



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 2000 habitantes en la ciudad de Gonzanamá”

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

AUTORES:

LORENA ELIZABETH BERMEO CASTILLO
JORGE LUIS SANTÍN TORRES

DIRECTORA:

Ing. MÓNICA CISNEROS ABAD

2010



ESTUDIO, DISEÑO Y SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA ADECUADA PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS PARA POBLACIONES MENORES A 2000 HABITANTES EN LA CIUDAD DE GONZANAMÁ

Bermeo C. Lorena E., Santín T. Jorge L.

Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Técnica Particular de Loja

e-mail: lebermeo@utpl.edu.ec; jlsantin@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 2000 habitantes en la ciudad de Gonzanamá.

Este proyecto tiene como objetivo primordial seleccionar un tratamiento de aguas residuales para la ciudad de Gonzanamá, con énfasis en tratamientos naturales de infiltración directa en el terreno o métodos acuáticos, como una alternativa sostenible y de bajo costo para reducir la contaminación de los cauces de agua dulce, garantizar la salud de los habitantes y potenciar el reúso 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 humedal de flujo superficial y manual de operación y mantenimiento, estudio de impacto ambiental, presupuesto, conclusiones y anexos.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la población ha traído consigo un problema de contaminación ocasionado por el vertimiento de las aguas residuales sin tratamiento. Por tanto, es prioritario generar proyectos para atenuar esta problemática, garantizando la descontaminación ambiental y la salud pública.

Actualmente existen numerosas alternativas de tratamiento de aguas residuales, sin embargo, la deficiente operación y mantenimiento y su baja adaptación al medio han ocasionado que

estas fracasen y sean abandonadas, repercutiendo en grandes pérdidas para los municipios, juntas parroquiales, etc. Por tanto, el tratamiento de aguas residuales por métodos naturales se presenta como una opción sostenible para las pequeñas y medianas poblaciones dada su alta eficiencia, bajos costos de operación y mantenimiento, facilidad de construcción, comparado con los sistemas convencionales.

El presente trabajo contribuye de alguna manera a reducir la contaminación por aguas residuales mal tratadas en el



cantón Gonzanamá, a través de la búsqueda de una tecnología que sea relativamente económica pero no menos eficiente que los sistemas convencionales, sin consumir las grandes cantidades de energía de los sistemas aeróbicos modernos y por ende colaborando con la preservación del medio ambiente sin afectar el calentamiento global. Para este fin se seleccionará y diseñará la tecnología más adecuada utilizando sistemas naturales, considerando un tratamiento primario, previo al diseño propuesto, con el fin de optimizar la remoción de contaminantes.

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 Gonzanamá, 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 2000 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 pueden obtener la información para seleccionar una tecnología natural de depuración en base a las alternativas de infiltración directa en el terreno o métodos acuáticos que se adapte a las condiciones de la ciudad de Gonzanamá, para posteriormente diseñar la planta de tratamiento.

ESTUDIOS REALIZADOS

- 1. Caracterización del agua residual.-** Este proceso ha consistido en conocer la composición físico-química y bacteriológica del agua residual a través de la toma de muestras en el punto de la 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 Gonzanamá 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

- La caracterización de las aguas residuales y el estudio socio económico realizado en la ciudad de

agua residual de la ciudad es característico de un agua doméstica, sin contaminación de desechos industriales.

5. Preselección de las tecnología.-

Los sistemas naturales de depuración escogidas como alternativas de tratamiento de las aguas residuales para la ciudad de Gonzanamá son las siguientes: tratamientos sobre el terreno (infiltración rápida IR, infiltración lenta IL, escorrentía superficial ES) y los métodos acuáticos (Humedales de flujo superficial HFL, humedales de flujo subsuperficial HSS).

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 y gabinete se ha llegado a obtener los siguientes resultados:

Gozanamá, nos ha llevado a obtener que la composición del agua residual en un 95% constituye agua



residual doméstica. Los cuadros de las concentraciones de cada parámetro analizado los podrá encontrar en el documento de tesis.

