLA 2-8 RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS DE METALES PESADOS.....	55
TABLA 2-9 MÉTODOS Y EQUIPOS UTILIZADOS EN LOS ANÁLISIS DE PESTICIDAS ORGANOCOLORADOS .....	56
TABLA 2-10 RESULTADOS DE LOS PESTICIDAS ORGANOCOLORADOS.....	56
TABLA 2-11 MÉTODOS Y EQUIPOS UTILIZADOS EN LOS ANÁLISIS DE PESTICIDAS ORGANOFOSFORADOS .....	57
TABLA 2-12 RESULTADOS DE LOS PESTICIDAS ORGANOFOSFORADOS.....	57

## CAPITULO III

TABLA 3-1 PERFIL ESTRATIGRÁFICO.....	61
TABLA 3-2 VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN .....	62
TABLA 3-3 ENSAYO DE PERMEABILIDAD.....	63
TABLA 3-4 TEXTURA DEL SUELO DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	63
TABLA 3-5 GRANULOMETRÍA DEL SUELO .....	64
TABLA 3-6 VALORES OBTENIDOS EN EL ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD .....	65
TABLA 3-7 VALORES OBTENIDOS EN EL ENSAYO DE LÍMITE PLÁSTICO.....	66
TABLA 3-8 ENSAYOS FÍSICOS REALIZADOS .....	66
TABLA 3-9 NORMAS DE CADA PARÁMETRO QUÍMICO. ....	66
TABLA 3-10 RESUMEN DE RESULTADOS DE SUELOS.....	67

## CAPITULO IV

TABLA 4-1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	70
TABLA 4-2. VALORES DE KA, <i>FUNDAMENTOS DE HIDROLOGÍA DE SUPERFICIE</i> , .....	73
TABLA 4-3. CÁLCULO DE EVAPOTRANSPIRACIÓN POR EL MÉTODO DE THORNTHWAITE	73
TABLA 4-4. BALANCE HÍDRICO DE LA CIUDAD DE ZAPOTILLO .....	74

## CAPITULO V

TABLA 5-1 CARACTERÍSTICAS DE LA UBICACIÓN.....	79
TABLA 5-2 CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO .....	80
TABLA 5-3 CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO .....	81
TABLA 5-4 SIMPLICIDAD DE CONSTRUCCIÓN .....	82
TABLA 5-5 EXPLOTACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	83
TABLA 5-6 IMPACTO AMBIENTAL .....	85
TABLA 5-7 VALORACIÓN DE LOS MÉTODOS.....	85

## CAPITULO VI

TABLA 6-1. DATOS DE DISEÑO.....	90
TABLA 6-2. COMPARACIÓN DE CAUDALES .....	92

TABLA 6-3 CÁLCULO TANQUE DE DISTRIBUCIÓN .....	103
TABLA 6-4 CÁLCULO TANQUE DE DISTRIBUCIÓN .....	104
TABLA 6-5. DIMENSIONES DEL TANQUE DE DISTRIBUCIÓN .....	105
TABLA 6-6 CICLOS OPERATIVOS RECOMENDADOS POR LA EPA .....	107
TABLA 6-7 RESUMEN DE RESULTADOS DEL SISTEMA DE INFILTRACIÓN RÁPIDA .....	109

## **CAPITULO VII**

TABLA 7-1 ACTIVIDADES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA POR INFILTRACIÓN RÁPIDA .....	117
--	-----

## **CAPITULO VIII**

TABLA 8-1 CARACTERIZACIÓN FÍSICAS Y QUÍMICAS .....	123
TABLA 8-2 CONDICIONES BIOLÓGICAS .....	124
TABLA 8-3 FACTORES CULTURALES .....	124
TABLA 8-4 MODIFICACIÓN DEL RÉGIMEN .....	125
TABLA 8-5TABLA 8.5 TRANSFORMACIÓN DE LA TIERRA.....	125
TABLA 8-6 FUENTES DE EXTRACCIÓN .....	126
TABLA 8-7 ALTERACIÓN DE LA TIERRA .....	126
TABLA 8-8 RENOVACIÓN DE FUENTES.....	126
TABLA 8-9 TRATAMIENTO QUÍMICO .....	126
TABLA 8-10 MAGNITUD E IMPORTANCIA DE LOS PARÁMETROS .....	127

## **INDICE DE FIGURAS**

### **CAPITULO I**

FIG. 1-1.1 MAPA POLÍTICO DE ZAPOTILLO .....	3
FIG. 1.1-2 GRÁFICA DE LA TABLA 1.1 .....	5
FIG. 1.1-3 GRÁFICA DE LA TABLA 1.2 .....	5
FIG. 1.1-4 GRÁFICA DE LA TABLA 1.3 .....	5
FIG. 1-5 GRÁFICA DE LA TABLA 1.4 .....	6
FIG. 1-6 GRÁFICA DE LA TABLA 1.5.....	7
FIG. 1-7 GRÁFICA DE LA TABLA 1.6.....	7
FIG. 1-8 GRÁFICA DE LA TABLA 1.7.....	8
FIG. 1-9 GRÁFICA DE LA TABLA 1.8.....	8
FIG. 1-10 GRÁFICA DE LA TABLA 1.9.....	9
FIG. 1-11 GRÁFICA DE LA TABLA 1.10.....	9
FIG. 1-12 GRÁFICA DE LA TABLA 1.11.....	10
FIG. 1-13 GRÁFICA DE LA TABLA 1.12.....	10
FIG. 1-14 GRÁFICA DE LA TABLA 1.13.....	10
FIG. 1-15 GRÁFICA DE LA TABLA 1.14.....	11
FIG. 1-16 GRÁFICA DE LA TABLA 1.15.....	11
FIG. 1-17 CALICATA PARA OBTENCIÓN DE MUESTRA.....	24
FIG. 1-18 OBTENCIÓN DE MUESTRAS INALTERADAS.....	25
FIG. 1-19 MEDICIÓN CON EL DENSÍMETRO NUCLEAR.....	25
FIG. 1-20 TRIÁNGULO DE TEXTURA PARA OBTENER EL TIPO DE SUELO .....	27
FIG. 1-21 HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUPERFICIAL LIBRE .....	33

## CAPITULO II

FIG. 2-1 PROCEDIMIENTO DE MUESTREO .....	41
FIG. 2-2 CAUDALES OBTENIDOS DE LA TABLA 2.3.....	44
FIG. 2-3 OBTENCIÓN DE MUESTRAS Y TOMA DE TEMPERATURA IN-SITU.....	44
FIG. 2-4 TEMPERATURAS OBTENIDAS DE LA TABLA 2.4 .....	45
FIG. 2-5 PH EN ARU.....	46
FIG. 2-6 SÓLIDOS DISUELTOS <i>EN ARU</i> .....	47
FIG. 2-7 SÓLIDOS TOTALES <i>EN ARU</i> .....	47
FIG. 2-8 NITRÓGENO ORGÁNICO <i>EN ARU</i> .....	48
FIG. 2-9 NITRÓGENO AMONIACAL <i>EN ARU</i> .....	48
FIG. 2-10 NITRÓGENO DE NITRITO <i>EN ARU</i> .....	49
FIG. 2-11 NITRÓGENO DE NITRATO <i>EN ARU</i> .....	49
FIG. 2-12 CLORURO <i>EN ARU</i> .....	49
FIG. 2-13 FÓSFORO ORGÁNICO <i>EN ARU</i> .....	50
FIG. 2-14 FÓSFORO INORGÁNICO <i>EN ARU</i> .....	51
FIG. 2-15 ALCALINIDAD <i>EN ARU</i> .....	51
FIG. 2-16 GRASAS <i>EN ARU</i> .....	52
FIG. 2-17 CARBONO ORGÁNICO TOTAL (COT) <i>EN ARU</i> .....	52
FIG. 2-18 DBO <i>EN ARU</i> .....	53
FIG. 2-19 DQO <i>EN ARU</i> .....	53
FIG. 2-20 BORO <i>EN ARU</i> .....	54

## CAPITULO III

FIG. 3-1 VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN EN UNA CALICATA .....	62
FIG. 3-2 ENSAYO DE PERMEABILIDAD .....	63
FIG. 3-3 ENSAYO DE GRANULOMETRÍA.....	64
FIG. 3-4 LÍMITE LÍQUIDO A 25 GOLPES.....	65

## CAPITULO IV

FIG. 4-1 PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL DEL ANEXO 4.1 .....	70
FIG. 4-2 TEMPERATURA MEDIA MENSUAL DEL ANEXO 4.2.....	71
FIG. 4-3 CLIMOGRAMA (TEMPERATURA VS PRECIPITACIÓN) .....	71
FIG. 4-4 VIENTO MEDIA MENSUAL DEL ANEXO 4.3 .....	72
FIG. 4-5 EVAPOTRANSPIRACIÓN MEDIA MENSUAL (CALCULADA) .....	74
FIG. 4-6 FICHA HÍDRICA.....	75

## CAPITULO VI

FIG. 6-1 ÁNGULO DE INCLINACIÓN DE LA REJILLA .....	95
FIG. 6-2 ESQUEMA DE LA REJILLA DE ALUMINIO .....	96
FIG. 6-3 ESQUEMA DEL DESARENADOR .....	97
FIG. 6-4 ESQUEMA DEL DESENGRASADOR .....	101
FIG. 6-5 DIAGRAMA DE MASA PARA LA DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN.....	104

## INDICE DE ECUACIONES

### CAPITULO I

ECUACIÓN 1-1.....	4
ECUACIÓN 1-2.....	22
ECUACIÓN 1-3.....	23

### CAPITULO II

ECUACIÓN 2-1.....	43
ECUACIÓN 2-2.....	58

### CAPITULO IV

ECUACIÓN 4-1.....	72
-------------------	----

### CAPITULO VI

ECUACIÓN 6-1.....	91
ECUACIÓN 6-2.....	91
ECUACIÓN 6-3.....	91
ECUACIÓN 6-4.....	92
ECUACIÓN 6-5.....	92
ECUACIÓN 6-6.....	93
ECUACIÓN 6-7.....	93
ECUACIÓN 6-8.....	93
ECUACIÓN 6-9.....	95
ECUACIÓN 6-10.....	95
ECUACIÓN 6-11.....	96
ECUACIÓN 6-12.....	98
ECUACIÓN 6-13.....	99
ECUACIÓN 6-14.....	99
ECUACIÓN 6-15.....	99
ECUACIÓN 6-16.....	100
ECUACIÓN 6-17.....	101
ECUACIÓN 6-18.....	102
ECUACIÓN 6-19.....	102
ECUACIÓN 6-20.....	105
ECUACIÓN 6-21.....	105



# CAPITULO I



## 1. GENERALIDADES

### 1.1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el mal manejo del agua residual es un aspecto muy preocupante al que se le debería dar mucha importancia, así como también convendría tomar en cuenta que a nivel mundial se está manejando este tipo de contaminante por los problemas que causan al planeta y a la humanidad. A futuro, si no se da el debido control va a ser más difícil reutilizar el recurso agua, los mismos que desencadenarán consecuencias impredecibles para la sociedad.

Existen numerosas alternativas de tratamiento para aguas residuales, sin embargo el desconocimiento sobre el funcionamiento, operación y mantenimiento de estas tecnologías, además de la baja adaptación al medio y la baja capacidad local para su sostenimiento y manejo conducen a la implementación de sistemas inoperantes y su correspondiente abandono. Los métodos naturales se presentan como una opción tecnológica sostenible para las pequeñas y medianas comunidades dada su alta eficiencia, bajos costos de operación y mantenimiento y fácil construcción. Además, el aprovechamiento de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales, no solo representa una fuente de agua, sino también una fuente potencial de entrada de nutrientes, con beneficios económicos y ambientales, convirtiéndose de este modo en una alternativa que toma fuerza a nivel mundial y que es conveniente considerar. (Moreno Merino, 2003).

La selección de alternativas de tratamiento por métodos naturales depende entonces de los objetivos finales de tratamiento y de las posibilidades de reuso. 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, 1987).

El objetivo central de esta investigación en la medida de lo posible, es dar uso de la capacidad de depuración del medio natural y del potencial de reuso del agua residual,





La realización de esta encuesta servirá para hacer un diagnóstico de la situación que se está viviendo en la zona, las actividades de la población e identificar el origen de algunos contaminantes encontrados durante el análisis de las aguas residuales del cantón.

En función del censo INEC 2001 se efectuó la proyección correspondiente al año 2009 obteniendo una población de 2364 habitantes cuya tasa de crecimiento es de 2.6%. Para el cálculo del tamaño de la muestra se utilizó la siguiente fórmula:

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

**Ecuación 1-1.1**

Donde:

n - Tamaño de la muestra

Z - Nivel de confianza con que se realiza la investigación (1.96)

P - Probabilidad de ocurrencia (0.5)

Q - Probabilidad de ser escogido (0.5)

N - Población total (2364 hab.)

€ - Margen de error (Se asume el 5 %)

$$n = \frac{1.96^2 (0.5)(0.5)(2364)}{(0.05)^2 (2364 - 1) + (1.96)^2 (0.5)(0.5)} = 331 \text{ encuestas}$$

Por consiguiente, se realizó 331 encuestas a los habitantes de la ciudad de Zapotillo en forma aleatoria.

### 1.3.1. Tabulación de los resultados de la encuesta realizada

#### 1.3.1.1 Nivel cultural

**¿Existe alguna persona analfabeta en su hogar?**

**Tabla 1-1 Tabulación nivel cultural**

NIVEL CULTURAL	FRECUENCIA	PORCENTAJE
Alfabetos	1362	92.5
Analfabetos	111	7.5

TOTAL	1473	100
-------	------	-----

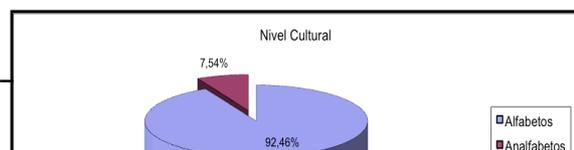




Fig. 1.1-2 Gráfica de la tabla 1.1

De la información recopilada más del 92% de la población son alfabetos, y un porcentaje menor (7.5%) son analfabetos.

**1.3.1.2 Tipo de vivienda**

**¿Con qué tipo de vivienda cuenta su familia?**

Tabla 1-2 Tabulación tipo de vivienda

TIPO DE VIVIENDA	FRECUENCIA	PORCENTAJE
Propia	201	46.4
Alquilada	221	51.0
En Construcción	11	2.5
TOTAL	433	100

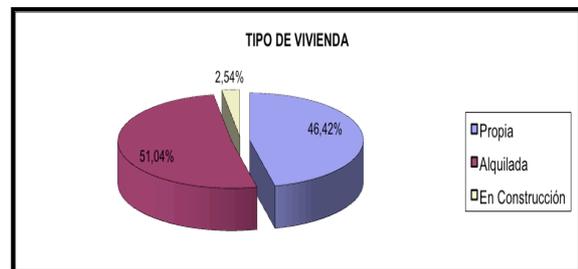


Fig. 1.1-3 Gráfica de la tabla 1.2

De la población encuestada, aproximadamente un 51% viven en casas arrendadas, el 46% tienen vivienda propia; el 2.53% viven en casas en construcción.

**1.3.1.3 Actividad económica.**

**¿Actividad a la que se dedica la población encuestada?**

Tabla 1-3 Tabulación actividad a la que se dedica la población

ACTIVIDAD ECONOMICA	FRECUENCIA	PORCENTAJE
Agrícola	29	7.2
Ganadero	14	3.5
Obrero	87	21.6
Empleado Publ. y/o Priv.	140	34.8
Profesor	28	7.0
Otros	104	25.9
TOTAL	402	100

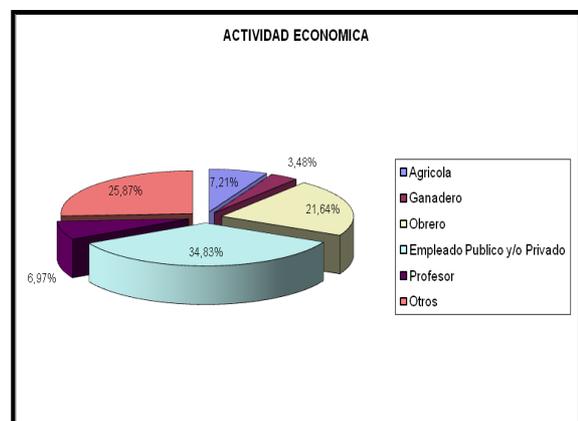


Fig. 1.1-4 Gráfica de la tabla 1.3



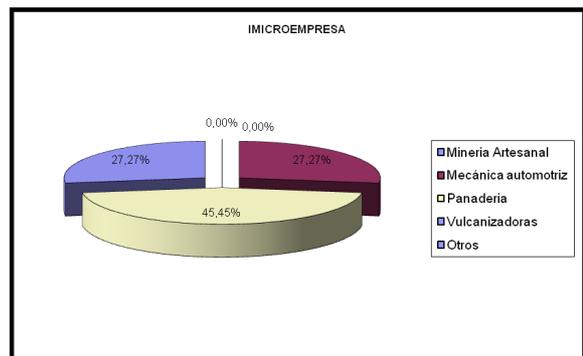
En la ciudad de Zapotillo la mayoría de la población se dedica a trabajar en el sector público o privado (35%) y un gran porcentaje a otras actividades como comercio, agricultura y ganadería. Los obreros ocupan un 22 %.

**1.3.1.4 Microempresa**

**¿Tiene conocimiento de la existencia de alguna de las siguientes microempresas?**

**Tabla 1-4** Tabulación existencia de microempresas

MICROEMPRESA	FRECUENCIA	PORCENTAJE
Minería Artesanal	0	0.0
Mecánica automotriz	3	27.3
Panadería	5	45.5
Vulcanizadoras	3	27,3
Otros	0	0,0
TOTAL	11	100



**Fig. 1-5 Gráfica de la tabla 1.4**

En el sector no existe ninguna industria. La ciudad cuenta con vulcanizadoras, panaderías y mecánicas. Las personas poseen negocios en sus viviendas como tiendas, bodegas, etc., determinando que el agua residual es netamente urbana.

**1.3.1.5 Agua potable**

**¿Tiene servicio de agua potable en su vivienda?**

Con respecto al abastecimiento de agua potable la ciudad en su totalidad cuenta con este servicio.

**1.3.1.6 Tipo de alcantarillado**

**¿Tiene servicio de alcantarillado y de qué tipo?**

**Tabla 1-5** Tabulación servicio de alcantarillado

TIPO DE ACANTARILLADO	FRECUENCIA	PORCENTAJE
Combinado	284	100
Separado	0	0

TOTAL	284	100
-------	-----	-----



Fig. 1-6 Gráfica de la tabla 1.5

En la ciudad, el 100% de las casas cuenta con alcantarillado combinado.

**1.3.1.7 Servicios**

**¿Con cuáles de los siguientes servicios cuenta la ciudad?**

**Tabla 1-6 Tabulación de Servicios prestados en la ciudad**

SERVICIOS	FRECUENCIA	PORCENTAJE
Camal con tratamiento	0	0.0
Camal sin tratamiento	1	20.0
Centro de salud / Sub-centro de Salud	1	20.0
Plaza de mercado	1	20.0
Gasolinera	2	40.0
Otros	0	0.0
TOTAL	5	100

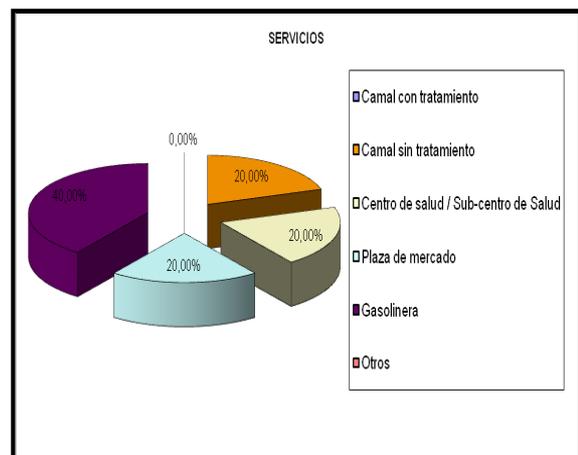


Fig. 1-7 Gráfica de la tabla 1.6

La mayoría de la ciudad cuenta con los servicios de energía eléctrica, plaza de mercado, gasolinera, centro de salud y un camal municipal que no cuenta con tratamiento alguno.

**1.3.1.8 Ingreso familiar mensual**

**¿Cuánto es el ingreso familiar mensual?**

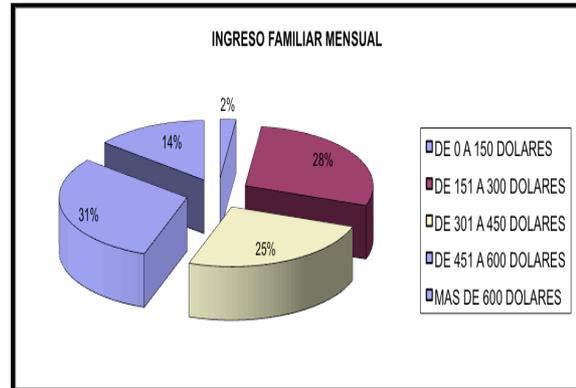
**Tabla 1-7 Tabulación ingresos mensuales**

INGRESO FAMILIAR MENSUAL(Dólares)	FRECUENCIA	PORCENTAJE
De 0 A 150	3	2.0

De 151 A 300	42	28.4
De 301 A 450	37	25.0
De 451 A 600	45	30.4



Más de 600	21	14.2
TOTAL	148	100



**Fig. 1-8 Gráfica de la tabla 1.7**

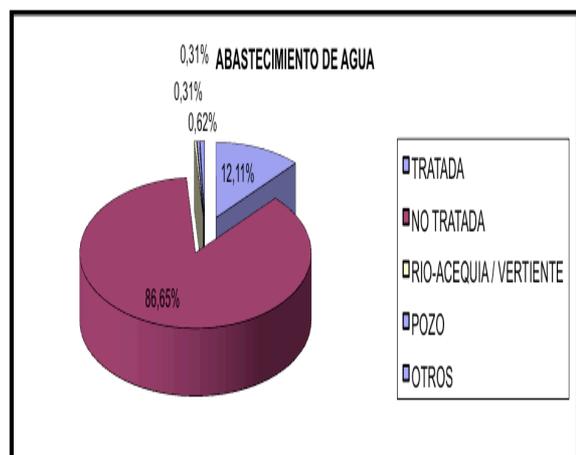
Con respecto a los ingresos mensuales en la ciudad un 2% de los encuestados tienen un ingreso menor a 150 dólares, un 28% están entre (151 y 300) dólares, el 25 % reciben entre (301 y 450) dólares mensuales, Aproximadamente el 31% están entre (451 y 600) dólares y el 14 % de los encuestados reciben un ingreso mayor a 600 dólares mensuales. En términos económicos, existe una tendencia a tener un estilo de vida de clase media y media-baja.

**1.3.1.9 Abastecimiento de agua.**

**¿Cómo es el abastecimiento de agua en su hogar?**

**Tabla 1-8 Tabulación Abastecimiento de agua**

ABASTECIMIENTO DE AGUA	FRECUENCIA	PORCENTAJE
Tratada	39	12.1
No tratada	279	86.6
Río-acequia / vertiente	1	0.3
Pozo	1	0.3
Otros	2	0.6
TOTAL	322	100



**Fig. 1-9 Gráfica de la tabla 1.8**

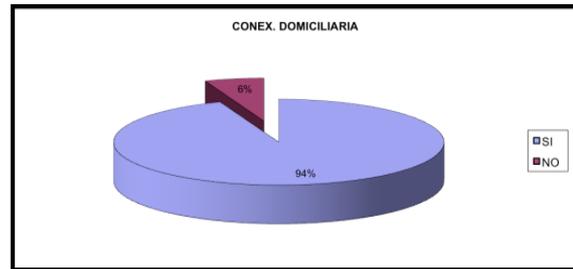
La mayor parte de la ciudad cuenta con agua no tratada. El 1% se abastece del río-acequia.

**1.3.1.10 Conexión domiciliar de alcantarillado sanitario y pluvial**



**Tabla 1-9** Tabulación existencia conexión domiciliaria

CONEXIÓN DOMICILIARIA	FRECUENCIA	PORCENTAJE
Si	293	94.2
No	18	5.8
TOTAL	311	100



**Fig. 1-10** Gráfica de la tabla 1.9

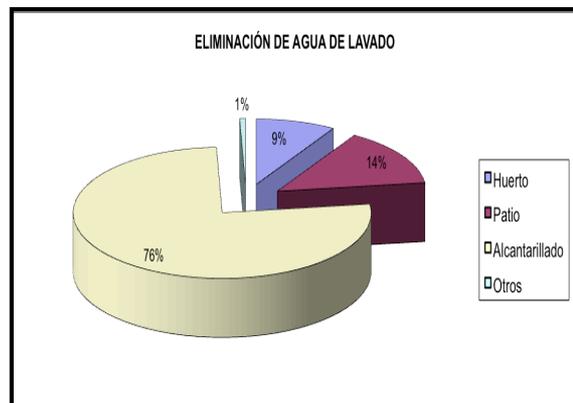
De las personas encuestadas en la ciudad sólo el 6% de sus viviendas no cuenta con conexión domiciliaria debido a que no existe red de alcantarillado por lo que se debería tomar en cuenta al momento de diseñar el tratamiento.

**1.3.1.11 Eliminación de las aguas de lavado.**

**¿Cómo realiza la eliminación del agua de lavado?**

**Tabla 1-10** Tabulación eliminación de las aguas de lavado

ELIMINACIÓN DE AGUA DE LAVADO	FRECUENCIA	PORCENTAJE
Huerto	28	8.7
Patio	46	14.2
Alcantarillado	247	76.5
Otros	2	0.6
TOTAL	323	100



**Fig. 1-11** Gráfica de la tabla 1.10

El agua de lavado de la ciudad en su mayoría es eliminada por el sistema de alcantarillado, pero es de consideración la eliminación en huertos y patios de las viviendas que algunas familias aún lo realizan.

**1.3.1.12 Disposición de excretas.**

**¿Cómo elimina las excretas de su casa?**

**Tabla 1-11** Tabulación disposición de excretas



DISPOSICIÓN DE EXCRETAS	FRECUENCIA	PORCENTAJE
Campo abierto	0	0.0
Alcantarillado	291	96.0
Letrina	12	4.0
TOTAL	303	100

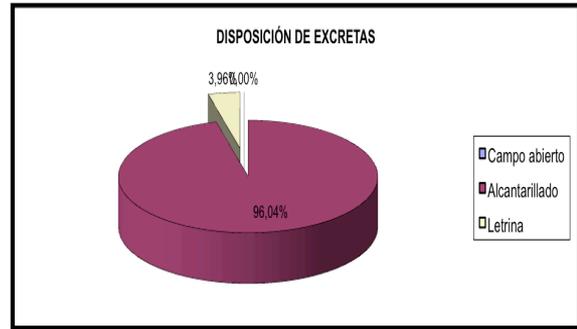


Fig. 1-12 Gráfica de la tabla 1.11

La disposición de excretas se las realiza al sistema de alcantarillado en un 96% y un 4% restante lo hace a una fosa séptica, siendo un factor de consideración para el diseño.

**1.3.1.13 Disposición de basura.**

**¿De qué manera elimina la basura orgánica e inorgánica en su hogar?**

**Tabla 1-12 Tabulación disposición de la basura orgánica**

ORGÁNICA	FRECUENCIA	PORCENTAJE
Bota Huerto	31	40.3
Utiliza para abono	23	29.9
Recolección de Basura	23	29.9
TOTAL	77	100

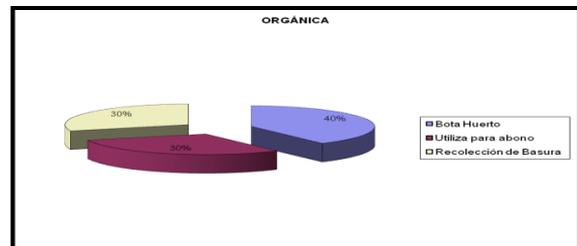


Fig. 1-13 Gráfica de la tabla 1.12

**Tabla 1-13 Tabulación disposición de la basura inorgánica**

INORGANICA	FRECUENCIA	PORCENTAJE
En Tierra	3	2.5
Quema	87	73.1
Bota Quebrada	29	24.4
TOTAL	119	100

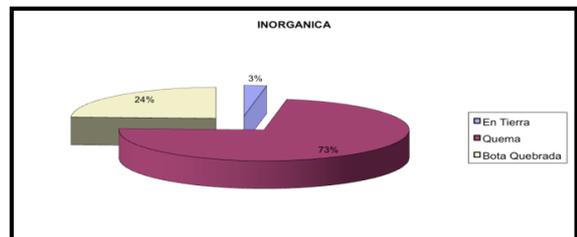


Fig. 1-14 Gráfica de la tabla 1.13

La recolección de la basura se la realiza en un 30 % de los hogares utilizando como medio de recolección un volquete del municipio. La basura orgánica de los hogares es botada a los huertos para ser utilizada como abono, en cuanto a la disposición de



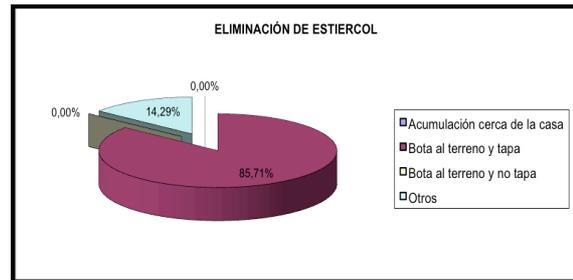
basura inorgánica los habitantes de la ciudad en un 73% la queman, un 24% botan a la quebrada y un 3% la entierran.