- La relación DBO_5/DQO es de 2.2, lo que indica que el agua residual de la ciudad de Gonzanamá es biodegradable, apta para ser tratada por tecnologías naturales de depuración.
- El tipo de suelo de la zona de estudio es generalmente de textura fina correspondiente a un suelo arcilloso de baja permeabilidad. En cuanto a su composición química se ha establecido que el suelo es ligeramente ácido, 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 abril, registrándose una precipitación media de 218.7 mm. La época seca se presenta de mayo a septiembre con muy poca incidencia de lluvia. Por otra parte la temperatura ambiente se encuentra en un rango de 16 °C a 18 °C y la dirección preponderante del viento fluye con mayor incidencia en la dirección este y noreste.
- Basados en criterios de selección desarrollados por investigadores del campo del tratamiento de aguas residuales y los datos recopilados en la ciudad de Gonzanamá, se ha seleccionado la tecnología de Humedales de flujo superficial 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, vertedero de excesos, canal de desbaste, canal desarenador, desengrasador y un distribuidor de caudales hacia los humedales, 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 biológico a través de un humedal de flujo superficial constituido por 4 balsas donde se produce la remoción de DBO_5 de 60% al 81%, nitrógeno total > 80% y patógenos 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/geologia_ygeotecnia/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/academicas/catedras/resProblemasAmb/Unidad6/Fundamentos_de_evaluaci%F3n_de_IA.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. Oñate Valdivieso Fernando. Apuntes de Hidrología. Facultad de Ingeniería Civil de la UTPL.
17. OPS/OMS y CENAGUA .(1999). Estudios técnicos de sustitución aplicables al saneamiento de aguas servidas de pequeñas comunidades. Sistemas de tratamiento de aguas servidas por medio de humedales artificiales. Santa Fe de Bogotá. Colombia.
18. 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.
19. Romero Rojas Jairo Alberto. (2000). Tratamiento de aguas residuales. teoría y principios de diseño. Primera edición. Santafé de Bogotá: Editorial escuela colombiana de ingeniería.
20. Seoáñez Calvo Mariano. (2004). Depuración de las aguas residuales por tecnologías ecológicas de bajo costo. Madrid. España: Mundi-Prensa.
21. Sérgio Rolim Mendonca (2000). Sistemas de lagunas de estabilización. Cómo utilizar aguas residuales tratadas en sistemas de regadío. Bogotá: Editorial Nomos S.A.
22. Veenstra S., Alaerts J., Bijlsma M. Selección de tecnologías. Capítulo 3. Recuperado en junio de 2009 de <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsacd/scan/033446/033446-03.pdf>.
23. Villón Béjar Máximo. (2002). Hidrología. Instituto tecnológico de Costa Rica. Segunda Edición. Editorial Villón.
24. Zambrano Xavier y Saltos Xavier. (2004). Diseño del Sistema de Tratamiento para la Depuración de las Aguas Residuales Domésticas de la Población San Eloy en la Provincia de Manabí por medio de un Sistema de Tratamiento Natural compuesto por un Humedal Artificial de Flujo Libre. Tesis ESPOL. Recuperado en julio de 2009 de [http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/6032???help.index???](http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/6032???help.index???.).

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 2000 HABITANTES EN LA CIUDAD DE GONZANAMÁ”**, fue elaborada por los Egresados Lorena Elizabeth Bermeo Castillo y Jorge Luis Santín Torres 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 de 2010

Ing. Mónica Cisneros Abad
DIRECTORA DE TESIS

CESIÓN DE DERECHOS DE TESIS

Lorena Elizabeth Bermeo Castillo y Jorge Luis Santín Torres declaramos ser autores del presente trabajo y exoneramos 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".

LORENA E. BERMEO CASTILLO

JORGE L. SANTÍN TORRES

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 2000 HABITANTES EN LA CIUDAD DE GONZANAMÁ”**, 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.