**1.3.1.14 Eliminación de estiércol.**

**¿Cómo se realiza la eliminación de estiércol de los animales domésticos?**

**Tabla 1-14 Tabulación eliminación de estiércol**

ELIMINACIÓN DE ESTIERCOL	FRECUENCIA	PORCENTAJE
Acumulación cerca de la casa	0	0.0
Bota al terreno y tapa	6	85.7
Bota al terreno y no tapa	0	0.0
Otros	1	14.3
TOTAL	7	100



**Fig. 1-15 Gráfica de la tabla 1.14**

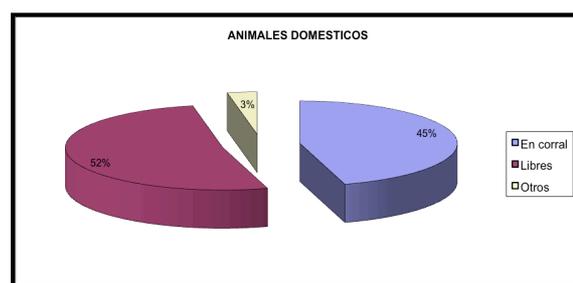
A decir de las encuestas un porcentaje muy elevado (86%) botan el estiércol a sus terrenos y proceden a taparlo. Otro porcentaje considerable (14%) lo acumulan cerca de las casas para ser trasladado por el recolector de basura.

**1.3.1.15 Animales domésticos**

**¿En qué lugar se encuentran los animales domésticos?**

**Tabla 1-15 Tabulación lugar donde se encuentran los animales domésticos**

ANIMALES DOMESTICOS	FRECUENCIA	PORCENTAJE
En corral	89	45.4
Libres	101	51.5
Otros	6	3.1
TOTAL	196	100



**Fig. 1-16 Gráfica de la tabla 1.15**

En porcentajes cercanos las personas que tienen animales domésticos los tienen libres (52%) y en corral (45%). El porcentaje de otros (3%) corresponden a las personas que tienen animales en fincas cercanas a sus viviendas.



## **1.4. CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS**

Las aguas residuales urbanas son desechos líquidos provenientes de baños, duchas, lavabos derivados de viviendas, locales comerciales y aguas lluvias, los tipos de contaminantes que estas aguas poseen son: materia orgánica en suspensión o disuelta, nitrógeno fósforo entre otras sales minerales y materia sólida debido al arrastre de la lluvia.

### **1.4.1. Toma de muestras**

La toma de muestras destinadas al análisis, físico-químico, metales pesados, pesticidas y bacteriológicos deben ser a través de muestras simples, o muestras compuestas, y deben ser realizadas por una persona experimentada o entrenada para tal fin.

Para realizar el muestreo se debe definir el último punto de descarga de agua residual del cual se va a extraer las muestras, éstas deben ir claramente identificadas llevando una etiqueta o tarjeta, consignando los datos llevados a continuación: (Instituto Boliviano de Normalización y Calidad IBNORCA, 2005)

- Código de la muestra
- Hora y fecha de muestreo
- Localidad
- Punto de muestreo
- Material del envase empleado para el muestreo
- Volumen de muestra extraída
- Temperatura de la muestra
- Tiempo requerido desde la toma de muestra hasta el laboratorio
- Tipo de conservación de la muestra
- Responsable

### **1.4.2. Aforo**



La medición del caudal se realizó de forma manual utilizando un cronómetro y un recipiente aforado, generalmente un balde (método de balde cronómetro). Los resultados de los caudales se detallan en el (Capítulo II).

### **1.4.2.1. Procedimiento de aforo**

Se toma un volumen de muestra cualquiera y se mide el tiempo transcurrido desde que se introduce a la descarga hasta que se retira de ella; la relación de estos dos valores permite conocer el caudal en ese instante de tiempo. Se debe tener un especial cuidado en el momento de la toma de muestra y la medición del tiempo, ya que es un proceso simultáneo donde el tiempo comienza a tomarse en el preciso instante que el recipiente se introduce a la descarga y se detiene en el momento en que se retira de ella. Se deben realizar varias mediciones y calcular el promedio.

### **1.4.3. Características físico-químicas**

Dentro de las características físicas y químicas tenemos:

#### **1.4.3.1. Color**

El color en el agua residual se debe a la presencia de sustancias orgánicas e inorgánicas disueltas o coloidales.

#### **1.4.3.2. Turbidez**

La turbidez es la apariencia del agua residual se debe a partículas y organismos que se encuentran en suspensión.

#### **1.4.3.3. Ph**

A este parámetro se lo puede considerar dentro de las características físicas o químicas; determina si el agua es ácida, alcalina o neutra, cuando el pH es menor a 7 es ácida, cuando es igual a 7 es neutro, y cuando es mayor a 7 es alcalino.

#### **1.4.3.4. Temperatura**



Es importante para diferentes procesos de tratamiento puesto que tienen relación con el grado de saturación de Oxígeno disuelto, la actividad biológica y el valor de saturación con carbonato de calcio. (Romero Rojas, 2000).

### **1.4.3.5. Sólidos**

Los sólidos se presentan en el agua debido a materias orgánicas e inorgánicas, nutriente, aceites y grasas, sustancias tóxicas y micro organismos patógenos.

### **1.4.3.6. Conductividad**

Es la capacidad que tiene el agua para conducir una corriente eléctrica, esta depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas en el agua.

### **1.4.3.7. Alcalinidad**

Es la capacidad para neutralizar ácidos y reaccionar con iones hidrógenos es un parámetro muy importante ya que interviene en la coagulación química y ablandamiento.

### **1.4.3.8. Dureza**

La dureza es generalmente causada por el calcio y el magnesio disuelto en el agua, así como también por los iones metálicos divalentes capaces de reaccionar con el jabón para formar precipitados, la dureza del agua puede ser blanda, moderadamente dura, dura y muy dura.

### **1.4.3.9. Nitrógeno orgánico**

El nitrógeno orgánico presente en el agua se encuentra formando parte de compuestos tales como proteínas, polipéptidos y aminoácidos. (Seoáñez Mariano, 2005).

### **1.4.3.10. Nitrógeno amoniacal**

El nitrógeno amoniacal es la forma más predominante de nitrógeno en las aguas residuales, este se origina en la oxidación, muerte y descomposición bacteriana, en la hidrólisis de la urea y en los fertilizantes para plantas. (Metcalf y Eddy, 1995).



#### **1.4.3.11. Nitrógeno de nitrito**

La presencia de nitritos en el agua es un indicativo de contaminación de carácter fecal reciente. Los vegetales ricos en nitritos son: acelgas, espinacas, zanahorias, brócoli, coliflor, papa, lechuga y otros; así también estos se originan en los desechos orgánicos, por la oxidación del amoníaco o por la reducción de los nitratos.

#### **1.4.3.12. Nitrógeno de nitrato**

El nitrato se encuentra sólo en pequeñas cantidades en las aguas residuales domésticas, en las aguas los nitratos pueden encontrarse bien procedentes de las rocas que los contengan, lo que ocurre raramente, o bien por oxidación bacteriana de las materias orgánicas principalmente de las eliminadas por los animales, su concentración puede aumentar como consecuencia del incremento del uso de fertilizantes y del aumento de la población.

#### **1.4.3.13. Fósforo orgánico**

El fósforo aplicado con el agua residual es controlado principalmente por reacciones químicas. El fósforo orgánico se deriva fundamentalmente de la descomposición de la materia orgánica, abundante en las aguas residuales domésticas, en las aguas residuales agroindustriales (porquerizas, criaderos, camales, etc.) y en algunas industrias alimenticias. Pese a ello, la principal fuente de fósforo en el agua deriva de las aguas residuales agrícolas y del uso de detergentes en el lavado domésticos.

#### **1.4.3.14. Fósforo inorgánico**

El fósforo inorgánico en el agua residual proviene de diversas fuentes como procesos de lavados con detergentes tanto a nivel industrial como a nivel doméstico y otros de procesos agrícolas, en donde los ortofosfatos constituyen uno de los principales productos fertilizantes.

#### **1.4.3.15. Cloruros**

Los excrementos humanos, principalmente la orina, contienen cloruros en una cantidad casi igual a la de los cloruros consumidos con los alimentos y el agua. En



promedio unos 6 gramos de cloruros por persona por día, lo que incrementa el contenido de cloruros en las aguas residuales a 20 mg/l por encima de su valor normal. (Seoáñez Mariano, 2005).

### **1.4.3.16. Grasas**

Dentro de este parámetro se incluyen los aceites, son sustancias solubles que se separan de la porción acuosa y flotan formando natas muy ofensivas, son muy complicados de transportar en las tuberías de alcantarillado, y su remoción se la debe hacer generalmente en un pre tratamiento.

### **1.4.3.17. Carbono orgánico total (COT)**

El COT es un indicador de los compuestos orgánicos, fijos o volátiles naturales o sintéticos, presentes en las aguas residuales, esta sustancia se origina de forma natural en plantas y animales como resultado de su metabolismo, excreción y descomposición. No obstante los efluentes domésticos cargados de celulosa, azúcares, aceites, etc., son también una fuente significativa de emisión de COT al ambiente. (Seoáñez Mariano, 2005).

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

La DBO es el parámetro de contaminación orgánica más ampliamente empleado ya que indica la cantidad de oxígeno necesaria para descomponer la materia orgánica presente mediante acción de los microorganismos aerobios presentes en el agua. Esta concentración puede deberse a óxido de azufre y sulfuro presente en el agua que se oxidan con el oxígeno disuelto.

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

Es una medida de la cantidad de oxígeno existente en la muestra de agua residual que se oxida por medio de un agente químico oxidante fuerte (Romero Rojas, 2000).

## **1.4.4. Metales pesados**

En los metales pesados podemos considerar el Hierro, Mercurio, Plomo, Cobre, Manganeso, Cadmio, Zinc, Cromo y Níquel.



#### **1.4.4.1. Cobre**

El Cobre puede estar en muchas clases de comidas, en el agua potable y en el aire debido a que absorbemos una cantidad considerable de cobre cada día por la comida, bebiendo y respirando.

La absorción del cobre es necesaria, porque es un elemento traza que es esencial para la salud de los humanos. Aunque los humanos pueden manejar concentraciones de cobre proporcionalmente altas, el exceso de este metal puede causar problemas de salud. (Lenntech Agua residual & purificación del aire Holding B.V. Rotterdamseweg 402 M2629 HH Delft, The Netherlands).

Además los compuestos de cobre se usan comúnmente en la agricultura para tratar enfermedades de las plantas, por ejemplo hongos y como preservativo para madera, cuero y telas.

#### **1.4.4.2. Hierro**

El Hierro puede ser encontrado en carne, productos integrales, patatas y vegetales. La inhalación de concentraciones excesivas de óxido de hierro puede incrementar el riesgo de desarrollar cáncer de pulmón en trabajadores expuestos a carcinógenos pulmonares.

#### **1.4.4.3. Plomo**

La mayor parte de este metal proviene de actividades donde se usan materiales ricos en plomo como: pinturas, cerámicas y materiales de soldadura, además de la gasolina.

Es un metal gris-azulado que ocurre naturalmente en pequeñas cantidades en la corteza terrestre. El plomo se encuentra ampliamente distribuido en el ambiente. (ASTDR, 2007).

#### **1.4.4.4. Manganeso**

Su presencia se debe a actividades donde se manipulen materiales como cerámica, cemento y gasolina. Es un metal que ocurre naturalmente, se encuentra en



muchos tipos de rocas, este elemento puro es de color plateado, pero no ocurre naturalmente en esta forma. Se combina con otras sustancias tales como oxígeno, azufre o cloro. (ASTDR, 2007).

#### **1.4.4.5. Mercurio**

El mercurio es un metal que ocurre en forma natural en el ambiente y que tiene varias formas químicas. El más común es el metil-mercurio, es producido principalmente por organismos microscópicos en el suelo y en el agua. (ASTDR, 2005).

#### **1.4.4.6. Zinc**

El óxido de zinc es un constituyente de pinturas y catalizadores mientras que el vitriolo blanco se utiliza como fertilizante, y la bacitracina zinc se usa como estimulante de crecimiento en ganadería. (Metcalf y J. Eddy, 1995).

#### **1.4.4.7. Cadmio**

El cadmio es un compuesto tóxico, que ataca a los riñones, tejidos testiculares y los glóbulos rojos, la absorción de los compuestos del cadmio depende de la solubilidad, este elemento se encuentra en desechos líquidos del electroplatinado o de la industria galvanoplástica, también se encuentran en tuberías y tanques de almacenamiento galvanizadas. (Jiménez Cisneros, 2001).

#### **1.4.4.8. Cromo**

Las principales fuentes de cromo en el agua son: en la industria de cromo, en conexiones cromadas de circuitos de enfriamiento de agua y acondicionamiento de aire. La inhalación de este metal provoca cáncer y la toxicidad depende de su grado de oxidación, el cromo trivalente no es tóxico pero el hexavalente si lo es. (Jiménez Cisneros, 2001).

#### **1.4.4.9. Níquel**

Este metal se encuentra en instrumentos dentales, elaboración de cerámica y vidrio de color, ingerirlo provoca reacciones alérgicas mediante exposiciones dérmicas y orales. (Jiménez Cisneros, 2001).



#### **1.4.5. Pesticidas**

Los pesticidas son productos químicos utilizados para controlar varias plagas como insectos, roedores, hongos (tales como el moho y el mildew) y las malas hierbas. (Children`s Environmental Health Network).

Hoy en día, se usan pesticidas de manera habitual tanto dentro como fuera de casa, y se pueden encontrar en la tierra, el agua, el aire y en nuestros cuerpos, las concentraciones de estos productos químicos, pueden dar como resultado la muerte de peces y deterioro del suministro de agua la presencia de estos productos en el agua es por medio de escurrimientos.

##### **1.4.5.1. Aldrín y dieldrín**

Son plaguicidas clorados que se utilizan contra insectos que viven en el suelo, en semillas o cultivos, se emplean para combatir termitas, estos compuestos se relacionan por su toxicología y modo de acción, se encuentran en el agua y en la atmósfera, la presencia de estos compuestos en el ser humano afecta al sistema nervioso central y el hígado. (Jiménez Cisneros, 2001).

##### **1.4.5.2. D-D-T**

Es el más permanente de todos los insecticidas comúnmente usados, debido a su insolubilidad en el agua, se lo utiliza para el control de plagas en cultivos como el algodón, maíz, aguacate y tabaco, afecta al sistema nervioso central y al hígado es cancerígeno. (Jiménez Cisneros, 2001).

##### **1.4.5.3. Heptaclor**

Es un insecticida que está prohibido en la mayoría de países por su alto grado de toxicidad, los alimentos son los más afectados cuando se utiliza este tipo de pesticida, estos se presentan en el agua en pequeñas cantidades, por ser persistentes en el suelo, al ingerir una persona agua contaminada con este compuesto puede alterar su sistema nervioso central. (Jiménez Cisneros, 2001).



#### **1.4.5.4. Metoxicloro**

Es utilizado en hortalizas, frutas, árboles y animales de granja, no es muy soluble en el agua y es inmóvil en la mayor parte de los suelos agrícolas, este compuesto no es muy tóxico, en uso normal de este pesticida no parece perjudicial para el medio ambiente. (Jiménez Cisneros, 2001).

#### **1.4.5.5. Endrín**

Es un insecticida foliar utilizado como fitosanitario en cultivos extensivos como maíz y algodón, también ha sido utilizado como rodenticidas. Está prohibido o limitado su uso en numerosos países. En España, en 1997, fue prohibido la importación, fabricación, fraccionamiento, comercialización y uso como producto de aplicación agrícola. Es uno de los denominados POP's.

#### **1.4.5.6. Cyclohexane (HCH)**

Su uso y producción está prohibido en todos los países debido a su alta toxicidad, la sustancia puede ser absorbida en el cuerpo por inhalación de sus aerosoles, a través de la piel y por ingestión.

La sustancia puede afectar el sistema nervioso central, médula ósea, hígado, hormonas sexuales y el sistema genital. Esta sustancia es posiblemente carcinogénica para los humanos. (Secretaría para el Convenio de Rotterdam sobre el procedimiento de consentimiento fundamentado previo aplicable a ciertos plaguicidas y productos químicos peligrosos objeto de comercio internacional - Apéndice IV - Partes CIRCULAR CFP XXII - Diciembre de 2005).

#### **1.4.5.7. Mirex**

El mirex es uno de los insecticidas organoclorados más estables, tiene baja solubilidad en el agua y es altamente tóxico para las personas y el medio ambiente, está prohibida su producción y uso en la mayoría de países, este compuesto es tóxico por vía oral, por contacto con la piel. (Secretaría para el Convenio de Rotterdam sobre el procedimiento de consentimiento fundamentado previo aplicable a ciertos plaguicidas y



productos químicos peligrosos objeto de comercio internacional - Apéndice IV - Partes CIRCULAR CFP XXII - Diciembre de 2005).

#### **1.4.5.8. Endosulfán**

Es usado para controlar insectos tanto en cosechas comestibles y no comestibles, este compuesto entra en el agua, aire y suelo durante su uso, en contacto con el suelo dura años en degradarse, no se disuelve fácilmente en agua, este pesticida afecta al sistema nervioso central y aun no se detecta que sea cancerígeno. (ATSDR). 2000. Reseña toxicológica del endosulfán, Atlanta, GA: Departamento de salud y servicios humanos de EE.UU., servicio de salud pública).

#### **1.4.5.9. Etión**

El Etión es un plaguicida organofosforado utilizado para matar pulgones, ácaros, escamas, trips, saltamontes, larvas y larvas de alimentación foliar. Puede ser utilizado en una amplia variedad de alimentos, fibras y plantas ornamentales, incluyendo los cultivos de invernadero, jardines y césped.

Etión es altamente tóxico por inhalación, exposición dérmica y la ingestión. Como la mayoría de los organofosforados, se absorbe fácilmente a través de la piel (Meister, R.T., 1992).

#### **1.4.6. Características bacteriológicas**

Estos parámetros son importantes porque nos permite saber las características del agua residual, entre las características bacteriológicas tenemos:

##### **1.4.6.1. E- coli**

Es el principal organismo anaerobio facultativo del sistema digestivo, la bacteria actúa como un comensal formando parte de la flora intestinal y ayudando así a la absorción de nutrientes. En humanos, E. coli coloniza el tracto gastrointestinal de un neonato adhiriéndose a las mucosidades del intestino grueso en el plazo de 48 h después de la primera comida.



#### 1.4.6.2. *Coliformes totales*

Fermentan la lactosa con formación de gas en un período de 24 horas a 35° C (o 37° C). (Romero Rojas, 2000).

#### 1.4.6.3. *Coliformes fecales*

Forman parte de este grupo y se caracterizan por soportar temperaturas muy elevadas se diferencia con los coliformes totales por crecer a una temperatura superior.

#### 1.4.7. **Análisis estadístico de resultados**

Es importante determinar las características estadísticas de los parámetros obtenidos en el laboratorio del agua residual debido a la variabilidad de los flujos tanto en cantidad como en composición, esto para predecir o valorar los valores máximos, mínimos y promedios.

El análisis estadístico de los diferentes parámetros sirve de base para elegir los valores de diseño, desechando los valores extremos máximos o mínimos que puedan desviar el valor promedio del lote de datos. (Romero Rojas, 2000)

##### 1.4.7.1. *Promedio*

Es una medida de localización del punto de tendencia central (valor hacia el cual tienden los datos), el **promedio aritmético** es uno de los más utilizados.

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n} \quad \text{Ecuación 1-2}$$

Donde:

$\bar{X}$  - Promedio Aritmético

X - Valor individual de cada dato

n - Número de datos



**1.4.7.2. Desviación estándar**

La desviación estándar es la raíz cuadrada del promedio de las desviaciones con respecto al promedio aritmético, esta mide numéricamente la dispersión, variabilidad o carencia de homogeneidad de los datos a los cuales se aplica (Romero Rojas, 2000).

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

**Ecuación 1-3**

Donde:

$\sigma$  - Desviación estándar

X - Valor individual de cada dato

$\bar{X}$  - Promedio aritmético

n - Número de datos

**1.4.7.3. Rechazo de datos**

En teoría no se debe rechazar ningún dato porque ello implica una técnica de medida defectuosa que genera duda sobre todos los resultados (Romero Rojas, 2000), sin embargo cuando existen valores extremos es necesario excluirlos para no alterar el promedio del lote de datos, el criterio más adecuado según Romero Rojas es la desviación estándar en la que si la diferencia entre el promedio del lote y el valor cuestionable excede tres veces la desviación estándar, el dato se puede rechazar con un nivel de confianza del 95 %.

**1.5. CARACTERÍSTICAS DEL SUELO**

Se denomina suelo al sistema estructurado, biológicamente activo, que tiende a desarrollarse en la superficie de las tierras emergidas por la influencia de la intemperie y de los seres vivos.

El suelo como receptor de aguas residuales tiene una serie de propiedades de todo tipo, estéticas y dinámicas, físicas, químicas y biológicas, que hacen que pueda aceptar, transformar, procesar y en su caso aprovechar, el contenido de muchos vertidos.



Por tanto el comportamiento del suelo depende frecuentemente de las características de su fase sólida, y estas dependen en gran parte de la distribución granulométrica y al final, de la textura. (Seoánez Mariano, 2004)

Por otra parte, las características mineralógicas del suelo son fundamentales en los procesos que se verifican entre la fase sólida y la fase líquida, y a su vez están influidas por fuerzas electroestáticas que favorecen a la asociación de partículas minerales y la constitución de estructuras estables.

### 1.5.1. Obtención de la muestra de suelos

El objetivo de la obtención de las muestras es recoger partes, porciones o elementos representativos de un terreno, a partir de los cuales se realizarán los ensayos pertinentes.

Las muestras pueden ser:

**Alteradas.-** Estas muestras solo conservan algunas propiedades del terreno en su estado natural ya que han sufrido una alteración en su estructura. Estas muestras no representan de forma real las propiedades ingenieriles de resistencia y permeabilidad del suelo.



Para los ensayos determinados se utilizan aproximadamente 50kg de muestra en las cuales se van a realizar ensayos físicos como textura, clasificación, etc.

Fig. 1-17 Calicata para obtención de muestra

**Inalteradas.-** Requieren una limpieza superficial previa a la toma de la muestra, y un parafinado posterior de las caras de la muestra, en las que el suelo queda en contacto con el exterior.





El bloque realizado es tallado a mano, con dimensiones superiores a 15 cm. La calidad de esta muestra es buena. Esta muestra va a servir para hacer los ensayos químicos.

**Fig. 1-18 Obtención de muestras inalteradas**

**1.5.2. Ensayos "in situ"**

**1.5.2.1. Densidad**

La compactación es el término que se utiliza para describir el proceso de densificación de un material mediante medios mecánicos, el incremento de densidad se obtiene al disminuir el contenido de aire en los vacíos en tanto se mantienen el contenido de humedad aproximadamente constante.

**Método utilizado.-** Densímetro nuclear, es un equipo portátil que emite radiación ionizante que se utiliza para medir la humedad y densidad de suelos.



**Fig. 1-19 Medición con el densímetro nuclear**

**1.5.2.2. Velocidad de infiltración**

La velocidad de infiltración es la facilidad con la que un fluido se mueve a través de un medio poroso. Se realiza el ensayo utilizando una calicata totalmente saturada y geoméricamente regular.

**1.5.2.3. Perfil estratigráfico**

El perfil estratigráfico es un sistema completo de horizontes del suelo que proporciona las características generales de los depósitos a diferentes profundidades. A este se lo obtiene realizando un corte vertical en el terreno.



Al observar un perfil pueden distinguirse capas que se denominan horizontes o estratos, dado que su disposición suele ser horizontal o sub horizontal. Cada uno de ellos suele tener características y propiedades diferentes en un mismo suelo, de ahí la importancia de su identificación para estudiarlos, describirlos y muestrearlos separadamente.

### **1.5.3. Ensayos en laboratorio**

#### **1.5.3.1. Ensayos físicos**

La condición física de un suelo, determina, la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad, y la retención de nutrientes.

#### **1.5.3.2. Textura**

El ensayo de textura representa el porcentaje en que se encuentran los elementos que constituyen el suelo; arena gruesa, arena media, arena fina, limo, arcilla. Se determina igualmente la cantidad de grava y gravilla. En suma, es un análisis granulométrico.

Para determinar la clase de textura de un suelo, se recurre a varios métodos. Se utilizan cada vez más los diagramas triangulares, siendo el triángulo de referencia un triángulo rectángulo o un triángulo equilátero. Se usa actualmente, de un modo casi unánime, un triángulo equilátero. Cada uno de sus lados a un eje graduado de 10 en 10, de 0 a 100, sobre el cual se transporta la cantidad del elemento que representa; en general un lado del triángulo corresponde a la arcilla, el otro al limo, el tercero a la arena. (Propiedades físicas del suelo Montevideo-Uruguay 2004).

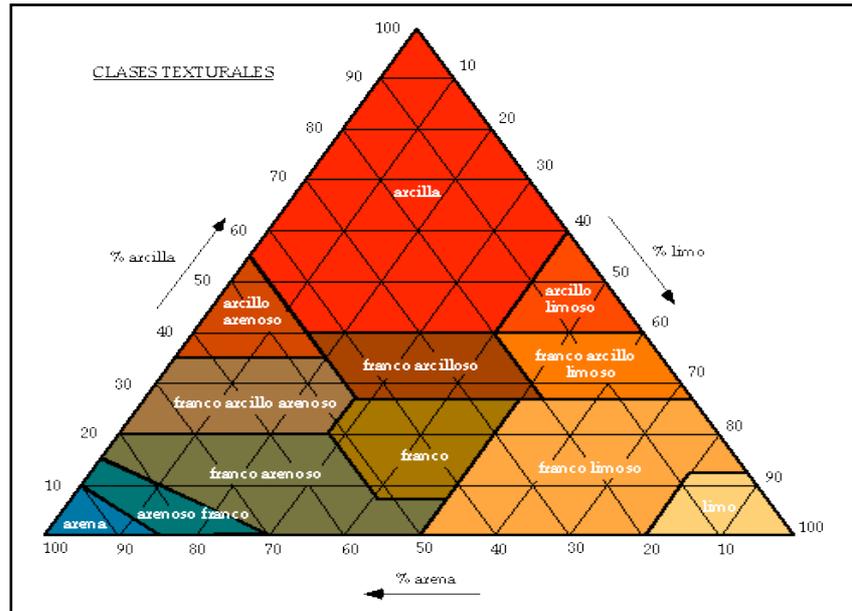


Fig. 1-20 Triángulo de textura para obtener el tipo de suelo

Fuente: Natural resources conservación service (USDA)

### 1.5.3.3. Clasificación del suelo

Para clasificar un suelo se debe determinar los siguientes parámetros:

- **Contenido de humedad.-** Es la relación del cociente del peso de las partículas sólidas y el peso del agua que guarda, esto se expresa en términos de porcentaje. La norma utilizada es la ASTM D 2216-71.
- **Granulometría.-** El ensayo de granulometría tiene por finalidad determinar en forma cuantitativa la distribución de las partículas del suelo de acuerdo a su tamaño. Su desarrollo se lo hace con referencia a una serie fina (pasante del tamiz # 4) y una serie gruesa (del 3" al # 4) de acuerdo a la norma ASTM D 421-58.
- **Límite líquido.-** Se considera que el suelo está en este estado cuando pasa de un estado semilíquido a un estado plástico y puede moldearse. Para la determinación de este límite se utiliza la cuchara de Casagrande. Norma ASTM D 4318-92.
- **Límite plástico.-** Se obtiene el límite plástico cuando el suelo pasa de un estado plástico a un estado semisólido y se rompe. Norma ASTM D 4318-92.



#### **1.5.3.4. Permeabilidad**

La determinación del coeficiente de permeabilidad (k) mediante carga constante según la norma ASTM D 2434-68 determina la facilidad con la que un fluido se mueve a través de un medio poroso.

#### **1.5.4. Ensayos químicos**

La composición química del suelo incluye la media de la reacción de un suelo (pH) y de sus elementos químicos (nutrientes). Su análisis es necesario para obtener las propiedades que se deben a una serie de características que en el caso de la transformación química se deben a mecanismos de tipo electro-químico. (Seóanez Mariano, 2004)

Estos ensayos se los realizó en el laboratorio de suelos y aguas de Agro calidad detallando los resultados en el (Capítulo III).

### **1.6. ANÁLISIS HIDROLÓGICOS.**

En el diseño de un sistema de depuración mediante métodos naturales, es imprescindible la realización de una serie de estudios previos y estudios complementarios que aportan datos necesarios para el diseño y cálculo de las instalaciones si se desea tener una mínima garantía de éxito, como los estudios hidrológicos en los que los factores como precipitación, viento, temperatura y evapotranspiración juegan un papel muy importante a la hora de diseñar.

Es importante disponer al menos de (10 a 20) años de datos en lo posible. La fuente de información meteorológica más adecuada para este tipo de estudios es el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología que dispone de información diaria acerca de las precipitaciones, temperaturas y velocidad del viento.

La precipitación es un aporte más al sistema de depuración de aguas residuales por ello es necesario contar con una descripción de las precipitaciones máximas, mínimas y medias mensuales de todos los años que se tenga disponible en el INHAMI.



La temperatura es una variable muy importante ya que la evaporación influye directamente de ésta y es muy necesaria porque nos permite predecir la cantidad de agua que se evapora por medio de la evapotranspiración, de ahí la importancia de tener una distribución de las temperaturas.

El viento es un parámetro importante al momento de escoger el tipo de distribución del agua residual en nuestro sistema de depuración, si escogemos aspersión por ejemplo hay que tener cuidado ya que puede arrastrar partículas de agua a la población (Moreno Merino, 2003).

La Evapotranspiración es necesaria para realizar el balance hídrico, esta se la puede calcular mediante Thornthwaite.

### **1.7. MÉTODOS NATURALES DE DEPURACIÓN EN EL TERRENO**

El suelo actúa como medio receptor de las aguas residuales y también actúa como agente activo tanto en la superficie como en el interior del mismo en el cual se produce el proceso de depuración eliminando nutrientes, materia orgánica, microorganismos y otros componentes como metales pesados o micro contaminantes orgánicos.

Entre los métodos naturales de depuración en el terreno se incluyen habitualmente los siguientes tipos:

- Infiltración rápida
- Infiltración lenta
- Flujo o escorrentía superficial
- Humedales de flujo superficial o flujo sub superficial

#### **1.7.1. Infiltración rápida (IR)**

La infiltración es el proceso por el cual el agua superficial se introduce en las capas internas del suelo debido básicamente a las fuerzas gravitatorias, aunque también intervienen fuerzas de tipo capilar así como otras de naturaleza más compleja como química, etc. (Seóñez Mariano, 2004)



El agua infiltrada puede llegar a los acuíferos, ríos, lagos o al mar, o bien puede quedar retenida en el suelo y volver a la atmósfera por fenómenos de evaporación y/o transpiración.

La infiltración rápida depende de:

- Las características del suelo, permeabilidad y estado de humedad del mismo.
- Las características de la cubierta vegetal si es que se contempla en el diseño.
- La intensidad y duración de la lluvia (precipitación).
- El estado de la superficie del suelo, laboreo, etc.
- Las características del agua, temperatura, impurezas, etc.
- El nivel freático que debe ser mayor o igual a 3 m.
- La permeabilidad debe ser moderadamente alta.

En este sistema hay que optar por diseñar más de cuatro balsas de infiltración para que el sistema se mantenga en constante funcionamiento y no se paralice debido a los ciclos de carga hidráulica que pueden ser seleccionados para maximizar las tasas de infiltración, la nitrificación o la remoción de nitrógeno, es decir dependerá del objetivo de carga hidráulica que requiera el sistema.

Los sistemas de distribución pueden ser por aspersión, tubos de distribución perforados o por fosas de distribución de bajo nivel, la distribución por aspersión es aconsejable cuando se escoge un cultivo en el diseño, el problema de utilizar este tipo de distribución son los taponamientos constantes de los aspersores, los tubos de distribución y el llenado de balsas son mejores alternativas por el fácil mantenimiento y el funcionamiento constante.

Las balsas de infiltración se deben dividir por medio de una berma central que permite el secado periódico de las balsas, y la vía para el mantenimiento de cada una de ellas.

Este sistema es de fácil operación y mantenimiento, tiene una capacidad de remoción ideal para concentraciones de agua residual urbana, Su bajo costo es lo que hace sea un sistema ideal para poblaciones menores a 5000 habitantes.



La recolección del agua residual puede ser por medio de tubería de drenaje instalada en forma de espina de pescado (recomendada), puede pasar directamente al agua subterránea o puede ser conducida a un tanque de almacenamiento, esto dependerá de la disposición final del agua residual a tratar.

### **1.7.2. Infiltración lenta (IL)**

Los sistemas de infiltración lenta consisten en la aplicación de un caudal controlado de agua residual sobre una superficie de terreno cubierta de una capa vegetal, estos sistemas por lo general se operan en ciclos semanales durante la temporada de crecimiento de cultivos de agua residual, el proceso de infiltración es mediante la percolación vertical y lateralmente del agua residual a través del suelo, que puede recuperar sus condiciones aerobias gracias a los procedimientos cíclicos de aplicación.

La cubierta vegetal juega un importante papel en el proceso de tratamiento, la selección y cuidado depende principalmente del grado de tratamiento perseguido y de las características de los suelos.

La infiltración lenta alcanza altos niveles de tratamiento, debido a la aplicación de cargas relativamente bajas sobre suelo vegetado y a la existencia de un ecosistema muy activo en el suelo, a escasa distancia de la superficie.

#### **Las características a considerar en este tipo de tratamiento son:**

- El nivel freático debe ser mayor o igual a 0.6 m
- La permeabilidad del suelo debe ser lenta o moderadamente lenta
- La pendiente debe estar entre (15 y 20) % en terrenos cultivados
- La selección del cultivo
- La disposición del terreno para la construcción del sistema
- Las características del agua, suelo y clima

Los sistemas de distribución pueden ser: por aspersion que es un sistema ideal debido a que tiene cultivo y ayuda a una mejor distribución del agua residual repartiendo de forma uniforme sobre la capa vegetal, por aplicación superficial y por goteo que se lo emplea cuando se dispone de un efluente filtrado de alta calidad.

La selección de la técnica de distribución depende del suelo, el tipo de cultivo, la topografía y los factores económicos (Romero Rojas, 2000).



### 1.7.3. Flujo superficial

Es ideal para suelos impermeables es decir que no tienen permeabilidad como arcillas de alta plasticidad, consiste en distribuir el agua sobre el suelo debidamente acondicionado (pendiente y vegetación), para luego ser recogida en diques o tanques de almacenamiento.

Estos sistemas son efectivos para la remoción de DBO, SST, nitrógeno y compuestos orgánicos en pequeñas cantidades, sin embargo no son ideales para remover metales pesados, fósforo y organismos patógenos (Crites Tchobanoglous, 2000).

El tratamiento preliminar consiste en un tanque de sedimentación con un tiempo de retención de 1 a 2 días, rejillas de cribado, un desarenador, un tanque de almacenamiento es necesario para la recolección del agua residual en climas fríos, climas húmedos o durante la cosecha de cultivos.

Las características a considerara en este sistema son:

- El clima de la ciudad donde se va implementar este sistema.
- Las características del suelo y agua.
- La pendiente del terreno debe estar entre el (2 y 8) % (Crites Tchobanoglous, 2000).
- La selección de la vegetación.
- La disposición del terreno para construir el sistema.

La distribución del agua residual puede hacerse con tubería de plástico perforada, o con aspersores ideal para la distribución uniforme del agua sobre la capa vegetal. El almacenamiento del agua residual puede ser útil en climas fríos, climas húmedos o durante la cosecha de cultivos.

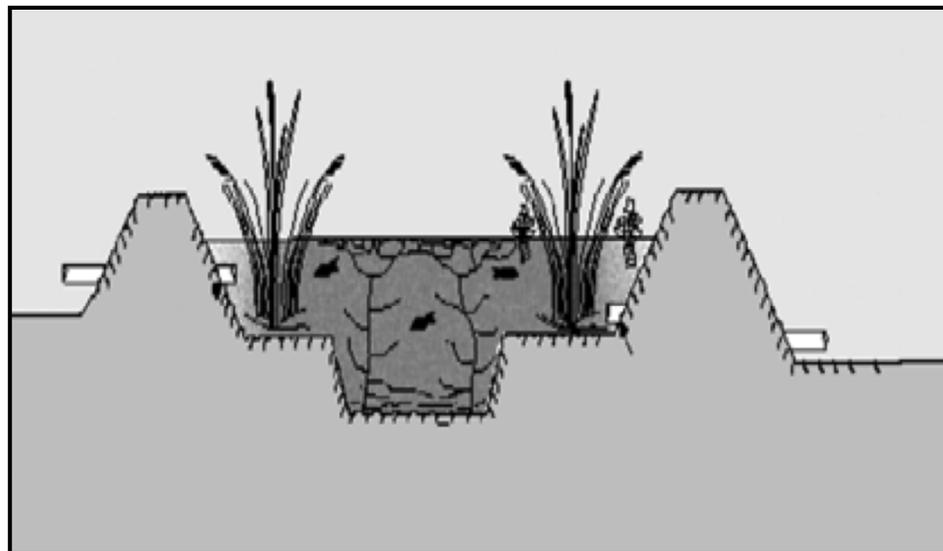
La recolección del agua residual tratada se la realiza por medio de drenajes abiertos bordeados por pasto en la base de la pendiente, estos canales son usualmente de tipo V de (0.5 a 1) % (Crites Tchobanoglous, 2000).

La construcción de un sistema de flujo superficial es económico, de fácil operación y mantenimiento.



#### 1.7.4. Humedales de flujo superficial y sub superficial

Los humedales naturales consisten en tener una vegetación sumergida, vegetación flotante, vegetación emergente y zonas con nivel freático más o menos cercano a la superficie, en los que el suelo se mantiene saturado de agua durante un largo período de tiempo cada año. En los humedales crecen vegetales, animales y microorganismos especialmente adaptados a estas condiciones ambientales. Estos seres vivos, junto a procesos físicos y químicos, son capaces de depurar el agua, eliminando grandes cantidades de materia orgánica, sólidos, nitrógeno, fósforo y, en algunos casos, productos químicos tóxicos, por esta razón se ha llamado a los humedales “los riñones del mundo” (Mitsch y Gosselink, 2000).



**Fig. 1-21 Humedal artificial de flujo superficial libre**

**Fuente:** Crites Tchobanoglous, 2000

Los humedales se forman en donde se acumula una pequeña capa de agua sobre la superficie del terreno y donde exista una capa del subsuelo relativamente impermeable que prevenga la filtración del agua en el subsuelo. Estas condiciones pueden crearse para construir un humedal casi en cualquier parte modificando la superficie del terreno para que pueda recolectar agua y sellando la cubeta para retener el agua.

La hidrología es el factor de diseño más importante en un humedal construido porque reúne todas las funciones del humedal y porque es a menudo el factor primario en el éxito o fracaso del humedal, mientras la hidrología de un humedal construido no es



muy diferente que la de otras aguas superficiales esta difiere en aspectos importantes según (Lara, J. 1999):

- Pequeños cambios en la hidrología pueden tener efectos importantes en un humedal y en la efectividad del tratamiento.
- Debido al área superficial del agua y su poca profundidad, un sistema actúa recíproca y fuertemente con la atmósfera a través de la lluvia y la evapotranspiración (la pérdida combinada de agua por evaporación de la superficie de agua y pérdida a través de la transpiración de las plantas).
- La densidad de la vegetación en un humedal afecta fuertemente su hidrología, primero, obstruyendo caminos de flujo siendo sinuoso el movimiento del agua a través de la red de tallos, hojas, raíces, y rizomas y, segundo, bloqueando la exposición al viento y al sol.

La presencia de vegetación en los humedales superficiales y sub superficiales tiene la finalidad de transmitir el oxígeno desde las hojas hasta las raíces, donde se produce la interacción planta-agua durante los procesos de nitrificación y desnitrificación. En estos procesos la temperatura es un factor muy influyente, que ha de tenerse en consideración a la hora de proyectar los sistemas, es necesario hacer re circular una parte del efluente como aporte extra de oxígeno, la eliminación del fósforo es limitada en estos procesos, debido a la falta de contacto con el suelo, que constituye el elemento de adsorción y precipitación.

### **1.8. SELECCIÓN DE LOS MÉTODOS NATURALES DE DEPURACIÓN EN EL TERRENO**

Dentro del proceso de selección de la tecnología se debe tomar en cuenta los siguientes factores y variables: (Bernal Cardona, 2003)

#### **1. Factores demográficos y socio culturales:**

- Tamaño de Población
- Nivel educativo
- Cobertura de la red de agua potable
- Existencia y tipo de alcantarillado



- Tipo de vertidos

**2. Características del agua residual:**

- Origen del agua residual
- Composición del agua residual
- Caudal del agua residual

**3. Factores climáticos:**

- Temperatura
- Precipitación
- Viento
- Evapotranspiración

**4. Características del terreno:**

- Topografía
- Nivel Freático
- Permeabilidad
- Características físicas y químicas e hidráulicas del suelo

**5. Objetivos de tratamiento:**

- Expectativas de calidad del efluente
- Nivel de tratamiento
- Descarga del efluente
- Estándares de reuso en la agricultura
- Estándares de calidad del efluente

**6. Aspectos tecnológicos:**

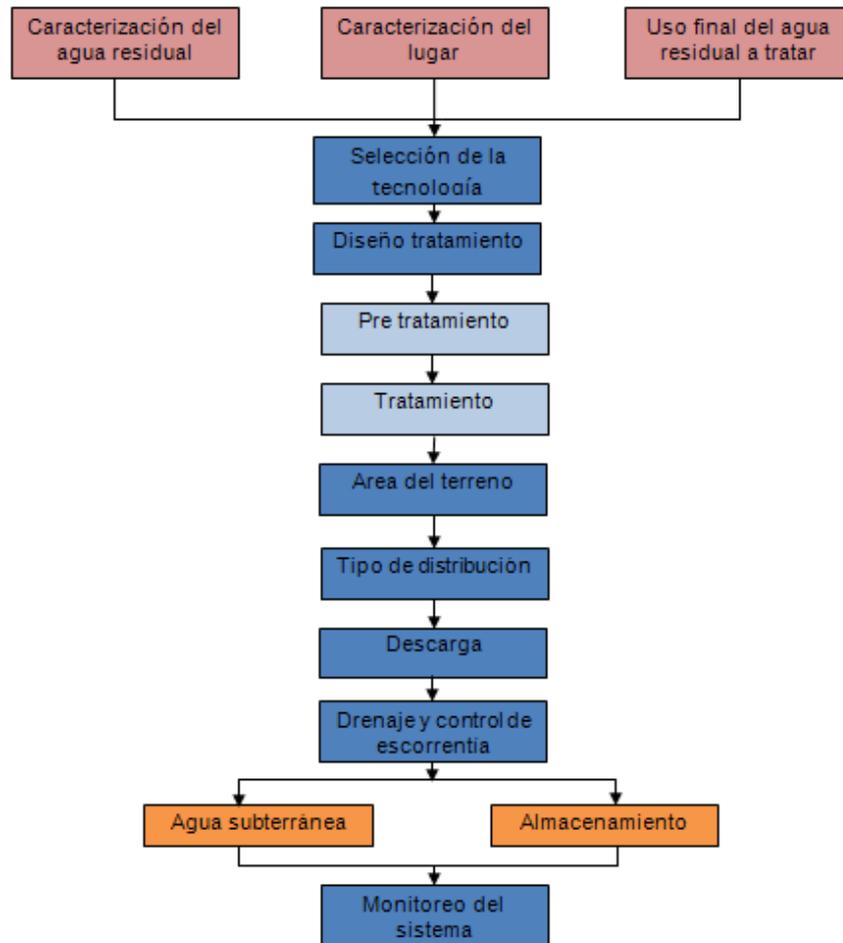
- Impacto ambiental del sistema de tratamiento
- Disponibilidad de terreno



- Eficiencia de la tecnología
- Disponibilidad de mano de obra
- Costos de la tecnología
- Plan de mantenimiento

### 1.9. DISEÑO DEL TRATAMIENTO

A continuación se presenta un diagrama de flujo del procedimiento de diseño:



Esquema 1.1 Diagrama de flujo del proceso de diseño

Fuente: Autores

### 1.10. IMPACTO AMBIENTAL

Es importante definir un conjunto de técnicas que tengan como propósito fundamental el manejo de los asuntos humanos de forma que sea posible que la planta de tratamiento de aguas residuales este en armonía con la naturaleza.



Para conseguir una mejora medioambiental, es necesario utilizar diferentes estrategias y herramientas que parten de la idea de un desarrollo sostenible, en el cual se deberá realizar un estudio técnico para identificar los cambios que se puedan dar en el entorno y que pueden afectar a los ciclos de vida normal de la flora y fauna del sitio.

### **1.10.1. Metodología**

El método por el cual se desarrollará el impacto ambiental es la matriz de Leopold. Este método se lo aplica ya que en proyectos de construcción es especialmente útil debido al enfoque y contenidos utilizados.

Consiste en un cuadro de doble entrada (matriz). En las columnas se coloca las acciones humanas que pueden alterar el sistema y en las filas las características del medio que pueden ser alteradas

La forma de utilizar la matriz de Leopold puede resumirse en los siguientes pasos:

- Delimitar el área de influencia
- Determinar las acciones que ejercerá el proyecto sobre el área
- Determinar para cada acción, qué elemento(s) se afecta(n). Esto se logra mediante el rayado correspondiente a la cuadrícula de interacción
- Determinar la importancia de cada elemento en una escala de 1 a 10.
- Determinar la magnitud de cada acción sobre cada elemento, en una escala de 1 a 10.
- Determinar si la magnitud es positiva o negativa
- Determinar cuántas acciones del proyecto afectan al ambiente, desglosándolas en positivas y negativas
- Agregar los resultados para las acciones.
- Determinar cuántos elementos del ambiente son afectados por el proyecto, desglosándolos en positivos y negativos.
- Agregar los resultados para los elementos del ambiente.

La metodología diseñada por Leopold propone que se consideren los factores ambientales (filas de la matriz), y acciones que se realicen en la construcción, operación y mantenimiento (columnas).



# CAPITULO II



## 2. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL

### 2.1. DESCRIPCIÓN

En esta sección se detallará los resultados obtenidos de los análisis de aguas, sus concentraciones máximas y mínimas, así como también sus límites permisibles de descarga. Además se especificará el programa de muestreo, su frecuencia y el procedimiento de recolección de muestras. Los informes de laboratorio se detallarán en el (Anexo 2).

En la fase de monitoreo se procedió a identificar el pozo de llegada de todo el sistema de alcantarillado en el cual se recogerán las muestras. Este se encuentra a 500 metros de la ciudad de Zapotillo, vía a Limones. Cabe recalcar que las muestras recolectadas son simples y se tomará a cada hora comenzando desde las 06h00 hasta las 18h00. El análisis de las muestras se lo realizará en el laboratorio de IQA-UTPL.

### 2.2. TOMA DE MUESTRAS

#### 2.2.1. **Materiales para la toma de muestras**

- 13 recipientes de plástico con capacidad de 3 litros para análisis físico – químico
- 13 recipientes de ámbar con capacidad de 2 litros para metales pesados y pesticidas.
- 4 recipientes de polipropileno con capacidad de 500 ml. para análisis bacteriológico.
- 1 muestreador metálico para la recolección del agua residual.
- Termómetro.
- Equipo de protección.

#### 2.2.2. **Procedimiento de muestreo**

##### 2.2.2.1. ***Preparación de los frascos***

Se debe limpiar los envases de plástico con agua destilada y extrán y los envases de ámbar con una disolución de ácido sulfúrico con el fin de esterilizarlos totalmente. A continuación se procede a codificar los frascos de muestreo, poner la fecha y el código de la muestra correspondiente.



### 2.2.2.2. *Extracción de la muestra*

Destapar el frasco esterilizado y llenar con la muestra utilizando un muestreador, el mismo que debe recoger el agua del vertido evitando que este no tenga contacto con el agua que repose en el punto de descarga.

Dejar un espacio de aire de 1 cm antes de que el agua llegue al tope del frasco, lo que facilita homogenizar la muestra antes de su análisis.

A continuación se procede a tomar la temperatura del agua residual con un termómetro en el instante de recolección de la muestra. Esto se lo realizó ubicando el termómetro en la boca del recipiente hasta que se establezca la lectura.



Fig. 2-1 Procedimiento de muestreo

### 2.2.2.3. *Registro de datos*

Registrar en las planillas de muestreo, la fecha, hora, temperatura y otros datos que puedan influir en las determinaciones analíticas.

### 2.2.2.4. *Transporte y conservación de muestras*

#### 2.2.2.4.1. *Transporte de las muestras*

Entre la toma de muestras y el análisis debe transcurrir el menor tiempo posible y en ningún caso más de 72 h, debiendo mantenerse la temperatura de la muestra durante el transporte a 4 °C. Se transportarán las muestras en cajas adecuadas para evitar las pérdidas por transporte.

#### 2.2.2.4.2. *Conservación de las muestras*

Se deben mantener refrigeradas, manteniendo los recipientes con hielo u otro sistema de enfriamiento durante el tiempo que dure su transporte al laboratorio, si los



ensayos no pueden realizarse a la hora de su llegada se guardará en refrigeración por 24 horas.

**2.3. Frecuencia de muestreo**

Se debe definir los intervalos de muestreo de acuerdo con la frecuencia esperada de los cambios. Para evaluar los efectos de descargas y operaciones variables o irregulares. La frecuencia fue la siguiente:

**Tabla 2-1 Frecuencia de muestreos**

Muestreo	Fecha
Primer muestreo	Martes, 27 de enero de 2009
Segundo muestreo	Jueves, 9 de abril de 2009
Tercer muestreo	Sábado, 16 de mayo de 2009
Cuarto muestreo	Miércoles, 17 de junio de 2009
Quinto muestreo	Domingo, 26 de julio de 2009
Sexto muestreo	Viernes, 6 de noviembre de 2009

**2.4. Programa de muestreo**

El siguiente programa de muestreo es desarrollado en base a la información recopilada durante la visita técnica y a los objetivos que se desea alcanzar.

**Tabla 2-2 Programa de muestreo para la ciudad de Zapotillo**

PROGRAMA DE MUESTREO		
<b>Plan de muestreo</b>	Número de puntos de muestreo.	1
	Ubicación del punto de muestreo	Último pozo de descarga a 500 metros de la ciudad vía a Limones
	Número de muestreos.	6
	Número de muestras a recolectar.	13 por salida
	Horas escogidas para el muestreo.	06H00 - 18H00
	Toma de muestras	Cada hora
<b>Clase y recipiente de conservación</b>	Físicas y químicas	Recipiente plástico
	Metales pesados	Recipiente ámbar
	Bacteriológicas	Recipiente polipropileno
<b>Equipo de muestreo</b>	Muestreadores metálicos	
	Termómetros	
	Recipiente recolector	
	Guantes de látex	
	Bata u overol de algodón.	
	Botas de suela antiderrapante.	
	Lentes de protección y cubre bocas.	
Gorra o casco		



Almacenamiento y preservación de la muestra	Tanque de almacenamiento de las muestras
	Hielo a temperatura de (-5 a 10) °C
	Hielera a temperatura calibrada y certificada de -5 °C

2.5. **Aforo**

El método utilizado es el de balde-cronometro y se lo calcula como:

$$Q = \frac{V}{t} \quad \text{Ecuación 2-1}$$

Donde:

Q - caudal (L/s)

V - volumen (L)

t - tiempo (s)

Este método tiene la ventaja de ser el más sencillo y confiable, siendo los caudales obtenidos los siguientes en L/s El valor medio obtenido durante los 6 muestreos de las trece muestras recogidas es de 5.12 L/s, con una desviación estándar de 1.56

Tabla 2-3 Resumen de caudales obtenidos

PARÁMETROS	UNIDAD	MUESTREO	HORA DEL MUESTREO													CONCE.. CRÍTICA	
			06h00	07h00	08h00	09h00	10h00	11h00	12h00	13h00	14h00	15h00	16h00	17h00	18h00	MÁX	MÍN
CAUDAL	L/S	1M	2,12	2,49	3,45	4,53	3,11	3,68	4,19	6,35	5,96	3,12	3,56	3,83	4,07	6,35	2,12
		2M		5,24	5,49	4,98	4,76	4,89	4,76	4,89	5,29	5,26	5,27	5,11	5,13	5,49	4,76
		3M	2,91	4,11	4,04	4,31	3,45	3,39	4,00	4,86	5,45	3,43	3,39	3,13	2,95	5,45	2,91
		4M	2,09	2,97	5,05	3,43	3,12	2,96	2,91	4,67	3,97	1,62	2,97	5,05	4,91	5,05	1,62
		5M	2,09	2,97	5,05	3,43	3,12	2,96	2,91	4,68	3,97	1,62	2,97	5,05	4,91	5,05	1,62
		6M	2,82	3,23	3,33	2,11	1,41	1,13	1,10	1,63	1,66	1,56	1,38	2,04	2,51	3,33	1,10
		MEDIA	2,40	3,50	4,40	3,80	3,16	3,17	3,31	4,51	4,38	2,77	3,26	4,03	4,08	5,12	2,35
		DS	0,42	1,01	0,92	1,03	1,07	1,23	1,31	1,55	1,56	1,47	1,25	1,27	1,11	1,56	0,42

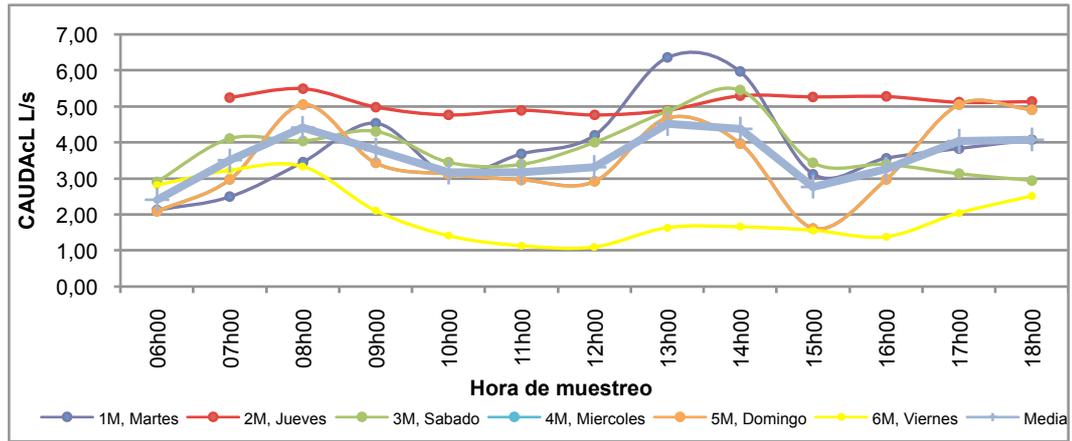


Fig. 2-2 Caudales obtenidos de la tabla 2.3

## 2.6. Temperatura

La temperatura ha de medirse con un termómetro de precisión graduado en décimas de grado. De los datos recopilados se obtuvo una temperatura media de 31.18 °C con una desviación estándar de 1.44.



Fig. 2-3 Obtención de muestras y toma de temperatura in-situ

Tabla 2-4 Resumen de temperaturas obtenidas

PARÁMETRO	UNIDAD	MUESTREO	HORA DEL MUESTREO												CONCEN. CRÍTICA		
			06h00	07h00	08h00	09h00	10h00	11h00	12h00	13h00	14h00	15h00	16h00	17h00	18h00	MÁX	MÍN
TEMPERATURA	°C	1M	31,70	31,40	32,00	32,40	32,40	32,10	32,30	32,60	32,60	32,30	32,10	32,10	31,90	32,60	31,40
		2M		29,90	30,10	30,10	30,30	30,50	31,10	31,00	31,30	31,60	31,40	30,90	30,90	31,60	29,90
		3M	30,10	30,20	30,30	30,50	30,50	30,80	31,10	31,10	31,50	31,50	31,30	30,70	30,70	31,50	30,10
		4M	28,30	28,70	28,90	29,30	28,70	29,30	29,40	29,60	30,30	30,10	30,00	29,20	29,00	30,30	28,30
		5M	28,30	28,70	28,90	29,30	28,70	29,30	29,40	29,60	30,30	30,10	30,00	29,20	29,00	30,30	28,30
		6M	30,10	29,60	29,10	29,70	30,00	30,30	30,50	30,90	31,10	31,10	30,90	30,60	30,20	31,10	29,10
		MEDIA	29,70	29,75	29,88	30,22	30,10	30,38	30,63	30,80	31,18	31,12	30,95	30,45	30,28	31,18	29,70
		DS	1,44	1,02	1,20	1,17	1,37	1,05	1,12	1,12	0,86	0,88	0,83	1,11	1,14	1,44	0,83

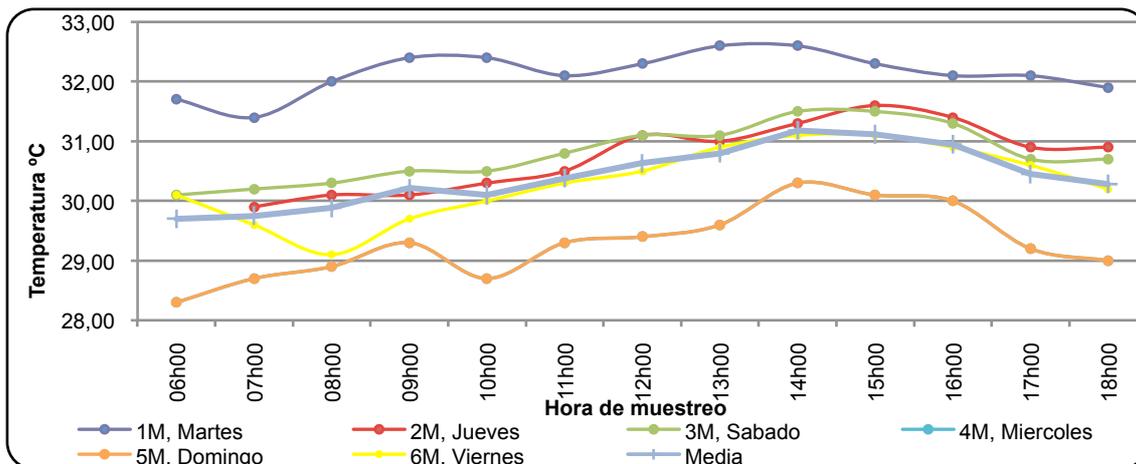


Fig. 2-4 Temperaturas obtenidas de la tabla 2.4

## 2.7. Análisis y discusión de RESULTADOS

En esta sección se analizará los resultados obtenidos de cada uno de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos los cuales nos permiten caracterizar las aguas de cada uno de los muestreos, los valores máximos, mínimos, etc., así como los análisis estadísticos y su comparación con los límites permisibles de descarga a un cuerpo de agua dulce.

### 2.7.1. Análisis físico-químicos (Anexo 2.2)

Tabla 2-5 Métodos y equipos utilizados en los análisis físicos y químicos.

PARÁMETROS FÍSICO- QUÍMICOS				
PARÁMETRO	UNIDAD	MÉTODO	EQUIPO UTILIZADO	LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE *
pH	Adimensional	Electroquímico	pH-metro	-
Sólidos disueltos	mg/l	Gravimétrico	Condutimetro	-
Sólidos totales	mg/l	Gravimétrico	Balanza, bureta, etc.	1600
Sólidos en suspensión	mg/l	Gravimétrico	Balanza, bureta, etc.	100
Nitrógeno orgánico	mg/l	Volumétrico	Balanza, bureta, etc.	-
Nitrógeno amoniacal	mg/l	Espectrofotométrico	Espectrofotómetro	-
Nitrógeno de nitrito	mg/l	Espectrofotométrico	Espectrofotómetro (DR-2800-DIB)	-
Nitrógeno de nitrato	mg/l	Espectrofotométrico	Espectrofotómetro (DR-2800-DIB)	-
Cloruro	mg/l	Precipitación (volumétrico)	Balanza, bureta, etc.	-



Fósforo orgánico	mg/l	Espectrofotométrico	Espectrofotómetro visible	-
Fósforo inorgánico	mg/l	Espectrofotométrico	Espectrofotómetro visible	-
Alcalinidad	mg/l	Neutralización (volumétrico)	Balanza, bureta, etc.	-
Grasas	mg/l	Gravimétrico	Balanza, bureta, etc.	0,3
Carbono orgánico	mg/l	Volumétrico	Balanza, bureta, etc.	-
DBO	mg/l	Espectrofotométrico	Espec-Nova-400	100
DQO	mg/l	Espectrofotométrico	Espec-Nova-400	250
Boro	mg/l	Colorimétrico Espectrofotométrico	Espectrofotómetro visible	-

**\* NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL: RECURSO AGUA**

Con los resultados obtenidos en los análisis físicos y químicos de las aguas residuales podemos concluir que:

Los valores de pH obtenidos del conjunto de muestras recopiladas han demostrado que el agua residual de la ciudad son relativamente ácidos y básicos, con un intervalo entre 7.46 como máximo y 6.92 como mínimo, y dentro del rango óptimo de crecimiento para los microorganismos presentes en un tratamiento biológico de eliminación de nutrientes y materia orgánica (6.5 a 8.5).

La figura siguiente muestra la distribución de frecuencias de los valores del pH con una media relativamente básica de 7.31 y una desviación estándar de 0.10.

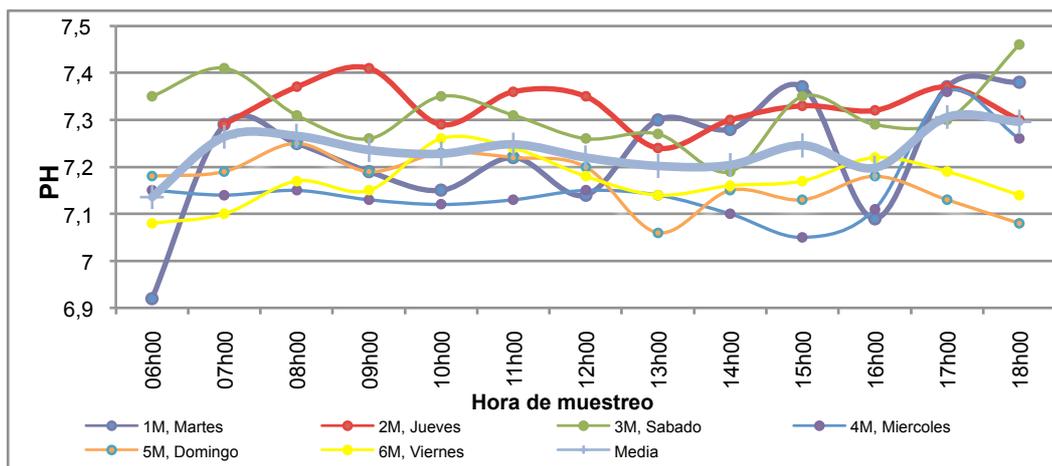


Fig. 2-5 Ph en ARU

La concentración media de sólidos disueltos es de 472.83 mg/L, con un intervalo de variación entre (757 y 225) mg/L y una desviación estándar de 176.95. Por otro lado los valores obtenidos de los sólidos totales que corresponden a los sedimentables y en suspensión oscilan entre (518 y 1220) mg/L con un valor medio de 961.33 mg/L por lo



que está dentro del intervalo permisible de descarga a un cuerpo dulce que corresponde a 1600 mg/L. La desviación estándar es de 202.72.

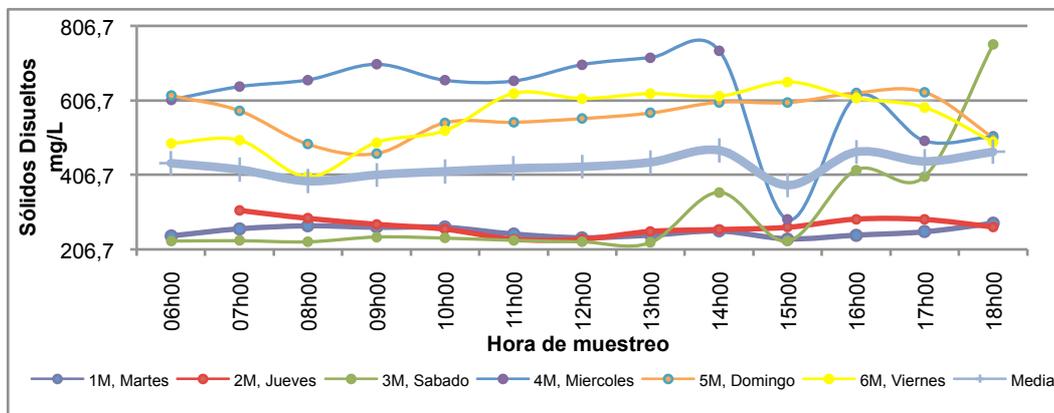


Fig. 2-6 Sólidos disueltos en ARU

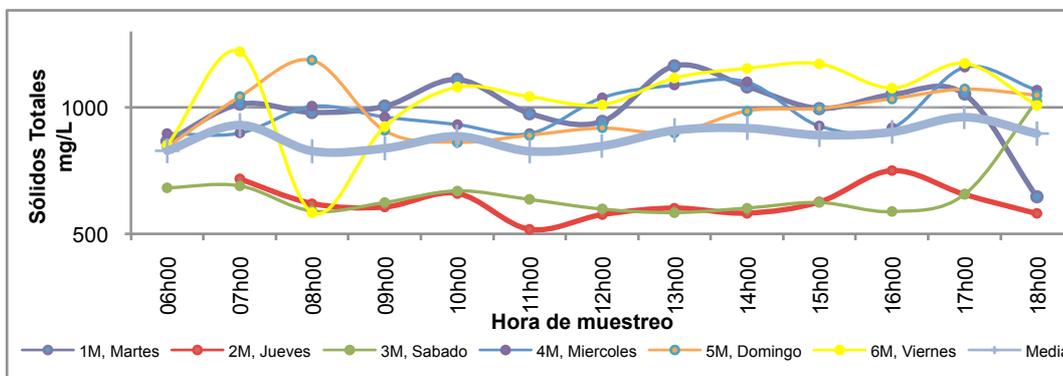


Fig. 2-7 Sólidos totales en ARU

Con respecto al nitrógeno orgánico este varió entre (1.85 y 46.35) mg/L, la figura 2.8 muestra la representación gráfica de los valores obtenidos con una media de 24.53 mg/L. y una desviación estándar de 11.12. El nitrógeno amoniacal se encuentra entre (0.28 y 90.50) mg/L con una desviación estándar de 31.69. La media de este parámetro es de 44.32 mg/L, por lo que se puede concluir que es superior al nitrógeno orgánico puesto que es la forma más predominante de nitrógeno en las aguas residuales ya que este se origina en la oxidación, muerte y descomposición bacteriana, en la hidrólisis de la urea y en los fertilizantes para plantas. (Metcalf y Eddy, 1995).

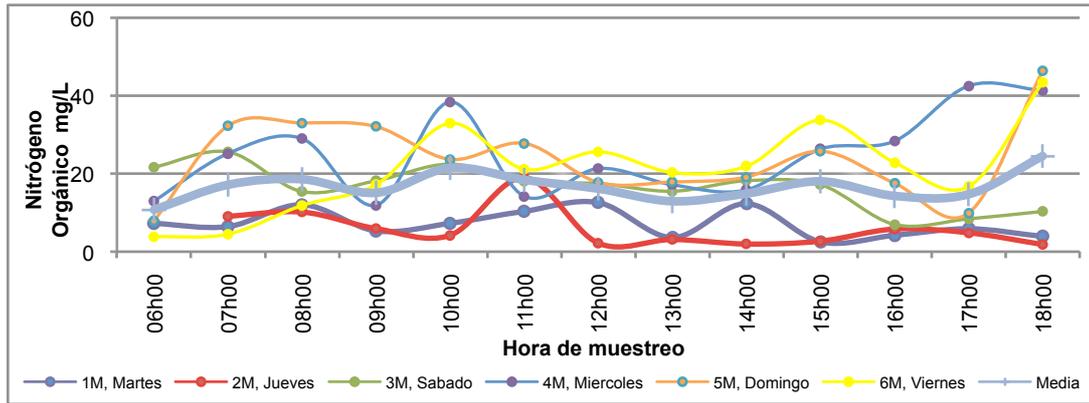


Fig. 2-8 Nitrógeno orgánico en ARU

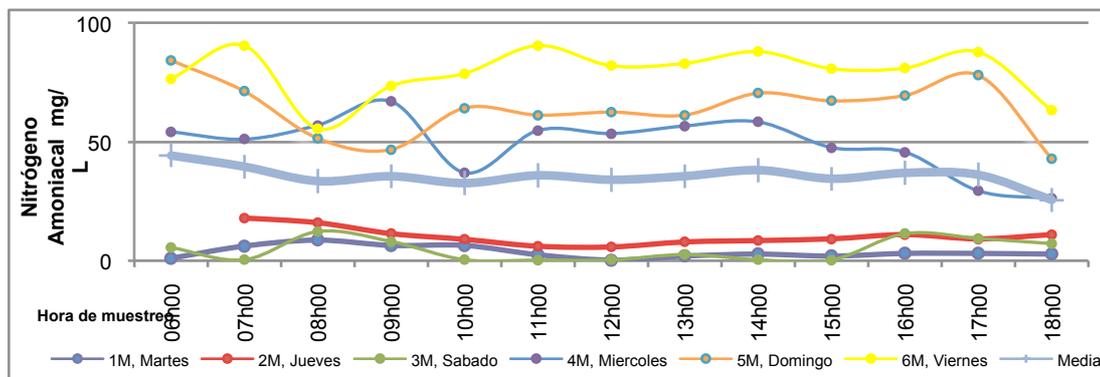


Fig. 2-9 Nitrógeno amoniacal en ARU

La presencia de nitritos en el agua es un indicador de contaminación de carácter fecal reciente, el valor medio de las muestras recopiladas es de 0.18 mg/L, es de consideración mencionar que en el muestreo del martes 27 de enero los valores obtenidos tienden a alejarse de los otros muestreos, de ahí que los valores máximos y mínimos están entre (0.01 y 0.96) mg/L.

La figura 2.11 indica las concentraciones de nitrógeno de nitrato que oscilaron entre (0.5 y 8) mg/L con un valor medio de 4.13 mg/L. Además la desviación estándar del nitrógeno de nitrito es de 0.19 y de 2.18 la del nitrógeno de nitrato lo que revela la dispersión de los valores obtenidos.

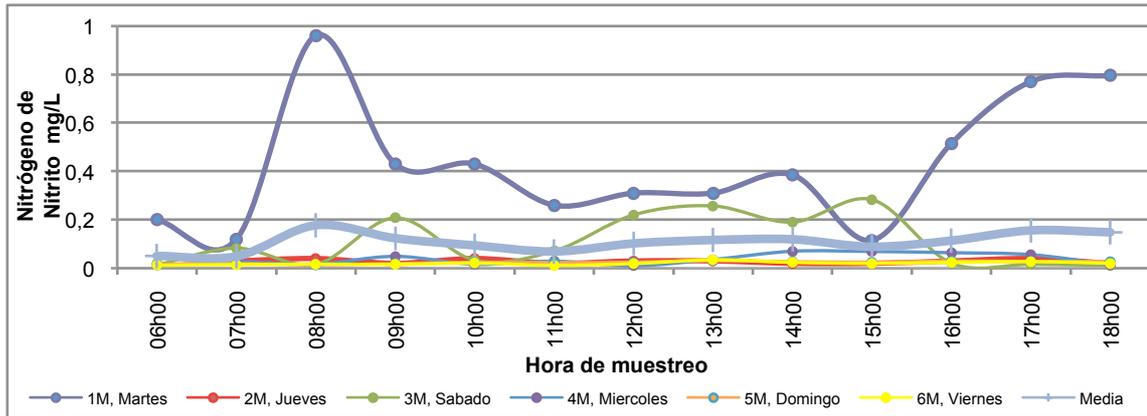


Fig. 2-10 Nitrogeno de nitrito en ARU

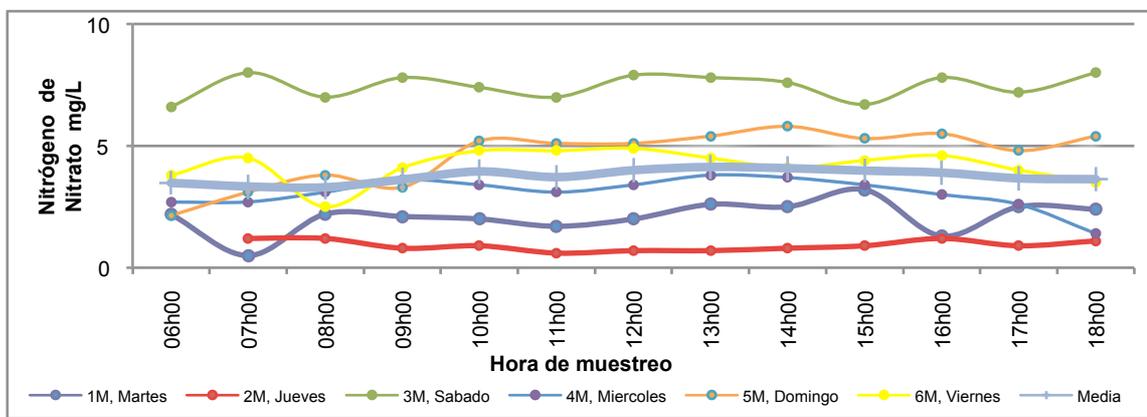


Fig. 2-11 Nitrogeno de nitrato en ARU

Acercas del cloruro en el agua muestreada se obtuvo una concentración media de 30.54 mg/L con una desviación estándar de 15.27. Comparando estos resultados con los límites permisibles de descarga a un cuerpo dulce se puede afirmar que no existe problema alguno con este parámetro ya que los valores máximos y mínimos están entre (50 y 4) mg/L respectivamente. (TULA, 2002).

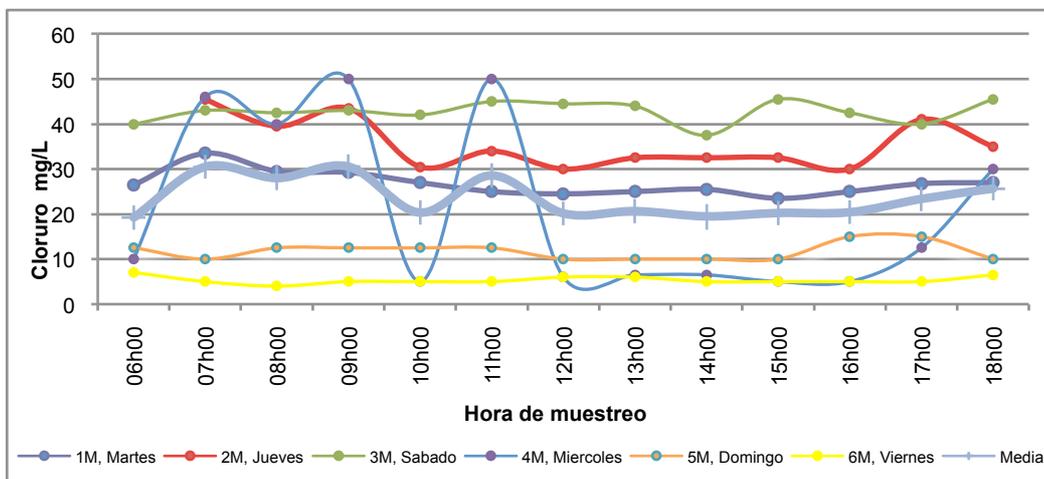


Fig. 2-12 Cloruro en ARU



Para analizar el fósforo total del agua residual se debe por un lado analizar las concentraciones del fósforo en su forma orgánica e inorgánica.

En relación al fósforo orgánico este parámetro se encuentra entre (0.02 y 1.65) mg/L. Este se deriva fundamentalmente de la descomposición de la materia orgánica abundante en las aguas residuales domesticas. Su desviación estándar es de 0.39.

Los valores del fósforo inorgánico se encuentran entre (0.23 y 11.70) mg/L con una desviación estándar de 3.82. En conclusión se puede decir que el fósforo total (orgánico + inorgánico) están dentro de los parámetros de un agua residual típicamente urbana (4 a 15) mg/L.

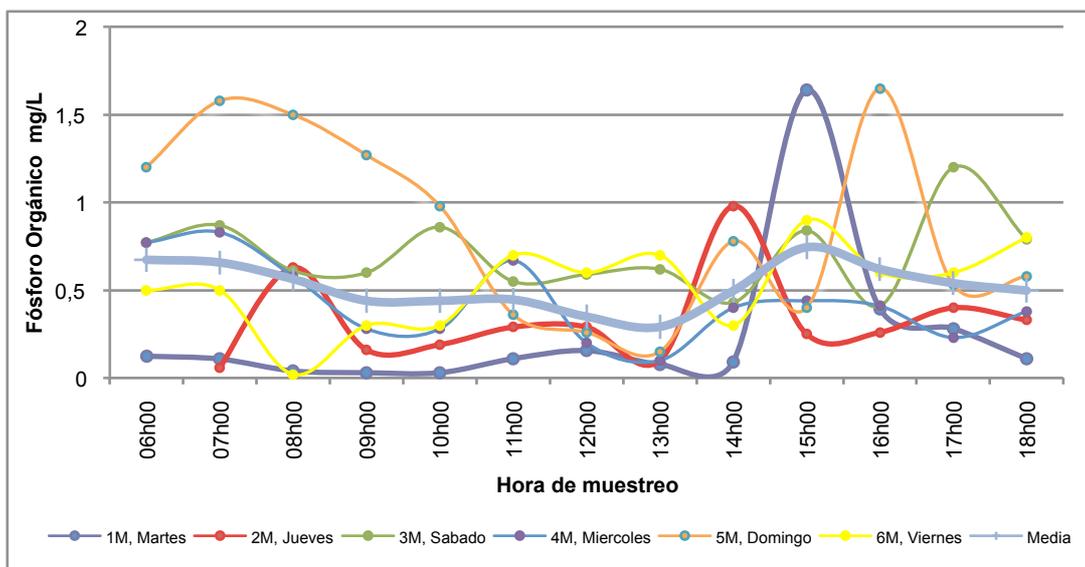


Fig. 2-13 Fósforo orgánico en ARU

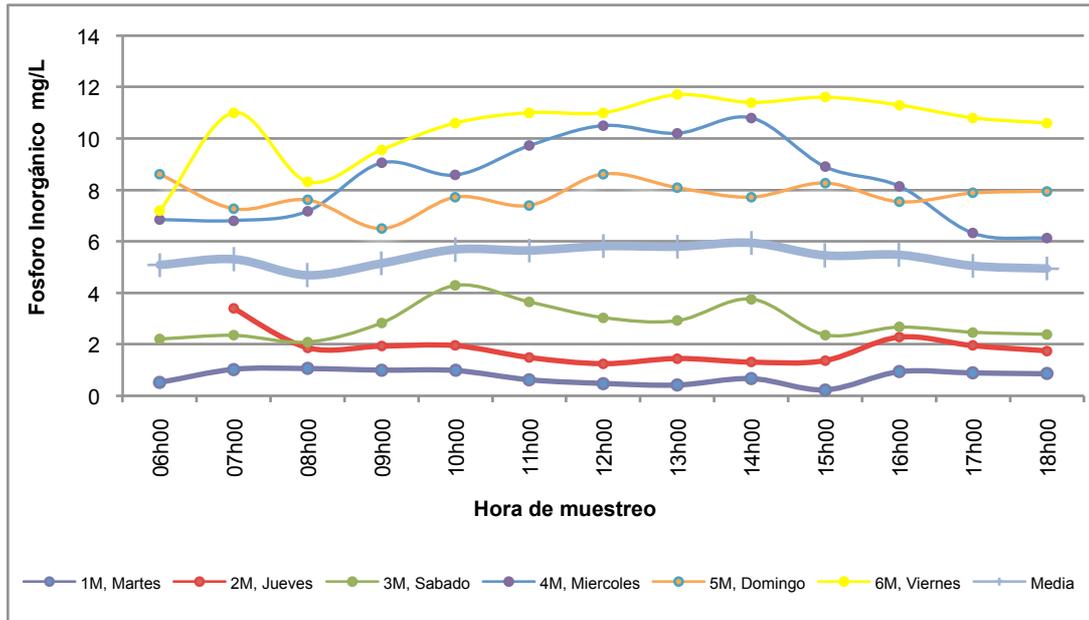


Fig. 2-14 Fósforo inorgánico en ARU

Observando la figura 2.15 de alcalinidad se puede destacar que los valores oscilan entre (192 y 682) mg/L con un valor medio de 489.16 mg/L y con una desviación estándar de 163.49, resaltando que los valores más altos se obtuvieron en el cuarto muestreo y los más bajos en el primero.

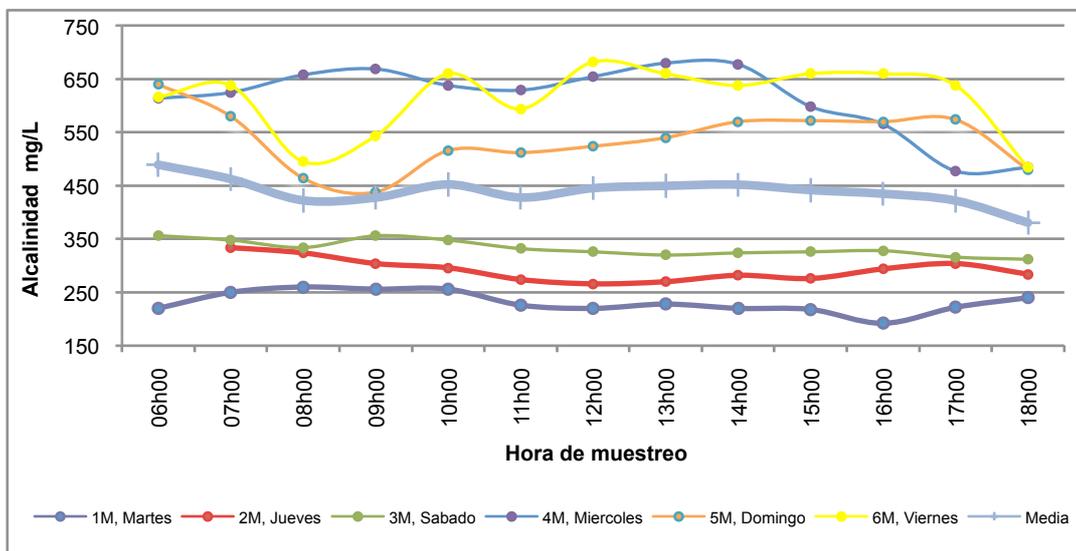


Fig. 2-15 Alcalinidad en ARU

Los valores de grasas están fuera del intervalo permisible de descarga a un cuerpo dulce ya que los resultados oscilan entre (6 y 168) mg/L con un valor medio de



71.67 mg/L y una desviación estándar de 32.74 y lo permitido por la norma es 0.3 mg/L. Por lo tanto se debería realizar un pre tratamiento para controlar este parámetro.

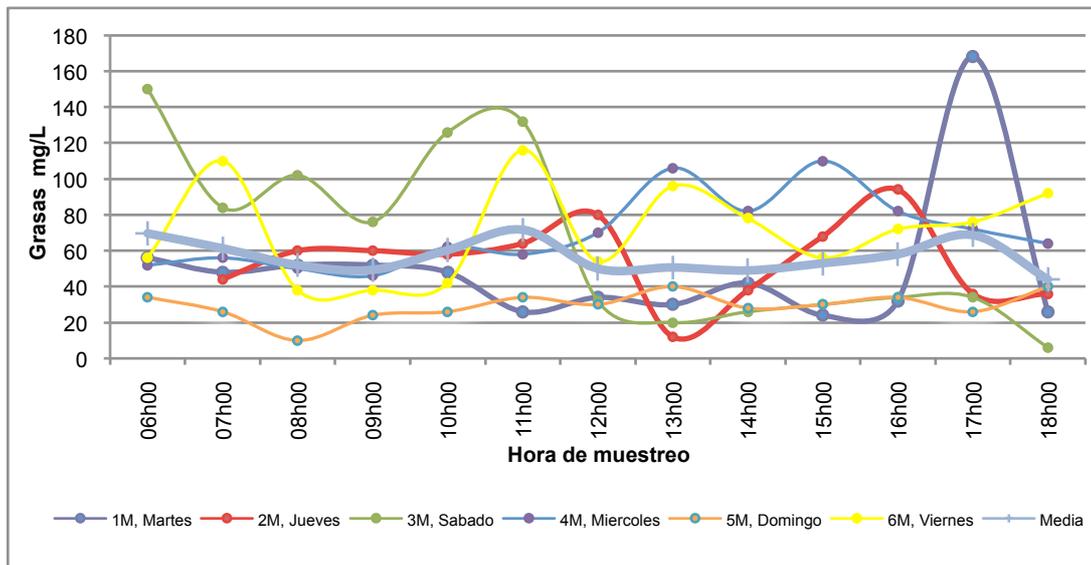


Fig. 2-16 Grasas en ARU

Observando la figura 2.17 se puede apreciar que existe una elevación de COT en las muestras del sexto muestreo y por el contrario una disminución de éste en el primero y segundo. Relacionando los resultados se obtuvo un valor medio de 181.22 mg/L. por lo que se debe a una concentración media (160 mg/L) a la concentración típica de un agua residual típica urbana. (Metcalf y Eddy, 1995).

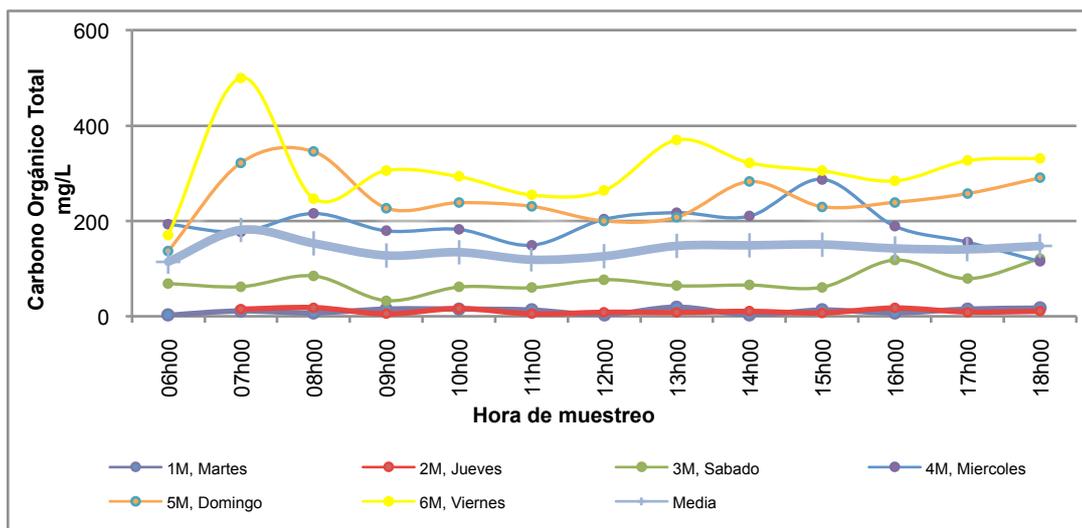


Fig. 2-17 Carbono orgánico total (COT) en ARU

La concentración de  $DBO_5$  en las muestras analizadas se encuentran entre (15.10 y 633.00) mg/L con una desviación estándar de 154.67. Comparando estos valores se



puede afirmar que las concentraciones están fuera del intervalo permisible de descarga a un cuerpo dulce (TULA, 2002). En la práctica este parámetro permite apreciar la carga de agua en materias putrefactas y su poder auto depurador.

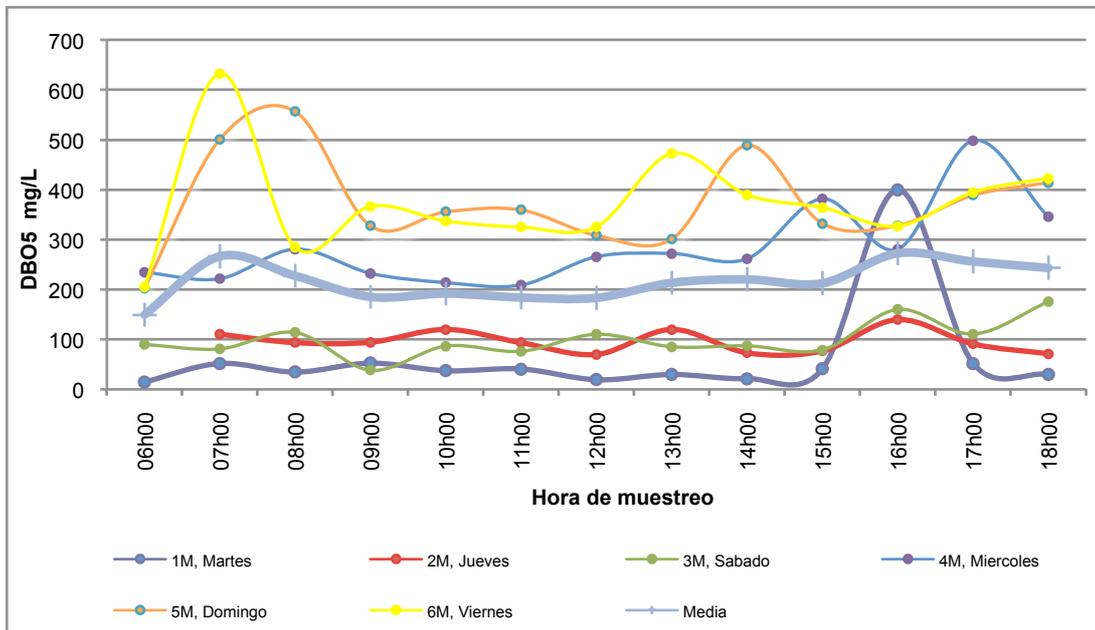


Fig. 2-18 DBO en ARU

En relación al DQO existente en las muestras de agua residual analizadas se puede decir que la concentración de éste se encuentra fuera del intervalo permisible de descarga a un cuerpo dulce (TULA, 2002), ya que los valores se encuentra entre (38 y 1266) mg/L y lo permitido es 250 mg/L. La media de este parámetro es de 585.67 mg/L.

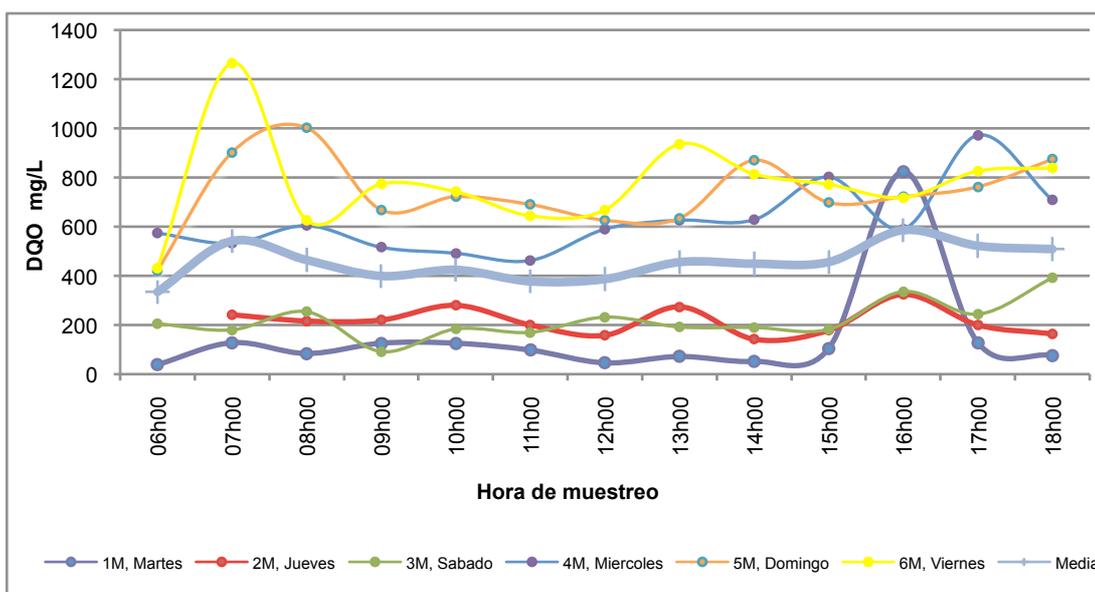


Fig. 2-19 DQO en ARU



Los valores de boro oscilan entre (0.04 y 1.95) mg/L por lo que está dentro del intervalo permisible de descarga a un cuerpo dulce (TULA, 2002) con un valor medio de 1.00 mg/L y una desviación estándar de 0.67.

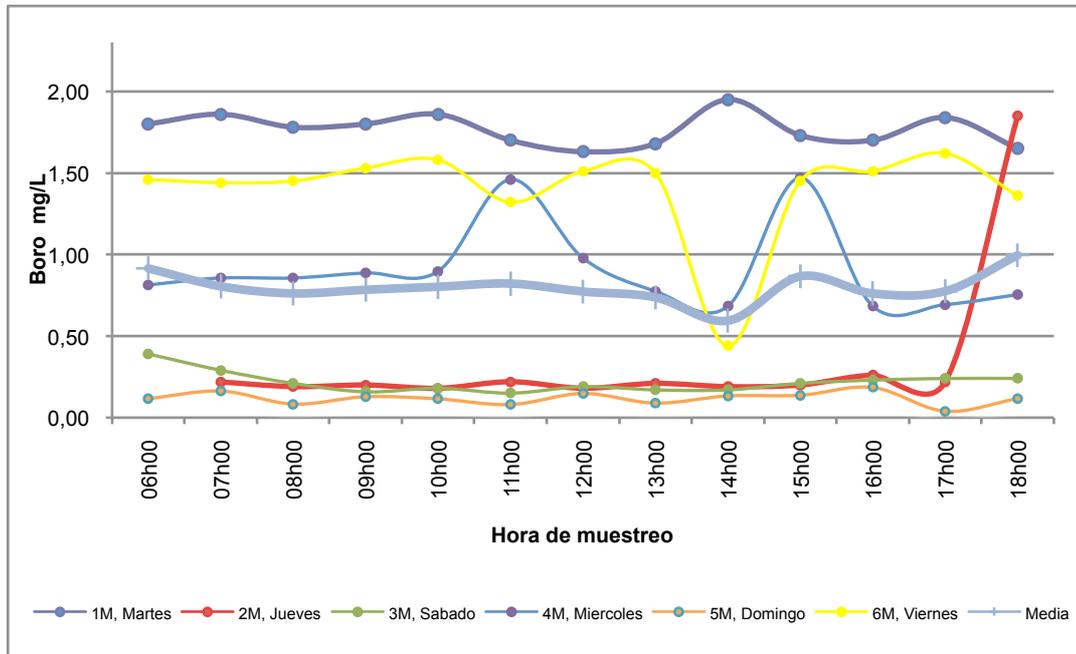


Fig. 2-20 Boro en ARU

### 2.7.2. Parámetros bacteriológicos

Tabla 2-6 Métodos y equipos utilizados en los análisis bacteriológicos.

PARÁMETROS BACTERIOLÓGICOS			
PARÁMETRO	UNIDAD	MÉTODO	EQUIPO UTILIZADO
E. coli	ufc/100 ml	Standard Methods	---
Coliformes fecales	ufc/100 ml	Standard Methods	---
Coliformes totales	ufc/100 ml	Standard Methods	---

**Coliformes totales.-** Los valores que se obtuvieron durante el análisis de laboratorio oscilan entre (3.00E+07 y 5.60E+08) mg/L con un valor medio de 3.35E+08 mg/L, con una desviación estándar de 2,16E+08.



**E-coli.-** Este parámetro se encuentra entre (5 E+06 y 7.5 E+07) mg/L con una desviación estándar de 2.50E+07. La media de este parámetro es de 4.00E+07 mg/L

**Coliformes fecales.-** Este parámetro se encuentra entre (1.3 E+07 y 1.5 E+08) mg/L con una desviación estándar de 4.29E+07. La media de este parámetro es de 5.05E+07 mg/L

**2.7.3. Metales pesados (Anexo 2.3)**

**Tabla 2-7 Métodos y equipos utilizados en los análisis de metales pesados.**

<b>METALES PESADOS</b>				
<b>PARÁMETRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>MÉTODO</b>	<b>EQUIPO UTILIZADO</b>	<b>LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE *</b>
Cadmio	mg/l	Absorción Atómica	Espectrofotómetro de Absorción Atómica	0.020
Cobre	mg/l	Absorción Atómica	Espectrofotómetro de Absorción Atómica	0.500
Cromo	mg/l	Absorción Atómica	Espectrofotómetro de Absorción Atómica	1.000
Hierro	mg/l	Absorción Atómica	Espectrofotómetro de Absorción Atómica	10.000
Plomo	mg/l	Absorción Atómica	Espectrofotómetro de Absorción Atómica	0.200
Manganeso	mg/l	Absorción Atómica	Espectrofotómetro de Absorción Atómica	2.000
Mercurio	mg/l	Absorción Atómica	Espectrofotómetro de Absorción Atómica	0.005
Níquel	mg/l	Absorción Atómica	Espectrofotómetro de Absorción Atómica	2.000
Zinc	mg/l	Absorción Atómica	Espectrofotómetro de Absorción Atómica	5.000

**\* NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL: RECURSO AGUA**

**Tabla 2-8 Resultados de los parámetros de metales pesados**

<b>PARÁMETROS</b>	<b>n</b>	<b>MEDIA</b>	<b>DES EST</b>	<b>CV</b>	<b>INTERVALO</b>	
					<b>MIN</b>	<b>MAX</b>
Cadmio	13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cromo	13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cobre	13	0.038	0.021	88.443	0.000	0,040
Hierro	13	0.726	0.656	90.332	0.000	1.680
Plomo	13	0.020	0.020	97.217	0.000	0.050
Manganeso	13	0.051	0.037	74.476	0.000	0.090
Mercurio	13	0.020	0.008	44.721	0.000	0.020



## CAPÍTULO II

Níquel	13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Zinc	13	0.060	0.040	101.500	0.000	0.086

Con respecto al análisis de los metales pesados se encontraron algunos de estos en las muestras como son:

- Cadmio
- Cromo
- Níquel

Analizando los metales pesados existentes en el agua residual de la ciudad de Zapotillo con los límites de descarga permisible se puede concluir que todos estos están dentro de rango permitido por la norma. (TULA, 2002).

### 2.7.4. Pesticidas organoclorados totales (Anexo 2.4)

**Tabla 2-9 Métodos y equipos utilizados en los análisis de pesticidas organoclorados**

PESTICIDAS ORGANOCLORADOS			
PARÁMETRO	UNIDAD	MÉTODO	EQUIPO UTILIZADO
Pesticidas organoclorados	mg/L	Cromatología de gases	---

**Tabla 2-10 Resultados de los pesticidas organoclorados**

PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA RESIDUAL					
PARÁMETROS	n	MEDIA	DES EST	INTERVALO	
				MIN	MAX
4-4 DDT	77	0.00021	0.000079	0.00	0.00027
Aldrín	77	0.00517	0.004563	0.00	0.00927
Metoxicloro	77	0.00955	0.011816	0.00	0.01960
Dieldriín	77	0.00042	0.000467	0.00	0.00076
Heptacloro	77	0.00022	0.000250	0.00	0.00043
Endrín	77	0.00123	0.001445	0.00	0.00225
Alfa HCH	77	0.03240	0.000000	0.00	0.03240
Mixer	77	0.00119	0.000000	0.00	0.00119
2-4 DDT	77	0.00000	0.000001	0.00	0.00000
HCH	77	0.00006	0.000000	0.00	0.00006
Delta HCH	77	0.00272	0.000001	0.00	0.00272
Beta endosulfan	77	0.00000	0.000000	0.00	0.00000



Alfa endosulfan	77	0.00004	0.000000	0.00	0.00004
Beta HCH	77	0.00000	0.000000	0.00	0.00000

Analizando las concentraciones se puede concluir que en las aguas residuales de la ciudad de Zapotillo existen todos los parámetros en bajas concentraciones y la sumatoria de todos estos no sobrepasan el límite máximo permisible (0.05 mg/L).

**2.7.5. Pesticidas organofosforados totales (Anexo 2.5)**

**Tabla 2-11 Métodos y equipos utilizados en los análisis de pesticidas organofosforados**

PESTICIDAS ORGANOFOSFORADOS			
PARÁMETRO	UNIDAD	MÉTODO	EQUIPO UTILIZADO
Pesticidas organofosforados	mg/L	Cromatología de gases	---

**Tabla 2-12 Resultados de los pesticidas organofosforados.**

PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA RESIDUAL					
PARÁMETROS	n	MEDIA	DES EST	INTERVALO	
				MIN	MAX
Clorpirifos metil	77	0.00000	0.002490	0.00	0.00643
Pirazofos	77	0.03810	0.036159	0.00	0.07607
Carbofenotion	77	0.00187	0.001701	0.00	0.00342
Azinfos metil	77	0.01621	0.011435	0.00	0.02454
Azinfos etil	77	0.01553	0.011705	0.00	0.03020
Tetraclorvinfos	77	0.00131	0.001188	0.00	0.00269
Ethion	77	0.00360	0.001478	0.00	0.00385

Concluyendo con el análisis de los pesticidas organofosforados se puede decir que no existe problema con este parámetro ya que las concentraciones no superan el 0.10 mg/L que es el límite permisible de descarga.

**2.8. Biodegradabilidad**

La biodegradabilidad en el agua es la propiedad que tienen algunos materiales complejos de ser degradados por microorganismos para formar productos finales sencillos. Estos productos se dan de manera natural en el medio ambiente y también se producen de forma artificial. Por tanto, la biodegradabilidad es importante para determinar el comportamiento de estos compuestos químicos en el medio.



La biodegradabilidad de un compuesto depende de las condiciones biológicas en las que se degrade. Ésta influye decisivamente en la biodegradabilidad de algunos compuestos orgánicos; así, la naturaleza química de muchos detergentes, plásticos, materiales de embalaje y residuos médicos los hace resistentes a la degradación microbiana.

### 2.8.1. Relación de biodegradabilidad

Esta relación se define como:

$$K = \frac{DQO}{DBO_5} \quad \text{Ecuación 2-2}$$

El agua residual de la ciudad cuenta con una relación de biodegradabilidad de 2.12 que representa la fracción de DQO biodegradable y esta en  $2 < k < 3$  por tanto es un efluente urbano biodegradable si se trata. (Seóñez Mariano, 2005)



# CAPITULO III

## 3. ESTUDIO DE SUELOS



En el siguiente capítulo se detallarán los resultados obtenidos de los análisis tanto en campo como en laboratorio del suelo que a su vez se dividen en:

<b>Físicos:</b>	<b>Químicos:</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Clasificación</li><li>• Velocidad de infiltración</li><li>• Textura</li><li>• Permeabilidad</li><li>• Perfil estratigráfico</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• PH</li><li>• Materia orgánica (M.O.)</li><li>• Nitrógeno total</li><li>• Fósforo</li><li>• Potasio</li><li>• Calcio</li><li>• Magnesio</li><li>• Hierro</li><li>• Manganeso</li><li>• Cobre</li><li>• Zinc</li><li>• Boro</li><li>• Capacidad de intercambio de cationes</li></ul>

En el siguiente capítulo se detallarán los resultados obtenidos de los análisis tanto en campo como en laboratorio del suelo que a su vez se dividen en:

### **3.1. TOMA DE MUESTRAS**

Previo a la ubicación de los puntos de muestreo se realizó la visita técnica con el fin de escoger el terreno adecuado para la implantación del sistema, en donde se especificó realizar 4 calicatas por hectárea.

### **3.2. Ensayos Físicos**

#### **3.2.1. Perfil estratigráfico.- (Anexo 3.1)**

El lugar cuenta con un solo estrato, al limpiar la capa vegetal se observó en el suelo material granular con parte de finos y partículas de arcilla a una profundidad de 3 metros en donde se halló el nivel freático.

**Tabla 3-1 Perfil estratigráfico**



MUESTRA	PROF. (m)	PERFIL	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	GRANULOMETRIA			LL %	IP %	w %	SUCS	ASSHTO
				G	S	F					
1	1.00 2.00 3.00		Grava arcillosa con arena de color café oscuro de consistencia blanda, de una moderada plasticidad				24	12	6	GC	A - 2 - 6
			A esta altura se encontró el nivel freático								

**3.2.2. Permeabilidad:**

**3.2.2.1. Ensayo in situ: velocidad de infiltración (Anexo 3.2)**



**Fig. 3-1 Velocidad de infiltración en una calicata**

La velocidad de infiltración se la determinó por medio de una calicata obteniendo como resultado 58.5 cm/h. A continuación se detalla la tabla de datos y resultados.

**Tabla 3-2 Velocidad de infiltración**

Suelo saturado			
TIRANTE (cm)	T ACUMULADO (min)	T PARCIAL (h)	VELOCIDAD (cm/h)
78	0.00	0.000	0.000
70	9.43	0.157	50.901
60	12.20	0.046	216.606
40	26.08	0.231	86.455
38	30.35	0.071	28.103
23	98.33	1.133	13.239
18	162.10	1.063	4.704
11	206.15	0.734	9.535
		TOTAL	58.506



3.2.2.2. *Ensayo en laboratorio: (Anexo 3.3)*



Fig. 3-2 Ensayo de permeabilidad

El coeficiente de permeabilidad  $k$  es de  $1.03E-3$  cm/s. Obtenida la velocidad de infiltración y el coeficiente de permeabilidad se puede determinar que el suelo es moderadamente permeable según U.S EPA (1981).

Tabla 3-3 Ensayo de permeabilidad

Ensayo de Permeabilidad							
#	Altura		t (s)	Temperatura	Permeabilidad	Viscosidad a T°C	Permeabilidad
	h1 (cm)	h2 (cm)		T (°C)	T (°C) kT (cm/s)	*Viscosidad a 20°C	a 20°C k20 (cm/s)
1	104	89	22	21,6	0,001	0,962	0,0011
2	104	89	25	21,6	0,001	0,962	0,0009
						PROMEDIO	0.0010

3.2.3. *Textura (Anexo 3.4)*

En este ensayo se determinó que el suelo es franco – areno – arcilloso (Fo Ao Ac).

Tabla 3-4 Textura del suelo de la zona de estudio

No	N MUESTR A	PESO DE LA MUESTR A (gr)	LECTUR A PRIMER A	LECTUR A SEGUND A	T°	LECTUR A PRIMER A	LECTUR A SEGUND A	% MS	% Ao	% Ac	% Lo	CLASE TEXTURA L
1	A-1	50	9.00	8.00	23.20	10,15	9.15	20.30	79.70	18.30	2.00	Franco areno arenoso



2	A-2	50	14.00	9.00	23.1 5	15.13	10,13	30.2 7	69.7 3	20.2 7	10.0 0	Franco areno arcilloso
---	-----	----	-------	------	-----------	-------	-------	-----------	-----------	-----------	-----------	------------------------------

**3.2.4. Clasificación del suelo (Anexo 3.5)**

**3.2.4.1. Granulometría**



**Fig. 3-3 Ensayo de granulometría**

En el ensayo de granulometría se obtuvo el 12.67% pasante del tamiz # 200.

**Tabla 3-5 Granulometría del suelo**

TAMÍZ No.	PESO Retenido Parcial	PESO Retenido Acumulado	% RETENIDO	% PASA
<b>GRANULOMETRÍA</b>		<b>SERIE GRUESA</b>		
3"	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	0.00	0.00	0.00	100.00
1 ½"	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	209.85	209.85	7.68	92.32
¾"	106.60	316.45	11.59	88.41
½"	357.71	674.16	24.69	75.31
⅜"	248.15	922.31	33.77	66.23
No. 4	529.52	1451.83	53.16	46.84
Pasa No. 4	934.05			
		<b>SERIE FINA</b>		
No. 4	0.00	1451.83	53.16	46.84
8	0.00	1451.83	53.16	46.84
10	457.70	1909.53	69.92	30.08
16	0.00	1909.53	69.92	30.08
20	212.90	2122.43	77.72	22.28
30	0.00	2122.43	77.72	22.28
40	97.90	2220.33	81.30	18.70
50	0.00	2220.33	81.30	18.70
60	58.70	2279.03	83.45	16.55
100	48.40	2327.43	85.22	14.78



200	50.40	2377.83	87.07	12.93
Pasa No. 200	7.18	2385.01	87.33	12.67
	3319.06	<b>Peso Inicial Húmedo</b>		
		<b>Peso Inicial Seco</b>		<b>2731.00 g</b>

### 3.2.4.2. Contenido de humedad

De los 3 ensayos se obtuvo como resultado un contenido de humedad del suelo del 6.23 %, el cual se lo determinó relacionado el suelo en estado seco y en su estado natural.

Tabla 3-6 Valores obtenidos en el ensayo de contenido de humedad

CÁPSULA No.	Peso Cap. + Suelo Húmedo	Peso Cap. + Suelo Seco	PESO CÁPSULA	W %	W % PROMEDIO
<b>HUMEDAD NATURAL</b>					
1	191.37	184.70	61.71	5.42	6.23
2	185.93	178.89	68.72	6.39	
3	191.82	184.90	70.77	6.06	

### 3.2.4.3. Límite líquido

Para obtener el límite líquido se debe realizar una gráfica en escala logarítmica ubicando el número de golpes versus el contenido de humedad, tomando a los 25 golpes el óptimo contenido de humedad. El resultado obtenido es del 24%.

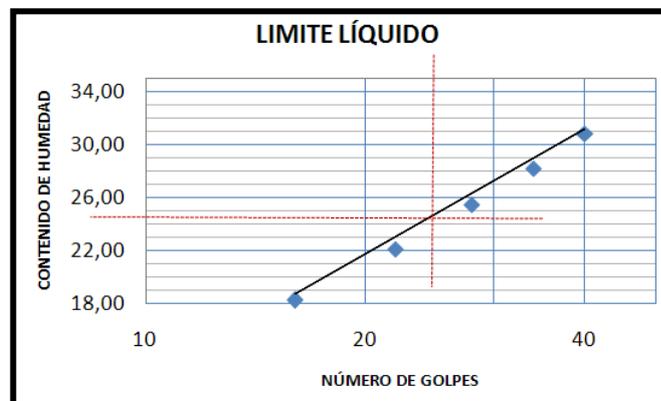


Fig. 3-4 Límite líquido a 25 golpes



#### 3.2.4.4. Límite plástico

El suelo tiene un límite plástico de 12 %, resultado que se lo obtuvo promediando los tres puntos realizados.

Tabla 3-7 Valores obtenidos en el ensayo de límite plástico.

CÁPSULA No.	Peso Cap. + Suelo Húmedo	Peso Cap. + Suelo Seco	PESO CÁPSULA	W %	W % PROMEDIO
MS 37	71.20	71.14	70.69	13.3	12.18
MS 15	64.15	64.08	63.49	11.9	
MS 8	64.27	64.2	63.64	12.5	

#### 3.2.4.5. Índice de plasticidad

El índice de plasticidad obtenido es del 12%, es cual se lo consiguió restando el límite plástico al límite líquido.

De acuerdo a los ensayos realizados, el suelo en el punto de muestreo según SUCS es GC lo que indica que es grava areno arcillosa y según AASHTO A-2-6.

#### 3.2.5. Resumen de resultados

Tabla 3-8 Ensayos físicos realizados

VARIABLE	UNIDAD	VALOR	INTERPRETACIÓN
Permeabilidad	cm/s	1.03E-03	Moderadamente alta
Vel. De infiltra	cm/h	58.5	Alta
Profundidad Nf.	m	3	.....
Tipo de suelo	A dimensional		Grava areno arcillosa
Textura			Franco areno-arcilloso

### 3.3. ENSAYOS QUÍMICOS (Anexo 3.6)

Estos ensayos se los realizó en el laboratorio de suelos y aguas de Agrocalidad obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 3-9 Normas de cada parámetro químico.



ENSAYOS QUÍMICOS	
ENSAYO	NORMA
Calcio, magnesio y micro elementos (Fe, Mn, Cu y Zn).	Espectrofotometría de absorción atómica
Fósforo y potasio asimilables	Colorimétrico
Materia orgánica y nitrógeno total	Walkley Black- titulación con sulfato ferroso amoniacal y destrucción de la materia orgánica con ácido sulfúrico y dicromato de potasio.

### 3.3.1. Resumen de resultados

**Tabla 3-10 Resumen de resultados de suelos**

ENSAYOS QUÍMICOS DEL SUELO			
VARIABLE	UNIDAD	1 M	INTERPRETACIÓN
Profundidad	m	0 a 3	
pH	A dimensional	8.02	Alcalino
M.O.	%	0.57	Bajo
N Total	%	0.025	bajo
P	PPM	2.80	Bajo
K	cmol/kg	0.18	Bajo
Ca	cmol/kg	8.40	Alta
Mg	cmol/kg	1.52	Alta
Fe	PPM	22.80	Baja
Mn	PPM	3.15	Baja
Cu	PPM	3.40	Media
Zn	PPM	1.95	Baja
B	PPM	0.23	Baja
C.I.C	Meq/100	19.20	Absorción Alta



# CAPITULO IV

## 4. ANÁLISIS HIDROLÓGICO



En este capítulo se analizará los factores climáticos que tiene la ciudad de Zapotillo, ya que es de suma importancia para la selección del sistema de tratamiento, los datos obtenidos para este análisis fueron proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INHAMI), la base de datos utilizada fue de (10 a 20) años en casi todos los parámetros.

#### 4.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ZONA DE ESTUDIO

La estación meteorológica utilizada fue la de la ciudad de Zapotillo, a continuación se detalla en la tabla 4.1 la información de esta estación

Tabla 4-1. Descripción general de la zona de estudio

ESTACIÓN UTILIZADA					
Estación	Cod	Latitud	Longitud	Cota	Año
Zapotillo	M151	9515544.14449	584729.8482	120	1965-1999

#### 4.2. ELEMENTOS CLIMATOLÓGICOS

##### 4.2.1. Precipitación

La precipitación en la ciudad de Zapotillo se caracteriza por fluctuar entre (0.00 a 266.80)mm mensuales. En la zona de estudio se presentan mayores precipitaciones durante los meses de invierno de diciembre a mayo, dándose la precipitación más alta en el mes de marzo y la menor en el mes de agosto. Se estima una precipitación media anual entre (1.40 a 276.30) mm.

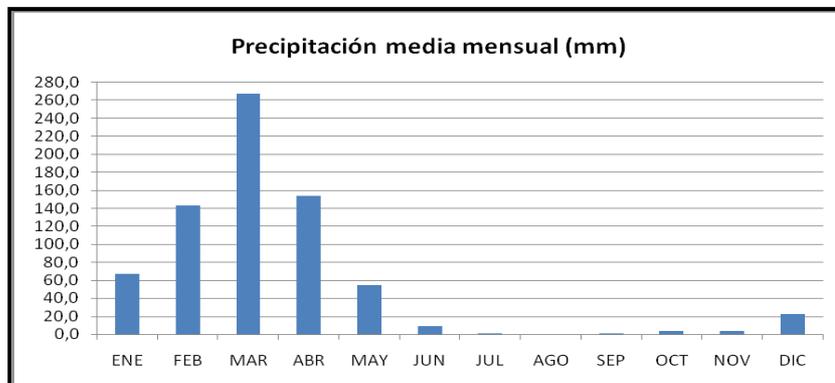


Fig. 4-1 Precipitación media mensual del anexo 4.1



### 4.2.2. Temperatura

Por su ubicación y las características geográficas de la región, el piso climático de la ciudad de Zapotillo corresponde a la zona tórrida tropical o tropical semiárida. La temperatura promedio se ubica entre los (24 y 27) °C. Su Temperatura oscila entre (24.18 y 27.46) °C, dando la más alta en el mes de febrero y la más baja en el mes de julio.

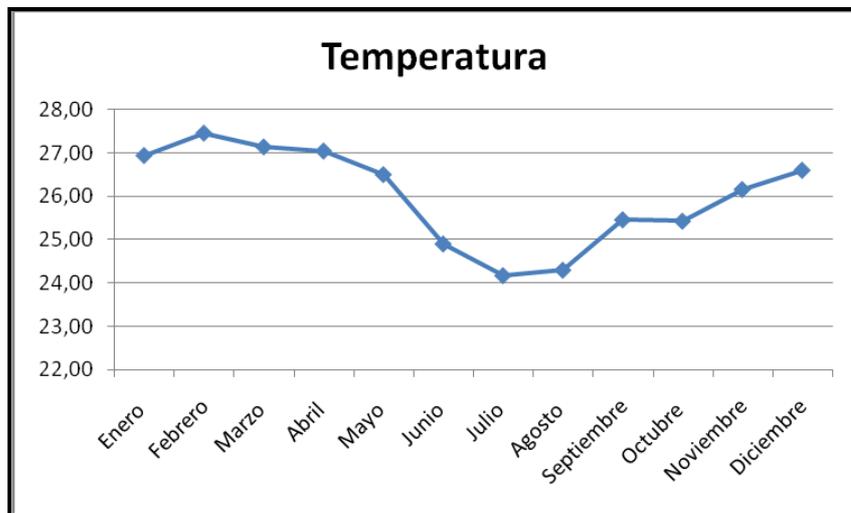


Fig. 4-2 Temperatura media mensual del Anexo 4.2

### Climograma Zapotillo

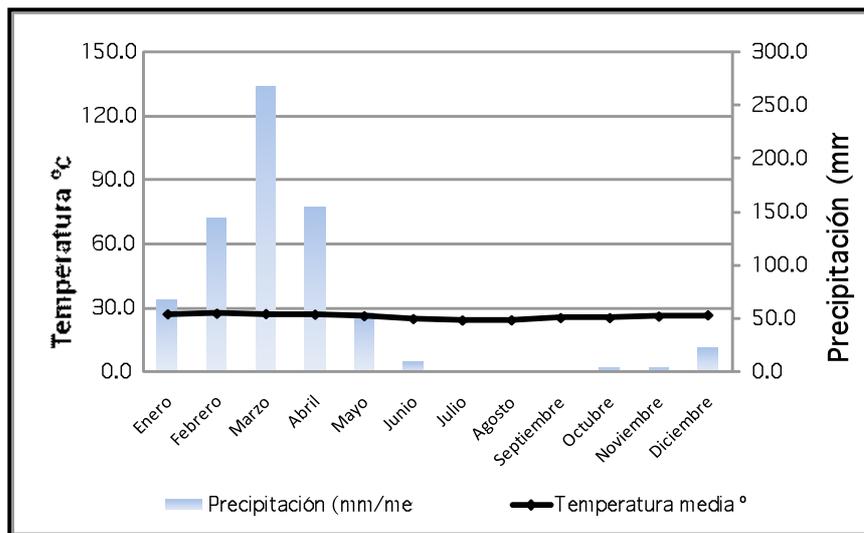


Fig. 4-3 Climograma (temperatura vs precipitación)



El climograma está en función de la temperatura y las precipitaciones medias de cada año, en la ciudad de Zapotillo no existe presencia de lluvia en los meses de julio, agosto y septiembre, en donde las temperaturas varían de (24 a 26) °C.

#### 4.2.3. Vientos

La información existente para este parámetro es muy reducida, sólo se tienen datos de los años 2006, 2007 y 2008 tomados de 07h00 a 19h00 con anemómetro.

La velocidad media mensual del viento está entre 2.20 Km/h la mínima en el mes de abril y la máxima es de 6.30 Km/h en el mes de noviembre, la presencia de vientos más fuertes está entre los meses de agosto a diciembre.

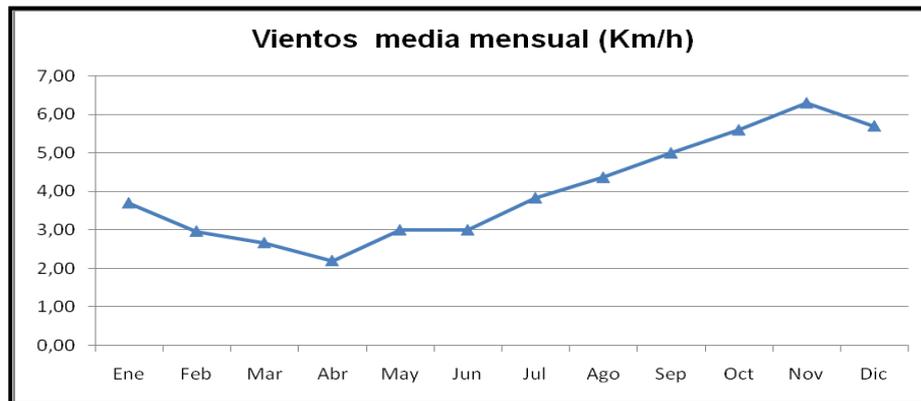


Fig. 4-4 Viento media mensual del Anexo 4.3

#### 4.2.4. Evapotranspiración

La evapotranspiración se la calculó a partir del método de Thornwhite. En este método se determina el uso consuntivo mensual como una función de las temperaturas medias mensuales mediante la ecuación:

$$V_j = 1.6Ka \left( \frac{10T_j}{I} \right)^a$$

Ecuación 4-1

Donde:

**v<sub>j</sub>** - Evapotranspiración

**i<sub>j</sub>** - Uso consuntivo en cada mes (cm)

**t<sub>j</sub>** - Temperatura media en el mes (°C)

**ka** - Constante que depende de la latitud y el mes del año.



a, i - Constantes.

**Tabla 4-2. Valores de Ka, tomados del texto: Fundamentos de hidrología de superficie, Aparicio, pág. 57.**

Latitud Grados	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
0	1.04	0.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.01
10	1.00	0.91	1.03	1.03	1.08	1.06	1.08	1.07	1.02	1.02	0.98	0.99
20	0.95	0.9	1.03	1.05	1.13	1.11	1.14	1.11	1.02	1	0.93	0.91
30	0.9	0.87	1.03	1.08	1.18	1.17	1.2	1.14	1.03	0.98	0.89	0.88
35	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	1.03	0.97	0.86	0.85
40	0.84	0.83	1.03	1.11	1.24	1.25	1.27	1.18	1.04	0.96	0.83	0.81
45	0.8	0.81	1.02	1.13	1.28	1.29	1.31	1.21	1.04	0.94	0.79	0.75
50	0.74	0.78	1.02	1.15	1.33	1.26	1.37	1.25	1.06	0.92	0.76	0.7

**\*Latitud en la ciudad de Zapotillo: 04°15"**

- Cálculo de constantes:

$$I = \sum iJ = 145.83$$

$$a = 675 \times 10^{-9} I^3 - 771 \times 10^{-7} I^2 + 179 \times 10^{-4} I + 0.492$$

$$a = 3.56$$

$$iJ = \left( \frac{Tj}{5} \right)^{1.514}$$

**Resumen de cálculos:**

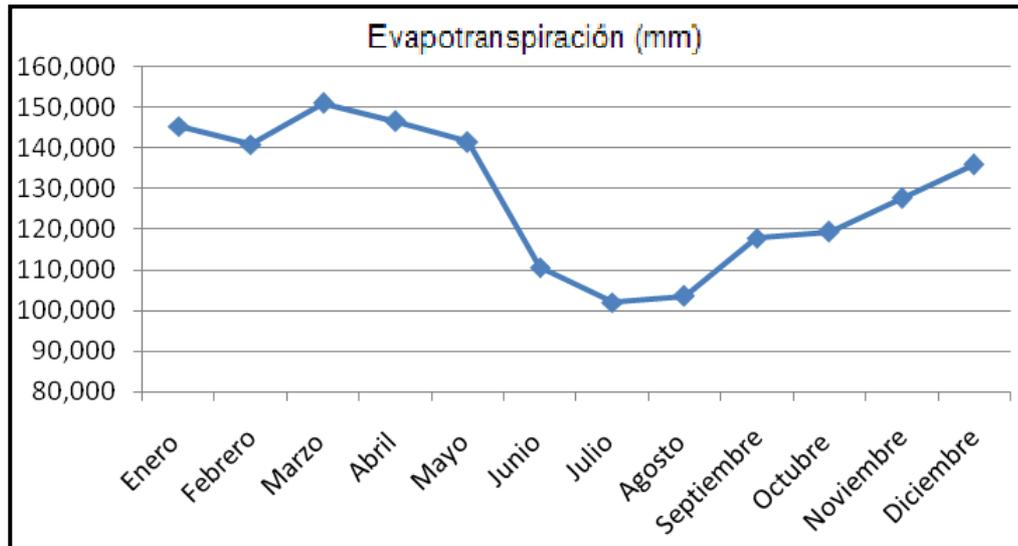
**Tabla 4-3. Cálculo de evapotranspiración por el método de Thornthwaite**

<b>CÁLCULO DE EVAPOTRANSPIRACIÓN POR EL MÉTODO DE THORNTHWAITE:</b>					
MES	TEMPERATURA MEDIA MES (°C)	IJ	KA(Tabla)	EVAPOTRANSPIRACIÓN MENSUAL VJ (cm)	EVAPOTRANSPIRACIÓN MENSUAL VJ (mm)
Enero	26.94	12.807	1.024	14.535	145.356
Febrero	27.46	13.179	0.928	14.086	140.860
Marzo	27.14	12.951	1.036	15.096	150.968
Abril	27.05	12.881	1.018	14.653	146.536
Mayo	26.51	12.493	1.056	14.149	141.495
Junio	24.91	11.373	1.031	11.070	110.706
Julio	24.18	10.873	1.056	10.210	102.100
Agosto	24.31	10.959	1.052	10.360	103.600
Septiembre	25.47	11.759	1.014	11.781	117.817
Octubre	25.43	11.736	1.032	11.931	119.318
Noviembre	26.16	12.250	0.998	12.757	127.578



Diciembre	26.60	12.564	1.002	13.596	135.961
-----------	-------	--------	-------	--------	---------

La evapotranspiración más alta se encuentra en el mes de marzo con un valor de 15.09 cm y la más baja se encuentra en el mes de julio con un valor de 10.21 cm. Los valores de evapotranspiración más altos se encuentran en los meses de diciembre hasta mayo, y los valores más bajos se encuentran en los meses de junio a noviembre.



**Fig. 4-5 Evapotranspiración media mensual (calculada)**

### 4.3. BALANCE HÍDRICO

**Tabla 4-4. Balance hídrico de la ciudad de Zapotillo**

Concepto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
ETP (mm/mes)	145.4	140.9	151.0	146.5	141.5	110.7	102.1	103.6	117.8	119.3	127.6	136.0
Precipitación (mm/mes)	66.9	143.2	266.8	153.7	54.5	8.9	0.8	0.0	1.3	3.8	3.4	22.4
Precipitación - ETP	-78.5	2.3	115.8	7.2	-87.0	-102	-101	-104	-117	-116	-124	-114
Reserva	0.0	2.3	100.0	100.0	13.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Variación de reserva	0.0	2.3	97.7	2.3	10.7	-10.7	-10.7	-10.7	-10.7	-10.7	-10.7	-10.7
ETPR (mm/mes)	66.9	136.9	148.4	139.7	134.4	19.6	11.5	10.7	12.0	14.5	14.1	33.1



Déficit o sequía	83.2	0.0	0.0	0.0	0.0	77.4	98.2	101.5	114.4	117.5	127.4	123.2
Exceso de agua	0.0	0.0	24.6	14.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

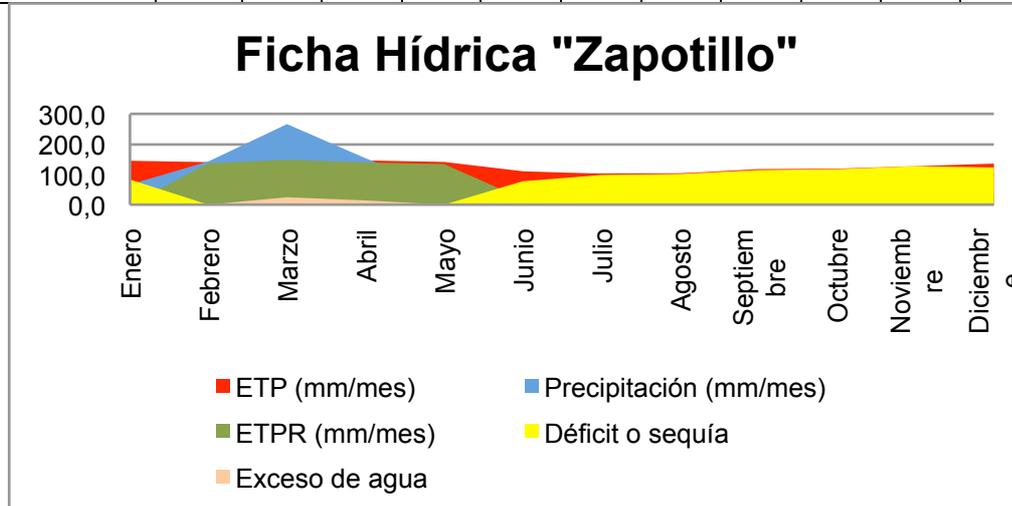


Fig. 4-6 Ficha hídrica

En la ciudad de Zapotillo los meses que hay reserva de agua en el suelo son en marzo y abril, en los meses de enero, junio hasta diciembre se puede decir que hay sequía, siendo la más alta en el mes de noviembre. En los meses de febrero y mayo el suelo no tiene reserva ni déficit, por lo que se considera que el suelo tiene su máxima reserva de agua en el mes de marzo.

A continuación se detallan los cuadros de resumen de todos los parámetros del análisis hidrológico.

**Resumen de precipitación mensual (mm) de la estación Zapotillo (1965 – 1999)**

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Zapotillo	66.90	143.20	266.80	153.70	54.50	8.90	0.80	0.00	1.30	3.80	3.40	22.50	60.50

**Resumen de temperatura media (°C) de la estación de Zapotillo (1965 – 1999)**

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Zapotillo	26,94	27,46	27,14	27,05	26,51	24,91	24,18	24,31	25,47	25,43	26,16	26,60	25,99

**Resumen de evapotranspiración de la estación de Zapotillo calculada (1965 -1999)**

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Zapotillo	145,36	140,86	150,97	146,54	141,50	110,71	102,10	103,60	117,82	119,32	127,58	135,96	127,41

**Resumen de vientos (Km/h) de la estación de Zapotillo (2006-2008)**

**CAPÍTULO****IV**

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Zapotillo	3.70	2.97	2.67	2.20	3.00	3.00	3.83	4.37	5.00	5.60	6.30	5.70	4.03

# CAPITULO V

## 5. SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA



En este capítulo se analizará los sistemas naturales de depuración con aplicación directa en el terreno relacionando las características de los parámetros de aguas, suelos y clima de la ciudad de Zapotillo con los diferentes métodos de aplicación.

Para escoger la tecnología adecuada se utilizó efectos de valoración numérica que van de 1 a 3, debido a que sólo se analizó 3 alternativas de depuración que contemplan las situaciones más favorables y desfavorables del sistema.

Las alternativas de tratamiento son las siguientes:

- Infiltración rápida
- Infiltración lenta
- Flujo superficial

### **5.1. CARACTERÍSTICAS DE LA UBICACIÓN**

#### **5.1.1. Limitaciones climáticas**

La ciudad cuenta con una época de lluvias aproximadamente de diciembre a mayo por lo que en el caso de seleccionar una infiltración lenta o escorrentía superficial se necesitaría disponer de instalaciones de almacenamiento durante estos meses. Sin embargo, el método natural de infiltración rápida no tiene ninguna dificultad por lo que sería más factible su realización.

#### **5.1.2. Profundidad hasta el nivel freático**

La zona donde se ubicará el tratamiento cuenta con una profundidad del nivel freático mayor a 3 metros. Utilizando la tabla 2.2 de la depuración de aguas residuales urbanas de pequeñas poblaciones mediante infiltración directa en el terreno de Luis Moreno Merino no existe ninguna dificultad en la realización de cualquiera de los métodos mencionados. (Moreno Merino, 2003).

#### **5.1.3. Superficie necesaria**

La ciudad cuenta con una extensión suficiente de terreno que pertenece al municipio, la cual no impide la realización de cualquiera de los métodos mencionados.

#### **5.1.4. Pendiente**



EL terreno cuenta con pendientes poco pronunciadas lo que hace que ningún sistema tenga dificultad en la realización; sin embargo en el método de infiltración rápida la pendiente un es un factor a considerar, las pendientes pronunciadas obligan a grandes movimientos de tierras.

**Tabla 5-1 Características de la ubicación**

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>RESULTADOS OBTENIDOS</b>	<b>INFILTRACIÓN RÁPIDA</b>	<b>INFILTRACIÓN LENTA</b>	<b>ESCORRENTIA SUPERFICIAL</b>
<b>Limitaciones climáticas</b>	Invierno: Dic. - Mayo Verano: Jun. - Nov.	Ninguna dificultad	Almacenamiento en invierno	Almacenamiento en invierno
<b>VALORACIÓN</b>		<b>3</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>Profundidad hasta el nivel freático</b>	Mayor a 3 metros	Ninguna dificultad	Ninguna dificultad	Ninguna dificultad
<b>VALORACIÓN</b>		<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>Superficie necesaria</b>	Optima	Ninguna dificultad	Ninguna dificultad	Ninguna dificultad
<b>VALORACIÓN</b>		<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>Pendiente</b>	Bajas	No es un factor crítico	Inferior al 15 %	Del 1 al 8 % ; máx. 15 %
<b>VALORACIÓN</b>		<b>3</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>TOTAL</b>		<b>8</b>	<b>4</b>	<b>4</b>

Por lo tanto de acuerdo a la valoración del análisis de las tres alternativas se puede determinar que la alternativa más idónea para la ciudad de Zapotillo es la infiltración rápida (IR).

## **5.2. CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO**

### **5.2.1. Permeabilidad del suelo**

En los ensayos realizados, el suelo donde se ubicará el método cuenta con una permeabilidad de 0.366 mm/h siendo ésta moderadamente alta (Crites Tchobanoglous, 2000). Para realizar un tratamiento con infiltración lenta el sitio en la que se construirá debe tener una permeabilidad de moderadamente baja a moderadamente alta, para infiltración rápida de moderadamente alta a alta y para escorrentía superficial una permeabilidad baja por lo que se podría utilizar infiltración lenta o rápida.

### **5.2.2. Textura del suelo**



Utilizando el triángulo de textura, en la zona de estudio existe una textura francoarenosa por lo que el método de infiltración rápida es el método más cercano a realizarse.

Para infiltración lenta y escorrentía superficial se necesitaría una textura del suelo de arcillas margosas en los dos métodos. (Ramón Collado Lara, 1992).

### 5.2.3. Clasificación del suelo

Según la clasificación del suelo de la zona este es una grava arcillosa con arena.

**Tabla 5-2 Características del terreno**

CARACTERÍSTICAS	RESULTADOS OBTENIDOS	INFILTRACIÓN RÁPIDA	INFILTRACIÓN LENTA	ESCORRENTIA SUPERFICIAL
Permeabilidad del suelo	Moderadamente alta	Moderadamente alta a alta	Moderadamente baja a moderadamente alta	Permeabilidad baja
VALORACIÓN		3	3	1
Textura del suelo	Franco arenoso	Arenas, areniscas margosas	Arcillas margosas, areniscas margosas	arcillas, arcillas margosas
VALORACIÓN		3	2	1
Clasificación del suelo	GC	GW, GP, SW, SP	GM, SM, ML, OL, MH, PT	GW,GC,SM,SC, CL,OL,CH
VALORACIÓN		3	2	1
	TOTAL	9	7	3

Analizando la tabla 5.2 de valoración de las características de cada sistema se puede establecer que el sistema que más se acerca a las condiciones de la ciudad de Zapotillo es la infiltración rápida.

## 5.3. CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO

### 5.3.1. Pre tratamiento mínimo necesario

En general los tres métodos mencionados requieren un pre tratamiento como es sedimentación primaria o desbaste. Sólo en el caso de escorrentía superficial es necesario realizar el desbaste como pre tratamiento.

**5.3.2. Evacuación del agua residual aplicada**

En el método de infiltración lenta el agua residual se evapora y percola por el suelo, en el método de infiltración rápida principalmente percola, se escurre y se evapora en mínimas cantidades, y en una escorrentía superficial el agua residual aplicada se escurre superficialmente, evapora y percolación en pocas cantidades. (Moreno Merino, 2003).

**5.3.3. Vegetación**

Para los sistemas de infiltración lenta y escorrentía superficial es necesaria la selección de un cultivo, mientras que la infiltración rápida la vegetación es opcional.

**Tabla 5-3 Características de diseño**

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>INFILTRACIÓN RÁPIDA</b>	<b>INFILTRACIÓN LENTA</b>	<b>ESCORRENTIA SUPERFICIAL</b>
<b>Pre tratamiento mínimo necesario</b>	Sedimentación primaria	Tanque sedimentador	Tanque inhoff
<b>VALORACIÓN</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
<b>Evacuación del agua residual aplicada</b>	Percola	Evapora, Percola	Escurre superficialmente, evapora y un poco percola
<b>VALORACIÓN</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
<b>Vegetación</b>	Opcional	Necesaria	Necesaria
<b>VALORACIÓN</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
<b>TOTAL</b>	<b>9</b>	<b>8</b>	<b>8</b>

Analizando las diferentes características de la ciudad de Zapotillo, en cada sistema se obtuvo una mayor valoración en el sistema de infiltración rápida.

**5.4. SIMPLICIDAD DE CONSTRUCCIÓN****5.4.1. Movimiento de tierras**

En el caso de los métodos de infiltración lenta y escorrentía superficial el movimiento de tierras es muy simple debido a la pendiente del terreno, mientras que en el caso de la infiltración rápida resulta un poco más costoso si se trabaja con pendientes muy grandes. (Ramón Collado Lara, 1992).



### 5.4.2. Obra civil

En el caso de los tres métodos antes mencionados la construcción de todas las instalaciones es muy simple y económico. (Ramón Collado Lara, 1992).

### 5.4.3. Equipos

Para los tres métodos de aplicación directa en el terreno los equipos a ocupar son relativamente simples. (Ramón Collado Lara, 1992).

En cualquier sistema de depuración de aguas residuales mediante aplicación directa en el terreno es necesario que sus instalaciones estén lo suficientemente alejadas de núcleo urbano, debido a la producción de ruidos, olores, presencia de insectos y a la posibilidad de riesgos sanitarios, lo que puede ocasionar pequeños problemas a la población cercana.

**Tabla 5-4 Simplicidad de construcción**

CARACTERÍSTICAS	INFILTRACIÓN RÁPIDA	INFILTRACIÓN LENTA	ESCORRENTIA SUPERFICIAL
Movimiento de tierras	Complejo	Simple	Simple
VALORACIÓN	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
Obra civil	Muy simple	Muy simple	Muy simple
VALORACIÓN	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
Equipos	Simple	Simple	Simple
VALORACIÓN	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
<b>TOTAL</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>9</b>

En la valoración de la simplicidad de construcción es más económico el movimiento de tierras en los sistemas de infiltración lenta y escorrentía superficial, pero no es un limitante para no construir un sistema de infiltración rápida.

## 5.5. EXPLOTACIÓN Y MANTENIMIENTO

### 5.5.1. Simplicidad de funcionamiento

En comparación, el método de infiltración lenta es la tecnología que en su funcionamiento es la más simple, seguida de la infiltración rápida y por último un poco más compleja la escorrentía superficial. (Ramón Collado Lara, 1992).

**5.5.2. Necesidad de personal**

Para los tres métodos el personal necesario para la operación y mantenimiento del sistema de tratamiento es muy poco.

**5.5.3. Duración del control**

En el caso del control de los sistemas de depuración del agua residual su duración es muy poco. (Ramón Collado Lara, 1992).

**5.5.4. Frecuencia en el control**

En los sistemas de depuración del agua residual mediante aplicación directa en el terreno el control del agua residual depurada debe ser mensual para llevar un registro del funcionamiento de la planta.

**Tabla 5-5 Explotación y mantenimiento**

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>INFILTRACIÓN RÁPIDA</b>	<b>INFILTRACIÓN LENTA</b>	<b>ESCORRENTIA SUPERFICIAL</b>
<b>Simplicidad de funcionamiento</b>	Simple	Muy simple	Normal
<b>VALORACIÓN</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>
<b>Necesidad de personal</b>	Muy poco	Muy poco	Muy poco
<b>VALORACIÓN</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
<b>Duración del control</b>	Muy poco	Muy poco	Muy poco
<b>VALORACIÓN</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
<b>Frecuencia en el control</b>	Frecuente	Frecuente	Frecuente
<b>VALORACIÓN</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
<b>TOTAL</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>10</b>

El funcionamiento del sistema de infiltración lenta es el más óptimo de acuerdo al análisis de valoración de la tabla anterior, la infiltración rápida también es opcional si se deseara escoger este sistema.

**5.6. RENDIMIENTOS**

Tanto a infiltración lenta como la infiltración rápida son sistemas que alcanzan los rendimientos más altos en depuración, a estos le sigue la escorrentía superficial que no



llega a eliminar más del 30% de fósforo, ni más del 50% de nitrógeno total. (Moreno Merino, 2003). En la eliminación de nutrientes (fósforo y nitrógeno) destacan la infiltración lenta, la infiltración rápida y por último la escorrentía superficial.

Frente a variaciones de temperatura, los sistemas que presentan una mayor estabilidad son los de infiltración rápida. (Moreno Merino, 2003).

En el caso de la producción de fangos en los métodos de infiltración lenta y escorrentía superficial no existe, en infiltración rápida es reducida o casi nada.

### **5.7. IMPACTO AMBIENTAL**

#### **5.7.1. Molestia de olores**

Escorrentía superficial e infiltración lenta tienen una molestia de olores normal en relación al sistema de infiltración rápida. (Ramón Collado Lara, 1992).

#### **5.7.2. Molestia de ruidos**

En estas tecnologías de aplicación directa en el terreno la presencia de ruidos es inexistente. (Ramón Collado Lara, 1992).

#### **5.7.3. Molestia de insectos**

Infiltración rápida y escorrentía superficial son los métodos que tienen una molestia de este tipo normal en comparación con infiltración lenta. (Ramón Collado Lara, 1992).

#### **5.7.4. Integración con el entorno**

Infiltración lenta tiene una integración con el entorno normal a la de infiltración rápida y escorrentía superficial.



Tabla 5-6 Impacto ambiental

CARACTERÍSTICAS	INFILTRACIÓN RÁPIDA	INFILTRACIÓN LENTA	ESCORRENTIA SUPERFICIAL
Molestia de olores	Frecuente	Normal	Normal
VALORACIÓN	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
Molestia de ruidos	Inexistente	Inexistente	Inexistente
VALORACIÓN	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
Molestia de insectos	Normal	Frecuente	Normal
VALORACIÓN	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Integración con el entorno	Normal	Buena	Normal
VALORACIÓN	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>2</b>
TOTAL	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>11</b>

Los sistemas de infiltración lenta y flujo superficial producen menos impacto que el de infiltración rápida, pero no es limitante su aplicación debido a que se puede utilizar medidas de mitigación para utilizar este sistema.

A continuación en la tabla 5.7 se resume la valoración de cada componente para seleccionar el sistema de tratamiento más idóneo para la ciudad de Zapotillo.

Tabla 5-7 Valoración de los métodos

CARACTERÍSTICAS	INFILTRACIÓN RÁPIDA	INFILTRACIÓN LENTA	ESCORRENTIA SUPERFICIAL
Características de la ubicación	8	4	4
Características del terreno	9	7	3
Características de diseño	9	8	8
Simplicidad de construcción	8	9	9
Explotación y mantenimiento	11	12	10
Impacto ambiental	10	11	11
TOTAL	<b>55</b>	<b>51</b>	<b>45</b>

Como resultado del estudio comparativo entre los tres métodos de depuración del agua residual mediante aplicación directa en el terreno puede concluirse que luego de analizar todas las características de diseño, el sistema de infiltración rápida es el método de aplicación en el terreno que alcanza la mayor valoración seguida de infiltración lenta y por último escorrentía superficial, por lo tanto, el sistema a diseñar en la ciudad de Zapotillo es **infiltración rápida**.



## 5.8. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL MÉTODO SELECCIONADO

### 5.8.1. Ventajas

- Rendimientos altos de depuración.
- Reutilización del agua depurada.
- Bajo costo de operación y mantenimiento de las instalaciones.
- No precisa el empleo de aditivos.
- Mantenimiento de personal poco especializado.
- Reducciones medias de DBO5 y sólidos en suspensión alrededor del 90%
- Elevada eliminación de patógenos.
- Eliminación del fósforo y reducción considerable de nitrógeno y metales pesados
- No existen limitaciones climáticas.
- Segura desde un punto de vista ambiental siempre y cuando se cumplan con las restricciones propias del método.
- Las pendientes no es un factor crítico, sin embargo pendientes muy grandes obligan a gran movimiento de tierras
- Reducida producción de fangos
- Estabilidad frente a variación de temperatura.
- Opcional el tipo de distribución.
- Agua tratada apta para riego.
- Aceptación por parte de la sociedad del reciclaje completo del agua residual.

### 5.8.2. Desventajas

- Colmatación rápida del lecho filtrante.
- Mantenimiento periódico de la superficie de aplicación
- No es un buen sistema para la eliminación de contaminantes procedente de la actividad industrial.
- Disposición del terreno suficiente, formado por materiales de permeabilidad alta.
- No son operativos cuando existen pendientes de más de 20%.



# CAPITULO VI



## 6. DISEÑO DEL SISTEMA DE INFILTRACIÓN RÁPIDA

A continuación se detalla el cálculo, dimensiones, caudales máximos y mínimos del pre tratamiento, así como también el proceso con el cual se obtiene cada uno de los parámetros del tratamiento. El sistema de infiltración rápida de la ciudad de Zapotillo constará de dos partes:

### **Pre tratamiento.**

- Cajón de llegada
- Cribado
- Desarenador
- Desengrasador
- Tanque de distribución de caudales

### **Tratamiento**

- Sistema de Infiltración Rápida

Al final del capítulo se puntualizará los rendimientos esperados, presupuesto referencial de la obra y precio por habitante de construcción. Los precios unitarios de cada ítem se detallarán en el Anexo 5.

**6.1. DATOS DE DISEÑO**

Tabla 6-1. Datos de diseño

DESCRIPCIÓN	UNIDADES	
Población de diseño	Hab.	2683
Período de diseño	años	10
Caudal máximo diario	L/s	8.12
Caudal medio diario	L/s	5.17
Dotación media futura	L/ hab./día	145.00
Coeficiente de retorno		0.80
<b>Características del agua residual urbana</b>		
DBO <sub>5</sub>	mg/L	272.67
SS	mg/L	131.50
DQO	mg/L	585.70
Grasas	mg/L	71.75
pH	Adimensional	7.30
Sólidos disueltos	mg/L	472.87
Sólidos totales	mg/L	961.34
Nitrógeno orgánico	mg/L	24.54
Nitrógeno amoniacal	mg/L	44.56
Nitrógeno de nitrato	mg/L	4.15
Nitrógeno de nitrito	mg/L	0.23
Fósforo orgánico	mg/L	0.75
Cloruro	mg/L	30.56
Fósforo inorgánico	mg/L	5.94
C.O.T.	mg/L	181.28
Temperatura máxima	°C	31.24
<b>Características del suelo</b>		
Permeabilidad	mm/h	0.366
Porosidad	%	60
Densidad total	%	1.58
pH		8.0
Materia orgánica	%	0.55
Nitrógeno total	%	0.03
Fósforo	ppm	2.80
Nivel freático	m	1.70
<b>Clima</b>		
Evapotranspiración	mm/mes	28.1
Precipitación	mm/mes	60.5
Temperatura	°C	22 a 27
Viento	Km/h	4.03



## 6.2. CAUDAL DE DISEÑO

Para obtener el caudal con el que se diseñará la planta de tratamiento se debe considerar los siguientes parámetros:

- Dotación de agua potable: 145 L / hab / día (Dato obtenido en el Municipio de Zapotillo)
- Coeficiente de retorno: 0.80 *Norma INEN Sección 4.3.6*
- Población actual: 2364 hab.
- Población futura de diseño: 3033 obtenida con los métodos geométrico aritmético y exponencial con un índice de crecimiento de 2.6 a diez años.

### 6.2.1 Caudal de aguas residuales domésticas

$$Q_D = \frac{P \times D \times R}{86400} \quad \text{Ecuación 6-1}$$

Donde:

Q<sub>d</sub> - Caudal doméstico

P - Población futura

D - Dotación

R - Coeficiente de retorno

$$Q_D = \frac{3033 \times 145 \times 0.80}{86400}$$
$$Q_D = 4.07 \text{ L/s} \quad \text{Ecuación 6-2}$$

### 6.2.2 Caudal medio diario

$$Q_{md} = Q_D + Q_I + Q_C + Q_{INS} + Q_{INF} \quad \text{Ecuación 6-3}$$

Donde:

Caudal Industrial (Q<sub>I</sub>) = 0 L/s por lo que no existen industrias

Caudal comercial (Q<sub>C</sub>) = 0.40 L/S hab.

Caudal institucional (Q<sub>INS</sub>) = 0.50 L/S hab.

Caudal por infiltraciones (Q<sub>INF</sub>) = 0.20 L/S hab.

$$Q_{md} = 4.07 + 0 + 0.4 + 0.5 + 0.2$$
$$Q_{md} = 5.17 \text{ L/s}$$



### 6.2.3 Caudal máximo horario

Determinamos un factor de mayoración de acuerdo a la población futura según Flores:

$$F = \frac{3.5}{P^{0.1}} = \frac{3.5}{3033^{0.1}} = 1.57$$

**Ecuación 6-4**

$$\begin{aligned} QMH &= F \times Qmd \\ QMH &= 1.57 \times 5.17 \text{ L/s} \\ QMH &= 8.12 \text{ L/s} \end{aligned}$$

**Ecuación 6-5**

### 6.2.4 Comparación de caudales

**Tabla 6-2.** Comparación de caudales

	Caudales de aforo (L/s)	Caudales calculados (L/s)
Máximo	6.35	8.12
Medio	5.12	5.17

## 6.3. DISEÑO DEL PRETRATAMIENTO

### 6.3.1. Cajón de entrada

Es necesario realizar un cajón de entrada para romper la presión de llegada, uniformizar velocidades, como unidad de rebose (vertedero) e inspecciones.

Datos utilizados:

Caudal de Diseño  $Q = 0.0081 \text{ m}^3/\text{s}$

Pendiente del cajón de entrada  $s = 0.5\%$  (asumida) manual de depuración uralita.

Coefficiente de rugosidad  $n = 0.013$  (hormigón)

Para el dimensionamiento del cajón de llegada las fórmulas usadas son:



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

Ecuación 6-6

$$\frac{d}{b} = 1.66 \times K^{0.74232}$$

Ecuación 6-7

La velocidad debe mantenerse entre los siguientes límites (0.70 a 2.00) m/s. Según Sviatoslav Krochin y según el manual de depuración uralita, recomienda las siguientes velocidades:

- $V > 0.6$  m/s (Qmed)
- $V < 3.0$  m/s (Qmáx)

El ancho del cajón según el manual de depuración uralita debe ser:

$$0.3 \leq [b \text{ (m)}] \leq 0.7$$

$$b = 0.70 \text{ m (impuesto)}$$

Tenemos:

$$K = \frac{0.0081 \times 0.013}{0.7^{8/3} \times 0.05^{1/2}}$$

$$K = 0.0012$$

Luego:

$$\frac{d}{b} = 1.66 \times (0.0012)^{0.742}$$

Como  $b = 0.7$  m, entonces:

$$d = 0.7 \times 0.0113$$

$$d = 0.79 \text{ m}$$

Luego, si comprobamos la velocidad, tenemos:

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

Ecuación 6-8

Donde:

$$R = 0.0077$$

$$V = \frac{1}{0.013} \times (0.0077)^{2/3} \times (0.05)^{1/2}$$

$$V = 0.60 \frac{m}{s} \quad 93$$



$$S = 0.5\%$$

Utilizando el caudal medio: 0.0052 m<sup>3</sup>/s

Entonces:

$$K = \frac{0.0052 \times 0.013}{0.7^{8/3} \times 0.05^{1/2}}$$
$$K = 0.0008$$

$$\frac{d}{b} = 1.66 \times (0.0008)^{0.742}$$
$$\frac{d}{b} = 0.0084$$

Como  $b = 0.7$  m, entonces

$$d = 0.70 \times 0.0084$$

$$d = 0.59 \text{ cm}$$

Se recomienda tomar una altura de seguridad  $\geq 0.40$  m.

$$h = 0.40 \text{ m}$$

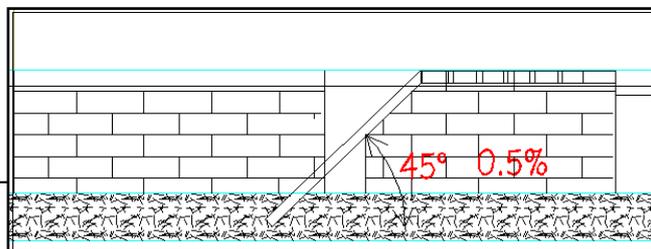
$$L = 0.90 \text{ m}$$

El resumen de los datos del canal de entrada al pre tratamiento es:

- Ancho del canal = 0.70 m
- Calado del canal a caudal máximo = 0.79 cm
- Calado del canal a caudal medio = 0.59 cm
- Altura del canal = 0.40 m
- Longitud del canal = 0.90 m
- Altura del canal = 1.19 m

### 6.3.2. Rejas

Con el fin de proteger las operaciones posteriores de pre tratamiento, se propone la operación de cribado para la cual se utilizará una rejilla de limpieza manual, con una inclinación de 45°





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

**Fig. 6-1 Ángulo de inclinación de la rejilla**

$$V_r (Q_{\text{med.}}) > 0.60 \text{ m/s.}$$

$$V_r (Q_{\text{med.}}) < 1.00 \text{ m/s. (limpieza a favor de la corriente)}$$

El parámetro fundamental en la comprobación de rejillas es la velocidad de paso del agua entre los barrotes, la cual debe mantenerse entre (0.40 y 0.75) m/s (basado en el caudal medio).

**Diseño:**

El ancho en la zona de rejillas vendrá dado por:

$$b = \left( \frac{c}{s} - 1 \right) (s + a) + s$$

**Ecuación 6-9**

Donde:

- a - Anchura de las barras (mm)
- b - Ancho del canal en zona de rejillas (mm)
- c - Ancho del canal de entrada (mm)
- s - Separación útil entre barras (mm)
- n - Número de barras. (unidades)

El número de barras vendrá dado por:

$$n = \frac{b - s}{a + s}$$

**Ecuación 6-10**

De los datos tenemos:

- a = **10.00 mm** (Impuesto)
- c = **700.00 mm** (Del cajón de entrada)
- s = **25.00 mm** (Impuesto)
- b = **970.00 mm**
- b = **1000 mm** (Adoptado)
- 100 cm**

Ahora, el número de barras será



$$n = 27.86 \text{ u}$$

$$n = 28.00 \text{ u} \quad (\text{Adoptado})$$

$$L = 2.50 \text{ m} \quad (\text{Adoptado})$$

### Dimensiones de la rejilla

- Base = 1.00 m
- Numero de Barras = 28 u
- Anchura de las Barras = 10.00 mm
- Separación útil de las Barras = 25.00 mm
- Longitud = 2.50 m
- Ancho del Canal de Entrada = 0.70 m

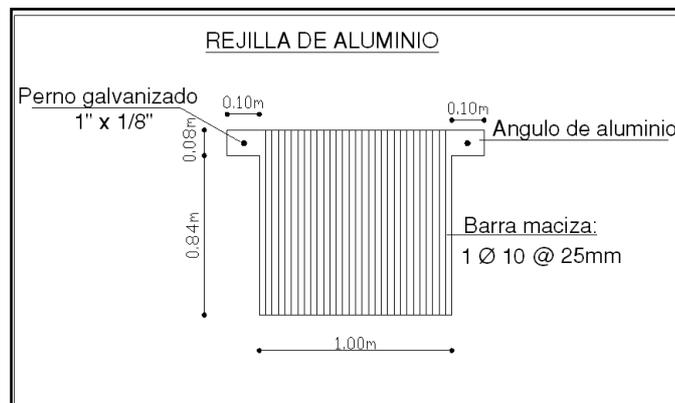


Fig. 6-2 Esquema de la rejilla de aluminio

### 6.3.3. Transiciones

#### 6.3.3.1. Canal de cribado – desarenador

$$L = \frac{b_1 - b_2}{2 \times \tan(\alpha)}$$

Ecuación 6-11

Donde:

b1 -Ancho del desarenador

b2 - Ancho del canal de rejillas

$\alpha$  -Ángulo de transición

$$L = \frac{1.80 - 1.00}{2 \times \tan(12.50)}$$

$$L = 1.80 \text{ m}$$



L = longitud de transición: 1.80 m

### 6.3.3.2. Desarenador - desengrasador

Datos:

b1 - ancho del desarenador

b2 - ancho del canal de salida

$\alpha$  - ángulo de transición

$$L = \frac{b1 - b2}{2 \times \tan(\alpha)}$$
$$L = 1.80 \text{ m}$$

L = longitud de transición: 1.80 m

### 6.3.4. Desarenador

En toda planta de tratamiento es indispensable proteger las unidades aguas abajo contra la acumulación de arena. (Normativa del ex - IEOS)

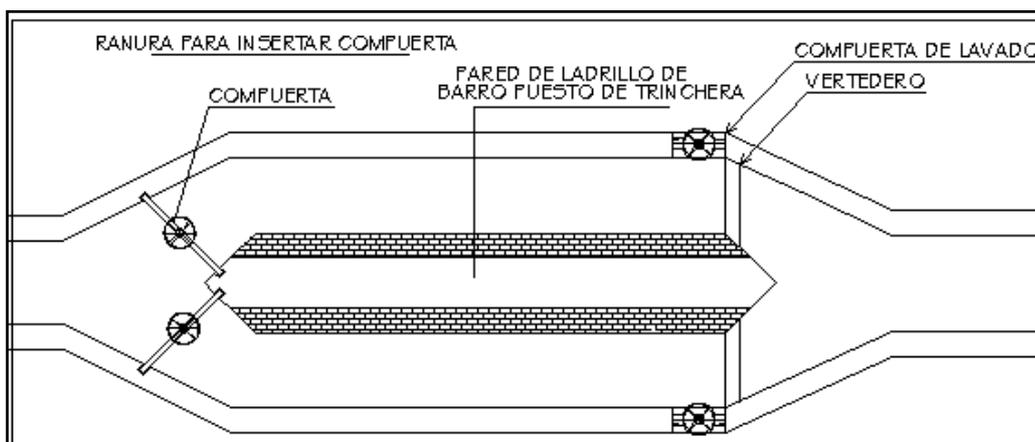


Fig. 6-3 Esquema del desarenador



Se eligió un desarenador de flujo horizontal, para el cual se debe controlar y mantener la velocidad de flujo alrededor de 0.3 m/s (+/- 20%) según recomendaciones del ex -IEOS.

El valor seleccionado para el presente diseño es:

$$V = 0.3 \text{ m/s.}$$

Se considera un tiempo de retención de 30 s y se realizará una limpieza cada 15 días.

- Numero de desarenadores = **2**
- Caudal máximo de ingreso: Q máx. = **8.12 L/s**  
**29.23 m3/h**
- Diámetro de las partículas a sedimentar: **d = 0.50 mm**
- Capacidad de sedimentación C = **3.00 m3/m2.h**

Área necesaria:

$$A = \frac{Q \text{ max}}{Cap \text{ Sed}}$$
$$A = \frac{29.23}{3}$$
$$A = 9.74 \text{ m}^2$$

**Ecuación 6-12**

Para una relación aproximada de 1:3

Ancho = 1.80 m (impuesto)

Largo = 3.40 m

Alto = 1.00 m

Si observamos la condición dada para los desarenadores de flujo horizontal en el manual de depuración uralita:

$$1 < \frac{b}{h} < 5$$

**Ok.**

$$1 < 1.80 < 5$$



Altura de sedimentación (hs) de 0.20 m (Norma ex - IEOS). Por tanto, la altura total será:

$$\begin{aligned}h_t &= h_s + h \\h_t &= 1.00 + 0.20 \\h_t &= 1.20 \text{ m}\end{aligned}$$

**Ecuación 6-13**

Volumen del agua:

$$Q = \frac{\text{Volumen}}{\text{tiempo}}$$

**Ecuación 6-14**

Despejando:

$$\text{Volumen} = Q \times \text{tiempo}$$

Donde:

tiempo- tiempo que pasa el volumen del agua por el desarenador = 15 días

- Q med. = 446.60 m<sup>3</sup>/día.
- Volumen: 6700.32 m<sup>3</sup>

La cantidad de arena recogida por el desarenador, según el texto de la Dra. Petia Mijaylova Nacheva, pág. 81, varía de (75 a 90) L por cada 1000 m<sup>3</sup> de AR. Se tomó un valor de 80 L/1000 m<sup>3</sup> (AR).

V arena =80 L            por cada 1000 m<sup>3</sup> de AR

Volumen de sedimentos:

$$\begin{aligned}V_{sr} &= Vol \times Vol_{arena} / 1000000 \\V_{sr} &= 6700.32 \times 80 / 1000000 \\V_{sr} &= 0.54 \text{ m}^3\end{aligned}$$

**Ecuación 6-15**



Según el ex - IEOS, a la longitud ( $L_d$ ) se debe incrementar entre el (30 a 50) %.

Se adoptó 30%.

Entonces:

$$\begin{aligned}L_d &= L_{\text{arg o}} \times 30 \% \\L_d &= 3.4 \times 30\% \\L_d &= 3.48 \text{ m} \\L_d &= 3.5 \text{ m (adoptado)}\end{aligned}$$

**Ecuación 6-16**

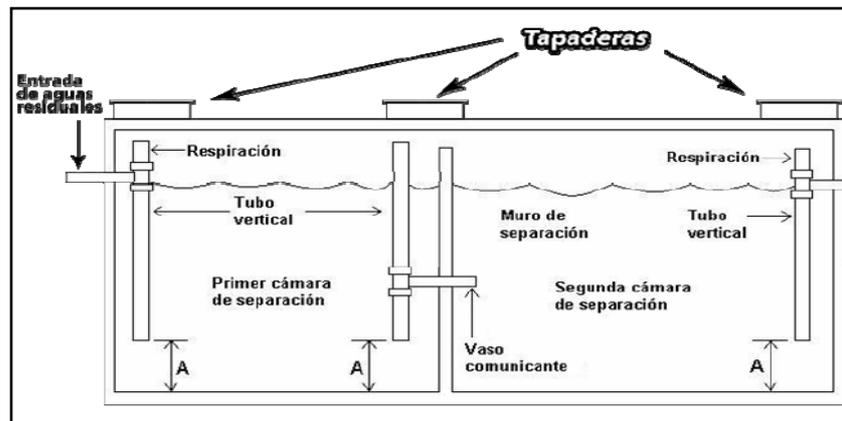
**Dimensiones del desarenador:**

Ancho del desarenador $b =$	1.80 m
Altura $h_l =$	1.00 m
Altura de sedimentación $h_s =$	0.20 m
Altura total del desarenador $h_t =$	1.20 m
Longitud total del desarenador $L_d =$	3.50 m

### 6.3.5. *Desengrasador*

El sistema más empleado para eliminar las grasas consta de dos fases:

- La emulsión de las grasas en el arenero mediante aireación, permitiendo su ascenso a la superficie con una velocidad que puede estimarse entre (3 y 4) mm / seg.
- Separación de grasas residuales en las balsas de decantación, procediendo a su retiro con el uso de rasquetas superficiales



**Fig. 6-4 Esquema del desengrasador**

**Fuente.** Departamento de control de descargas de aguas residuales

La cantidad de grasa incorporada es muy variable, pero para aguas residuales urbanas podemos considerar las siguientes cifras y parámetros:

Datos:

Carga Hidráulica = 4 L / (m<sup>2</sup>\*s) recomendada

El área se determina para el caudal máximo horario

Para desengrasadores rectangulares, la relación largo / ancho es: 1.80 a 1.00; se adopto 1.50

Área requerida:

$$Carga_{hidraulica} = \frac{Q_{max d}}{A} \quad \text{Ecuación 6-17}$$

Sabemos que:

$$A = b \times l$$

Hemos considerado que:

$$\frac{l}{b} = 1.50$$

Entonces:

$$l = 1.50 \times b$$



Ahora:

$$A = b \times 1.50 b$$

Despejando b:

$$b = \sqrt{\frac{A}{1.5}}$$
$$b = 1.16m$$
$$b = 2.00 m \text{ ( adoptado )}$$

Por lo tanto:

$$L = 1.50 \times b$$
$$L = 1.50 \times 2.00$$
$$L = 3.00 m$$

Para calcular la profundidad, tenemos que:

$$Q_{\max d} = \frac{V}{T_r} \quad \text{Ecuación 6-18}$$

De donde:

- $Q_{\max d}$ . = Caudal máximo de diseño
- $V$  = Volumen
- $T_r$ . = Tiempo de retención

Despejando:

$$V = Q_{\max d} \times T_r$$
$$V = 2.43 m^3$$

Ahora:

$$V = A \times h \quad \text{Ecuación 6-19}$$

$$h = \frac{V}{A}$$
$$h = 1.20 m$$



$h = 1.40$  metros: adoptado por acumulación temporal de lodos.

#### Dimensiones del desengrasador:

- Base  $b = 2.00$  m
- Longitud  $L = 3.00$  m
- Altura  $h = 1.40$  m

#### 6.3.6. Tanque de distribución

Consiste en amortiguar las variaciones de caudal para lograr un caudal aproximadamente constante, controla los problemas operacionales causados por las variaciones de caudal. Además de mejorar la tratabilidad del agua residual es un estabilizador de ph.

##### 6.3.6.1. Cálculo del tanque de distribución:

**Tabla 6-3** Cálculo tanque de distribución

INTERVALO	PERÍODO (1)	Q (L/s) (2)	Q (m <sup>3</sup> /s) (3)	FLUJO Acumulado(m <sup>3</sup> ) (4)
1	0-6	2.40	0.002	8.65
2	6-7	3.50	0.003	21.25
3	7-8	4.40	0.004	37.09
4	8-9	3.79	0.003	50.76
5	9-10	3.16	0.003	62.14
6	10-11	3.17	0.003	73.55
7	11-12	3.31	0.003	85.47
8	12-13	4.51	0.004	101.72
9	13-14	4.38	0.004	117.50



10	14-15	2.76	0.002	127.46
11	15-16	3.25	0.003	139.19
12	16-17	4.03	0.004	153.71
13	17-18	4.08	0.004	168.40
			0.004	

Donde:

- Columna (1), (2) y (3) son datos
- $(4)_n = (2)_n \times (3600) + (4)_{n-1}$
- $(5)_n = (2)_n \times (3)_n \times (3.6)$

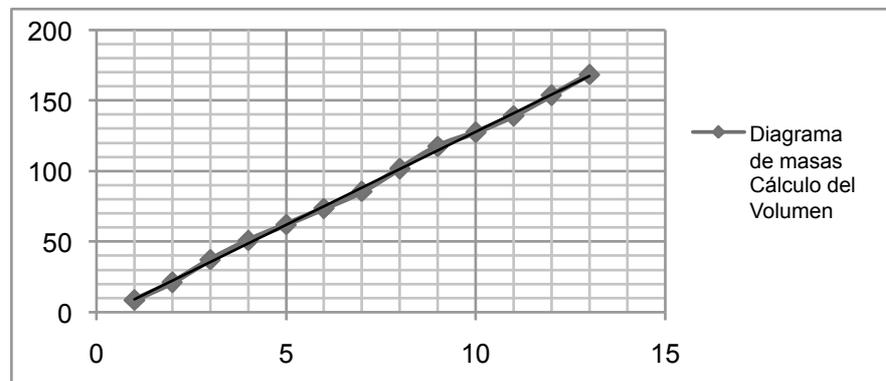


Fig. 6-5 Diagrama de masa para la determinación del volumen

Tabla 6-4 Cálculo tanque de distribución

INTERVALO	PERÍODO (6)	Q (m3/s) (7)	Vap. (m3) (8)	Vpp. (9)
8	12-13	0.004	16.25	3.29
9	13-14	0.004	15.77	6.11
10	14-15	0.002	9.96	3.12
11	15-16	0.003	11.72	1.89
12	16-17	0.004	14.52	3.46
13	17-18	0.004	14.68	5.19
1	0-6	0.002	8.65	0.90
2	6-7	0.003	12.59	0.54
3	7-8	0.004	15.84	3.43
4	8-9	0.003	13.66	4.14
5	9-10	0.003	11.37	2.57
6	10-11	0.003	11.41	1.02
7	11-12	0.003	11.92	-4E-14

Donde:



- **Columna 6:** Los cálculos se inician a partir del período en el cual el tanque de distribución está vacío. El período inicial se obtiene del diagrama de masa de la figura 6.5
- **Columna 7:** El volumen afluente durante el período ( $V_{ap}$ ), se calcula por la siguiente expresión

$$V_{ap} = Q \times 3600$$

$$V_{ap} = (\text{valor columna 2}) \times 3600$$

Ecuación 6-20

- **Columna 8:** El valor en el tanque de distribución al final de cada período se obtiene por la siguiente expresión:

$$V = V_{pp} + V_{ap} - V_{ep}$$

Ecuación 6-21

Donde:

$V$  = Volumen en el tanque al final del período.

$V_{pp}$  = Volumen en el tanque al final del período previo.

$V_{ap}$  = Volumen afluente durante el período.

$V_{ep}$  = Volumen efluente durante el período.

Tabla 6-5. Dimensiones del tanque de distribución

Resumen de Diseño		
V diseño=	6.10	m <sup>3</sup>
Factor seguridad =	1.05	Adimensional
b=	2.00	m
L=	4.00	m
h	0.80	m
VF <sub>s</sub> =	6.41	m <sup>3</sup>

#### 6.4. TRATAMIENTO INFILTRACIÓN RÁPIDA

##### Datos

- Caudal = 8.12 L/s
- DBO= 272.62 mg/L



- 1.80 mgal/d
- Tiempo de retención = 2 días
  - Nitrógeno total = 68.86 mg/L
  - Permeabilidad = 0.02 pulg/h
  - Velocidad de infiltración = 58.51 cm/h

#### 6.4.1. Tasa de carga hidráulica

Se considera un factor de diseño de 6% de acuerdo a la tabla 10.25 de Crites tomando en cuenta que el procedimiento de prueba.

$$Lw = 6\% \times 24 \times 365 \times \text{permeabilidad} \times (1/2)$$

$$Lw = 0.66 \text{ pie/año}$$

Ecuación 6-22

#### 6.4.2. Comparación: carga hidráulica vs carga de nitrógeno aceptable

$$Ln = \frac{LwC(F \times 12 \text{ pulg/pie})}{D}$$

$$Ln = 0.33 \text{ lb/ac d}$$

Ecuación 6-23

#### 6.4.3. Carga de DBO (lb/d)

$$\text{Carga DBO} = 8.34 \times Q \times DBO$$

$$\text{Carga DBO} = 4092.52 \text{ lb/d}$$

Ecuación 6-24

#### 6.4.4. Área necesaria

Para sistemas municipales se recomienda una carga orgánica máxima de 300 lb/ac.d.

Por lo tanto:

$$A = \frac{\text{Carga DBO}}{300}$$

$$A = 7.71 \text{ acres}$$

$$A = 3.10 \text{ ha}$$

Ecuación 6-25

#### 6.4.5. Ciclos de operación (Ra)

El ciclo de carga hidráulica consiste en un período de aplicación (inundación) seguido por un período de sequía (reposo). En la tabla 6.6 se muestran los ciclos



operativos recomendados por la EPA para alcanzar cada uno de estos objetivos. (EPA, 1981).

**Tabla 6-6 Ciclos operativos recomendados por la EPA**

Objetivo del ciclo de recarga	AR aplicada	Estación	Periodo de aplicación (días)	Periodo de secado (días)
Maximización de las velocidades de infiltración.	Primaria	Verano	1-2	5-7
		Invierno	1-2	7-12
	Secundaria	Verano	1-3	5-4
		Invierno	1-3	5-10
Maximización de la eliminación de nitrógeno.	Primaria	Verano	1-2	10-14
		Invierno	1-2	12-16
	Secundaria	Verano	7-9	10-15
		Invierno	9-12	12-16
Maximización de la nitrificación.	Primaria	Verano	1-2	5-7
		Invierno	1-2	7-12
	Secundaria	Verano	1-3	4-5
		Invierno	1-3	5-10

Fuente: Moreno Merino Luis, 2003

$$Ra = \frac{Lw \text{ (mm/año)}}{365 \text{ (d/año)}} \times \frac{\text{Duracion ciclo operativo (d)}}{\text{Periodo de aplicación (d)}}$$

$$Ra = 6740.35 \text{ mm/d}$$

$$Ra = 28.08 \text{ cm/h}$$

Ecuación 6-26

#### 6.4.6. Comprobación del ciclo operativo vs velocidad de infiltración

Para evitar la acumulación de agua y la escorrentía superficial, este valor debería ser inferior a la velocidad de infiltración media o a la conductividad hidráulica vertical efectiva de la columna de suelo. (Moreno Merino Luis, 2003).

$$V = 28.08 \text{ cm/h} < 58.51 \text{ cm/h} \text{ Ok.}$$

Sin embargo para minimizar la compactación del estrato superficial y evitar posibles efectos secundarios (crecimiento de algas y precipitación química), la altura del agua acumulada en las balsas no debe superar los (0.30 a 0.45) m. (Metcalf y Eddy, 1999).

#### 6.4.7. Número de Balsas

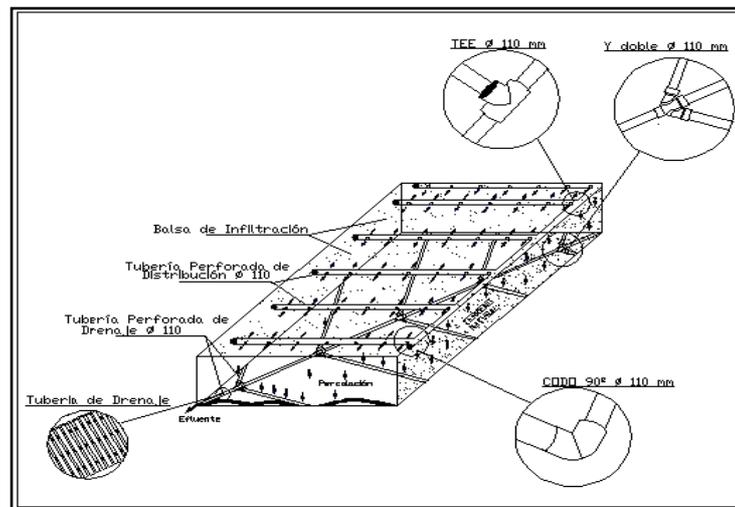


Fig. 6-6 Diagrama de una Balsa de infiltración

El número de balsas depende de la topografía del lugar, del ciclo de carga hidráulica y del flujo de agua residual. Por el ciclo operativo adoptado se ha considerado realizar 4 balsas en las que cada una tendrá uno a dos días de aplicación y seis de secado.

#### 6.4.8. Área de cada balsa

$$A_p = \frac{\text{Area}}{\text{Num balsa}}$$
$$A_p = 7799.70 \text{ m}^2$$

Ecuación 6-27

#### 6.4.9. Consideraciones de construcción

##### 6.4.9.1. Altura de la balsa

La construcción de una balsa se la debe realizar de una forma cuidadosa para prevenir la compactación de la superficie de infiltración. Se adopta una altura de 2 m.

##### 6.4.9.2. Altura de las bermas

Del material extraído de las balsas debe ser compactado para formar las bermas. La erosión de la pendiente de estas debe ser prevenida, ya que el material erosionado es



de textura fina y puede tapar o sellar la superficie de infiltración. Se adoptó una altura de berma de 2.3 m adoptado por acumulación de lodos.

**6.4.9.3. Sistema de distribución**

Existen tres técnicas principales de distribución, se considera realizar la distribución de caudal por tubos perforados ya que se ha optado no utilizar vegetación, por menor costo y por no existir restricciones en sus pendientes.

**Tabla 6-7 Resumen de resultados del sistema de infiltración rápida**

DESCRIPCIÓN	DIMENSIONES	UNIDADES
Área total	311.991.21	m <sup>2</sup>
Número de balsas	4.00	U
Área de cada balsa	77.997.80	m <sup>2</sup>
Sistema de distribución	Tubos perforados.	
Altura de la balsa	2.00	m
Altura de la berma	2.30	m
Período de aplicación	2.00	días
Período de secado	6.00	días

**6.4.9.4. Remociones del sistema de infiltración rápida**

PARÁMETRO	AFLUENTE	PRETRATAMIENTO			TRATAMIENTO O INFILTRACIÓN RÁPIDA		% TOTAL DE REMOCIÓN MÍNIMOS	EFLUENTE	LÍMITES PERMISIBLES	
		REJILLAS	DESARENADOR	DESENGRASADOR	MIN	MÁX				
DBO mg/L	272.62	5	3	0	85	99	93	19.08	0	100
DQO mg/L	585.67	5	3	0	60	75	68	187.41	0	250
SS mg/L	131.50	5	3	0	80	99	88	15.78	0	100
NITRÓGENO (org+ amon)	68.86	0	0	0	80	90	80	13.77	0	15
FÓSFORO mg/L	5.94	0	0	0	90	95	90	0.59	0	10
GRASAS mg/L	71.67	0	0	100	0	0	100	0.00	0	0.3

**6.5. PRESUPUESTO TOTAL DEL TRATAMIENTO**

Los precios unitarios del presupuesto del sistema se describen en el anexo 5



<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA</b>
<b>PRESUPUESTO TOTAL DE LA OBRA</b>
<b>OBRA: CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL CANTÓN ZAPOTILLO</b>
<b>UBICACIÓN: CANTÓN ZAPOTILLO</b>

RUBROS	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT.	PRECIO U.	TOTAL (USD)
	<b>CANAL DE ENTRADA Y REJILLA</b>				<b>875.17</b>
1	Replanteo y nivelación	m <sup>2</sup>	4.74	1.63	7.73
2	Replanteo de H° S° f'c=180 kg/cm2	m <sup>3</sup>	0.16	150.16	24.03
3	Encofrado recto	m <sup>2</sup>	19.75	13.92	274.92
4	Hormigón simple; fic= 180 kg/cm2	m <sup>3</sup>	1.63	175.00	285.25
5	Enlucido vertical + aditivo impermeabilizante	m <sup>2</sup>	7.50	14.09	105.68
6	Reja canal de cribado	u	1	24.80	24.80
7	Hormigón S. f'c=210 kg/cm2	m <sup>3</sup>	1.17	109.37	127.96
8	Loseta canal de cribado	u	1.00	24.80	24.80
	<b>DESARENADOR (USD)</b>				<b>6020.80</b>
9	Replanteo y nivelación	m <sup>2</sup>	7.00	1.63	11.41
10	Excavación sin clasificar a máquina	m <sup>3</sup>	4.87	1.75	8.52
11	Replanteo de H° S° f'c=180 kg/cm2	m <sup>3</sup>	10.24	150.16	1537.64
12	Hormigón S. f'c=210 kg/cm2	m <sup>3</sup>	5.80	109.37	634.35
13	Acero de refuerzo fy=4200 Kg/cm2	kg	920.30	1.79	1647.28
14	Encofrado recto	m <sup>2</sup>	53.00	13.92	737.76
15	Enlucido vertical + aditivo impermeabilizante	m <sup>2</sup>	28.54	14.09	402.13
16	Mampostería ladrillo	m <sup>2</sup>	7.97	15.1	120.35
17	Compuerta de volante de acero inoxidable	u	4.00	230.34	921.36
	<b>DESENGRASADOR (USD)</b>				<b>2075.32</b>
18	Excavación sin clasificar manual	m <sup>3</sup>	2.10	1.75	3.68
19	Replanteo de H° S° f'c=180 kg/cm2	m <sup>3</sup>	6.00	150.16	900.96
20	Encofrado recto	m <sup>2</sup>	28.00	13.92	389.76
21	Tubería de F. D. 200 mm x 6m	ml	1.24	16.49	20.45
22	Hormigón S. f'c=210 kg/cm2	m <sup>3</sup>	3.00	109.37	328.11
23	Tapa de tool tipo IEOSS e=1/25 (0.6x0.6)m	u	3.00	68.29	204.87
24	Enlucido vertical + aditivo impermeabilizante	m <sup>2</sup>	14.00	14.09	197.26
25	Accesorios desengrasador (2x4x1.2) m	global	1.00	30.23	30.23

→ Continúa

→ Viene

	<b>TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE 6.4 M3 (</b>				<b>834.16</b>
26	Replanteo y nivelación	m <sup>2</sup>	8.00	1.63	13.04



**CAPÍTULO**

**VI**

27	Excavación sin clasificar a máquina	m <sup>3</sup>	5.85	1.75	10.24
28	Hormigón S. f'c=210 kg/cm2	m <sup>3</sup>	1.95	109.37	213.27
29	Encofrado recto	m <sup>2</sup>	15.85	13.92	220.63
30	Enlucido vertical + aditivo impermeabilizante	m <sup>2</sup>	8.00	14.09	112.72
31	Válvulas de cierre de bronce Tipo Roceta de 110 mm	u	2.00	116.42	232.84
32	Escalera HG 3/4" b =0.4 m	u	1.00	31.42	31.42
	<b>BALSAS DE INFILTRACIÓN (USD)</b>				<b>67518.1</b>
33	Excavación sin clasificar manual	m <sup>3</sup>	13645.	1.75	23879.1
34	Relleno compactado con mat. Excavación	m <sup>3</sup>	13645	1.37	18693.9
35	Sum. Instalación Tub. Tipo dren 110 mm	u	2027	6.06	12285.1
36	Sumi. Instalación Tub pvc perforada de distribución de 110 mm	u	1888	6.06	11440.9
	<b>ACCESORIOS PARA DRENAJE</b>				
37	Yee doble de 110mm	u	20.00	30.98	619.60
38	Codo de 45° de 110mm	u	2.00	8.16	16.32
	<b>ACCESORIOS PARA DISTRIBUCIÓN</b>				
39	Codo de 90° de 110mm	u	26.00	4.52	117.,52
40	Válvulas de cierre de bronce Tipo Roceta de 110 mm	u	4.00	116.42	465.68
	<b>OBRAS COMPLEMENTARIAS (USD)</b>				<b>6000.33</b>
41	Cerram. poste H° S. + alambre puas (5 llos) + excavacion	m	250.70	9.72	2436.51
	<b>BODEGA</b>				
42	Excavación sin clasificar manual	m <sup>3</sup>	4.80	1.75	8,40
43	Acero de refuerzo fy=4200 Kg/cm2	kg	906.00	1.79	1621.74
44	Hormigón S. f'c=210 kg/cm2	m <sup>3</sup>	6.60	109.37	721.84
45	Mampostería ladrillo	m <sup>2</sup>	24.00	15.10	362.40
46	Enlucido vertical Paleteado (1:3)	m <sup>2</sup>	48.00	8.60	412.80
47	Puertas de madera doble tapamarco 0.90x2	u	2.00	127.15	254.30
48	Encofrado recto	m <sup>2</sup>	5.00	13.92	69.60
49	Suministro, Colocación de inodoros	u	1.00	112.74	112.74

**SON: Ochenta y tres mil trescientos veinte y tres con ochenta y tres centavos de dólar americanos**

<b>TOTAL(USD)</b>	<b>83323.80</b>
-------------------	-----------------



### **6.5.1. Costos por habitante**

El costo de construcción del tratamiento de aguas residuales mediante infiltración rápida en el terreno de la ciudad de Zapotillo por habitante es de 35.25 dólares americanos para una población de 2364 habitantes, demostrando que es un método de depuración de bajo costo.



# CAPITULO VII



## 7. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Los aspectos operacionales y de mantenimiento deben ser considerados desde la fase de planeación del proyecto. Usualmente el municipio de la ciudad es quien administra y controla el buen funcionamiento de la planta; sin embargo, es el operador quien juega un papel importante en la operación y mantenimiento del sistema.

### 7.1. PRE TRATAMIENTO

#### 7.1.1. *Cajón de llegada*

La finalidad del cajón de llegada es romper la presión al final del emisario y disipar la energía con la que llegan las aguas residuales por lo que es necesario darle un mantenimiento diario para que cumpla su función plenamente.

Es necesario que un operador revise el cajón de llegada para que en el caso de existir sólidos de gran tamaño pase a retirarlos con la ayuda de un rastrillo, pala y carretilla para luego ser retirados al relleno sanitario municipal o enterrarlos.

#### 7.1.2. *Cribado*

El objetivo de esta estructura se basa en separar el materia grueso del agua residual mediante el paso por está. Su función principal es proteger las estructuras posteriores del taponamiento o interferencia causada por trapos y objetos grandes. Por tanto, es necesario que el operador elimine los sólidos depositados por lo menos una vez al día.

La limpieza se la hará de forma manual, utilizando para ello un rastrillo que encaja entre los barrotes, recogiendo los sólidos lo antes posible y los entierre o los retire diariamente evitando que existan problemas para la salud.

#### 7.1.3. *Desarenadores*

Los desarenadores, en un tratamiento de aguas residuales tiene como función principal la remoción de arenas, gravas y material sólido pesado que tenga velocidad de



asentamiento. Los desarenadores protegen el equipo del desgaste anormal y reducir la formación de depósitos pesados en tuberías o reducir la sección en canales.

El desarenador diseñado consta de dos cámaras con compuertas de entrada en cada una de ellas. Cuando se realice el mantenimiento de una de estas secciones primero se debe cortar el flujo de agua para que esta quede fuera de servicio. Luego con palas, cubetas y carretilla raspar el fondo y las paredes del tanque hasta que quede completamente limpio. Si las arenas o el 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.

#### **7.1.4. Desengrasador**

El desengrasador consiste en una caja especial que tiene como finalidad separar las grasas y aceites del agua. La frecuencia en la limpieza de esta cámara debe ajustarse a la cantidad de materias retenidas. Esta limpieza se la recoge con cucharones o baldes diariamente y es conveniente retirar el material acumulado y enterrarlo junto a los sólidos provenientes de las otras etapas.

## **7.2. INFILTRACIÓN RÁPIDA**

Este sistema de tratamiento requiere de un pretratamiento, que consta de cribado, desarenador, desengrasador y un tanque de distribución, en los cuales el operador tendrá que dar un mantenimiento continuo de acuerdo a lo especificado en la tabla 7.1 para proporcionar un buen funcionamiento del sistema. Luego el agua residual se distribuirá por tuberías perforadas de 110 mm que funcionan por gravedad, asegurando una repartición uniforme sobre cada balsa. Finalmente la recolección del agua tratada se lo hará mediante tuberías de drenaje perforadas de 110mm en forma de espina de pescado de preferencia.

Se debe construir mínimo 4 balsas de una misma área para tener un continuo funcionamiento de la planta depuradora.

EL agua residual se aplicará a la primera balsa de infiltración por un tiempo de retención de 2 días, luego de lo cual el operador deberá cerrar la válvula de paso de



caudal e inmediatamente procederá a poner en funcionamiento la segunda balsa de infiltración, permitiendo que el suelo de la primera se recupere durante 2 días. El proceso descrito anteriormente se repite para la tercera y cuarta balsa en la misma secuencia, dando un período total de secado para cada balsa de 6 días, obteniendo una operación continua de la planta durante todo el año.

El operador deberá dar mantenimiento al suelo realizando el arado o limpieza de la superficie del suelo en caso de que este se colmate o la velocidad de infiltración disminuya, deberá llevar un registro del tiempo de infiltración obligado y el tiempo de secado de cada balsa. Además deberá llevar un control del pH de manera que si se encuentran fuera de los intervalos apropiados pueda regularlos, es decir si el pH del suelo es muy básico adicionarle cal para incrementarlo y si es muy ácido adicionarle yeso para disminuirlo.

Con respecto a la depuración de aguas residuales por la aplicación de este método se alcanzó rendimientos de los sólidos suspendidos del 98 %, para la DBO<sub>5</sub> y la DQO se alcanzó rendimientos del 98 y 98%, para el nitrógeno total del 95%, para el fósforo total del 40% y para los coliformes fecales del 99,9 %.

**Tabla 7-1 Actividades de operación y mantenimiento del sistema por infiltración rápida**

UNIDAD / PROBLEMA	ACTIVIDADES / SOLUCIÓN	FRECUENCIA	PERSONAL	HERRAMIENTAS
Suelo / Erosión causada por la escorrentía superficial	Inspección, aplanamiento de pendientes pronunciadas, arado siguiendo las curvas de nivel, disminución del arado y el rebordeo con pasto	En lluvias esporádicas y épocas de invierno	Operador	Pico, pala, barreta, rastrillo
Suelo / Compactación causada por animales de pastoreo cuando el suelo está muy húmedo	Se debe esperar hasta después de la irrigación para permitir el pastoreo de animales.	2 a 3 días después de la irrigación	Operador	Control de pastoreo
Suelo / Compactación, acumulación de sólidos y el endurecimiento de la capa superficial del suelo	Arado del terreno una vez esté seco. Excavar a una profundidad de 0.6 a 1.8 m, de manera que se puedan mezclar las capas impermeables del suelo con capas superficiales más permeables	En periodos de secado	Operador	Pico, pala, barreta, rastrillo
Suelo / Desbalance químico del suelo. Desequilibrio del pH si se encuentran fuera de los intervalos apropiados.	Recolección de muestras de suelo para análisis de pH. Control del pH, ajustar mediante la adición de cal (para incrementarlo) o de yeso para disminuirlo.	En periodos de secado o verano cuando el pH es muy ácido o el pH es muy básico (menor que 5 0 mayor que 10)	Operador	pH-metro de campo, guantes, cal, yeso.
Zanjas / Formación de hielo en climas fríos	Poner la zanja en reposo por un periodo extendido durante la estación cálida, permitiendo el secado de la superficie.	1 vez / trimestre (En periodos de secado o verano)	Operador	Control regular en los periodos de secado
Zanjas / colmatación	Retiro de la capa de sólidos que		Operador	Rastrillo, pala,



	están colmatando las zanjas por material acumulado o arar para remover las capas	Cuando la velocidad de filtración empiece a disminuir (llevar registros de tiempo de infiltración obligado) (En periodos de secado o verano)		carretilla
--	--	---	--	------------

### 7.3. OTROS MANTENIMIENTOS

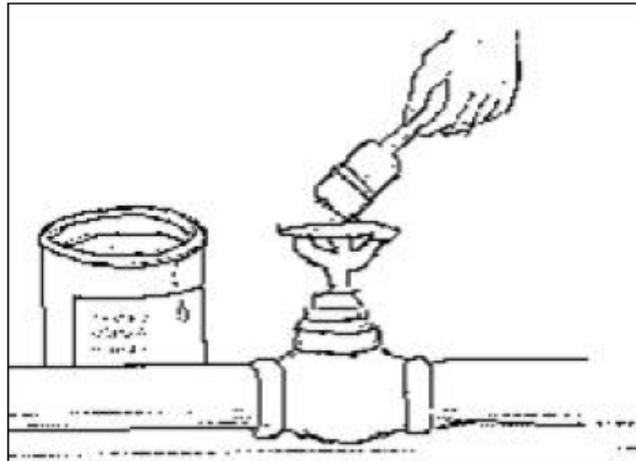


Fig. 7-1 Pintado de los elementos

A las estructuras del pretratamiento y al tratamiento se le deben realizar otros mantenimientos como:

- Engrasado mensual de los dispositivos de apertura de las compuertas.
- Pintado semestral de los elementos metálicos con pintura anticorrosiva.
- Inspección minuciosa anual de la unidad, resane de deterioros de la estructura, reparación o cambio de válvulas y compuertas.

Se considera entre otras funciones principales del operador el control del flujo, la limpieza de las unidades de pretratamiento y generalmente el mantenimiento de la planta y el monitoreo del efluente recomendando realizarlo mensualmente para obtener datos representativos de la depuración obtenida.

### 7.4. MATERIAL DE PROTECCIÓN E HIGIENE



Es necesario dotar de materiales e instrumentos de protección al operador de tal forma que se asegure las medidas necesarias de seguridad e higiene ya que es importante aplicar todas las medidas de seguridad, por tal razón es necesario un equipo mínimo (casco, mascarilla, guantes, overol, botas, antisépticos para la piel, botiquín) y herramientas menores las cuales deben ser lavadas después de su uso.

### 7.5. COSTO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA					
COSTO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ANUAL DE LA PLANTA					
OBRA: CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE ZAPOTILLO					
UBICACIÓN: CIUDAD DE ZAPOTILLO					
RUBRO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT.	P.UNIT	TOTAL USD
1	OPERADOR DE LA PLANTA	MES	12	329.16	3949.92
	EQUIPO (USD)				160.50
2	HERRAMIENTA MENOR	GLOBAL	1	50.00	50.00
3	Ph METRO DE CAMPO PARA SUELO	U	1	110.50	110.50
	CAPACITACIÓN (USD)				180
4	CURSO DE CAPACITACIÓN	HORAS	12	15.00	180.00
	EQUIPO DE PROTECCIÓN PARA OPERADOR (USD)				167
5	GUANTES DE BUTILO	PAR	1	25.00	25.00
6	BOTAS PARA AGUA	PAR	1	32.00	32.00
7	CASCO DE SEGURIDAD LIGERO	U	1	20.00	20.00
8	GAFAS TIPO PANORÁMICAS	U	1	15.00	15.00
9	MASCARA BUCONASAL CON 2 FILTROS	U	1	35.00	35.00
10	MONO LABORAL IMPERMEABLE	GLOBAL	1	40.00	40.00
	QUIMICOS PARA SUELO (USD)				570
11	CAL	KG	100	4.20	420.00
12	YESO	KG	100	1.50	150.00
13	MUESTRAS DE CONTROL DE CALIDAD DE AGUA RESIDUAL	GLOBAL	12	320.00	3840.00
14	ELECTRICIDAD BODEGA + LAMPARA	KWH	20	1.00	20.00
				<b>TOTAL</b>	<b>8707.42</b>



El costo total de operación y mantenimiento por habitante del sistema de infiltración rápida de la ciudad de Zapotillo es de 3.68 dólares americanos, para una población de 2364 hab, siendo su mantenimiento económico durante todo el año.

# CAPITULO VIII

## 8. ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL



### 8.1. INFORMACIÓN DE PARTIDA

La importancia de los impactos ambientales asociados con la depuración de aguas residuales depende de las condiciones particulares de la localización y de las características de los medios físico, biótico y antrópico.

### 8.2. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA

La ciudad de Zapotillo cuenta con una topografía regular, presentando planicies en gran parte del lugar. El área de terreno según los estudios previos e inspección visual se encuentra cerca del río lo que hace de gran importancia el estudio ambiental.

Debido a la baja cantidad de automotores y a la no presencia de industrias, la calidad del aire es muy buena y la cantidad de ruido muy baja, lo que hace que la ciudad tenga un alto grado de purificación del aire.

Entre los factores que han incidido en la formación de los suelos, se encuentran el clima, la topografía y la acción del agua determinada por el relieve y el clima.

Gran parte del área no se encuentra cultivada por la falta de agua, de ahí que muchas especies naturales representan la cobertura vegetal.



**Fig. 8-1 Vegetación típica de la zona.**

El uso agrícola de las tierras está determinado por la presencia de lluvias, y en algunos casos como las terrazas, por el bombeo de agua de los ríos Alamor y Chira.



Es una zona agrícola, ganadera comercial y turística, parte de sus habitantes se dedican al cultivo de maíz, coco, pimiento, cebolla, limón, mango, tamarindo, papaya, sandía, zapallo, fréjol, yuca.

Así mismo existen productores de ganado caprino en mayor proporción, vacuno para la obtención de productos lácteos y porcinos en menor proporción.

### 8.3. CARACTERIZACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LOS IMPACTOS

Las características que a continuación se detallan servirán como indicadores de los posibles impactos al medio ambiente que podrían existir en la construcción de la planta y que servirán como parámetros de observación en el método a utilizar.

**Tabla 8-1 Caracterización físicas y químicas**

<b>Tierra</b>	Recursos minerales
	Material de construcción
	Suelos
	Geomorfología
	Campos magnéticos y radiactividad de fondo
	Factores físicos singulares
<b>Agua</b>	Continetales
	Marinas
	Subterráneas
	Calidad
	Temperatura
	Recarga
	Nieve, hielo y heladas
<b>Atmósfera</b>	Calidad (gases, partículas)
	Clima (micro, macro)
	Temperatura
<b>Procesos</b>	Inundaciones
	Erosión
	Sedimentación y precipitación
	Solución
	Sorción (intercambio de iones complejos)
	Compactación y asentamientos
	Estabilidad
Sismología (terremotos)	



	Movimientos de aire
--	---------------------

**Tabla 8-2 Condiciones biológicas**

<b>Flora</b>	Árboles
	Arbustos
	Hierbas
	Cosechas
	Microflora
	Plantas acuáticas
	Especies en peligro
	Barreras, obstáculos
<b>Fauna</b>	Pájaros (aves)
	Animales terrestres
	Peces y mariscos
	Organismos bentónicos
	Insectos
	Micro fauna
	Especies en peligro
	Barreras

**Tabla 8-3 Factores culturales**

<b>Usos del territorio</b>	Espacios abiertos y salvajes
	Zonas húmedas
	Silvicultura
	Pastos
	Agricultura
	Zona residencial
	Zona comercial
	Zona industrial
	Minas y canteras
<b>Recreativos</b>	Caza
	Pesca
	Navegación
	Baño
	Camping
	Excursión
	Zonas de recreo
<b>Estéticos y de interés humano</b>	Vistas panorámicas y paisajes
	Naturaleza
	Espacios abiertos
	Paisajes
	Agentes físicos singulares
	Parques nacionales y áreas de reserva
	Monumentos
	Especies o ecosistemas especiales
	Lugares u objetos históricos o arqueológicos
	Desarmonía
<b>Nivel cultural</b>	Estilos de vida
	Salud y seguridad
	Empleo
	Densidad de población
<b>Servicios e infraestructura</b>	Estructuras
	Red de transporte



	Red de servicios
	Eliminación de residuos sólidos
	Barreras

Para el método utilizado es necesario que se identifiquen las acciones que podrían ser llevadas a cabo en la ejecución del proyecto y que podrían afectar el medio. A continuación se detallan estas acciones:

**Tabla 8-4 Modificación del régimen**

Introducción de fauna exótica
Controles biológicos
Modificación de hábitats
Alteración de la cobertura vegetal
Alteración de la hidrología superficial
Alteración de las condiciones de drenaje
Modificación y control de las cuencas
Canalización
Regadío
Modificación del clima
Incendios
Pavimentación
Ruido e introducción de vibraciones extrañas

**Tabla 8-5 Tabla 8.5 Transformación de la tierra**

Urbanización
Parques industriales y edificios
Aeropuertos
Carreteras y puentes
Caminos vecinales
Líneas férreas
Tendido de cables no conductores
Líneas de transmisión, tuberías de conducción
Barreras, inclusive cercas
Modificación y dragado de canales
Revestimiento de canales
Construcción de canales
Presas
Muelles y rompeolas
Estructuras mar adentro (off-shore)
Estructuras recreacionales



Voladuras, horadaciones
Corte y relleno
Túneles y estructuras subterráneas

**Tabla 8-6 Fuentes de extracción**

Voladuras y horadaciones
Excavación superficial
Superficies de excavación y retorno
Construcción de pozos y explotación de aguas subterráneas
Perforaciones
Limpieza y desbroce
Caza y pesca comercial

**Tabla 8-7 Alteración de la tierra**

Controlo de la erosión y terraceo
Clausura de minas y control de desperdicios
Rehabilitación de minas
Paisajes
Dragado de muelles
Relleno y drenaje de pantanos

**Tabla 8-8 Renovación de fuentes**

Reforestación
Manejo y preservación de la fauna salvaje
Recargas de agua subterránea
Aplicación de fertilizantes
Reciclaje de desperdicios

**Tabla 8-9 Tratamiento químico**

Fertilización
Tratamiento químico de desechos acumulados en carreteras



Estabilización química del suelo
Control de maleza
Control de insectos

Los valores de magnitud que se medirán tendrán un rango de 1 al 10, donde el 10 corresponde a magnitud de mayor impacto y 1 representa la magnitud de menor impacto. Si la magnitud del impacto es positiva se emplea el signo positivo y si el impacto es negativo se emplea el signo negativo.

Los valores de la magnitud e importancia que se asignen a los impactos identificados pueden responder a valores prefijados como los dados en la tabla siguiente.

**Tabla 8-10 Magnitud e importancia de los parámetros**

MAGNITUD			IMPORTANCIA		
CALIFICACIÓN	INTENSIDAD	AFECTACIÓN	CALIFICACIÓN	DURACIÓN	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

#### **8.4. FACTORES AMBIENTALES QUE AFECTAN EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA TECNOLOGÍA.**

Dentro de los indiscutibles impactos positivos de la depuración del agua residual mediante métodos naturales destaca la mejora sustancial de las aguas llegando a obtener rendimientos elevados de depuración permitiendo con ello que la ciudad tenga una red fluvial libre de contaminación, lo que se traduce en un importante aporte al desarrollo de la ciudad.



La tecnología garantiza que su efluente sea compatible con los componentes bióticos y abióticos del medio receptor, mejorando notoriamente la cantidad microbiológica del cuerpo receptor, esperándose encontrar niveles de contaminación inferiores al límite exigido por la normativa, lo que permitirá el uso del recurso hídrico sin restricción de ningún tipo.

Los factores ambientales afectados a largo plazo en la realización del proyecto son:

- Cambio de la topografía del lugar
- Modificación de las características del suelo
- Destrucción del hábitat
- Cambio en el paisaje
- Cambio en la actividad agrícola del sitio.

En la construcción de la planta depuradora existirán algunos aspectos transitorios negativos sobre el medio ambiente los cuales pueden producir molestias a la población del lugar. Estos aspectos son:

- Movimiento de tierras
- Presencia de maquinaria
- Extracción de materiales utilizados
- Transporte de materiales
- Producción de ruido
- Etc.

Contrario a esto la generación de empleo será un impacto de carácter positivo ya que evidentemente ayuda en gran medida al aspecto económico de la localidad.