LORENA E. BERMEO CASTILLO

JORGE L. SANTÍN TORRES

AGRADECIMIENTO

Nuestro especial agradecimiento por el apoyo brindado:

Primeramente a Dios, por regalarnos el don de la inteligencia y la sabiduría para enfrentar los obstáculos presentados durante nuestra vida universitaria.

A nuestros queridos padres y hermanos por el cariño y confianza brindado en todo momento, pero sobre todo por estar cada uno a su manera, respaldándonos para alcanzar nuestros objetivos.

A La Universidad Técnica Particular de Loja, Escuela de Ingeniería Civil, a sus dignas autoridades administrativas y académicas, quienes nos han permitido formarnos en los ámbitos: intelectual, espiritual y personal para llegar a ser profesionales que sirvan a la sociedad.

A la Ing. Mónica Cisneros Abad, por su don de gente y por haber confiado en nosotros proporcionándonos su apoyo para la exitosa culminación de esta tesis.

Al laboratorio de IQA de la Universidad Técnica Particular de Loja, de manera especial al Ing. Celso Romero e Ing. Silvio Aguilar por compartir con nosotros sus conocimientos y guiarnos en las actividades que ahí se ha realizado durante este proceso.

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

A todos nuestros amigos y personas cuyo afecto y cariño han sido un respaldo y apoyo durante toda nuestra vida universitaria.

LOS AUTORES

DEDICATORIA

De manera especial a mis queridos padres Braulio y América por el esfuerzo espiritual, moral y económico que han realizado durante toda mi vida académica; a mis Hermanos, mis Abuelitos, mis grandes amigos, ya que sin su apoyo y cariño no se habría podido cristalizar esta etapa tan significativa para mi vida. A todos y cada uno de ustedes mi gratitud infinita.

LORENA ELIZABETH BERMEO CASTILLO

Dedico este trabajo a mis queridos padres Jorge Santín y Faviola Torres por el inconmensurable apoyo que me brindaron en el transcurso de mi carrera, a mis hermanos y familiares que estuvieron a mi lado para animarme a seguir adelante. Mi gratitud infinita a todos ustedes por ser parte de lo que ahora he logrado.

JORGE LUIS SANTÍN TORRES

ÍNDICE

CONTENIDO

Certificación.....	i
Cesión de derechos de tesis.....	ii
Autoría.....	iii
Agradecimiento.....	iv
Dedicatoria.....	v
Índice.....	vi

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES

1.1.Introducción	1
1.2.Descripción de la zona de estudio	2
1.3.Estudio socio económico sanitario	2
1.3.1. Cálculo del tamaño de la muestra	2
1.3.2. Resultados de las encuestas	3
1.4.Aguas residuales urbanas (ARU): Características y composición.....	7
1.4.1. Descripción.....	7
1.4.2. Características y composición.....	7
1.4.2.1.Características físico-químicas.....	7
1.4.2.2.Pesticidas clorados y pesticidas organoclorados	14
1.4.2.3.Características bacteriológicas.....	15
1.5.El suelo: Características y composición.....	15
1.5.1. Características físicas del suelo.....	15
1.5.2. Características químicas del suelo.....	18
1.5.3. Características hidráulicas del suelo.....	21
1.6.Características climatológicas.....	23
1.6.1. Recopilación de la información.....	24
1.6.2. Precipitación.....	25
1.6.3. Temperatura.....	25
1.6.4. Evapotranspiración.....	25
1.6.5. Viento.....	26
1.7.Tratamientos naturales de aguas residuales sobre el terreno.....	27
1.7.1. Infiltración rápida (IR).....	27
1.7.2. Infiltración lenta (IL).....	28
1.7.3. Escorrentía superficial (ES).....	28
1.7.4. Humedales	29
1.8.Consideraciones ambientales.....	30
1.9.Criterios de selección de la tecnología para tratamiento de aguas residuales.....	31

CAPÍTULO 2: CARACTERIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES

2.1.Introducción.....	32
2.2.Muestreo de aguas.....	32
2.2.1. Programa de muestreo de agua residual.....	32
2.2.2. Toma de muestras.....	33
2.2.3. Aforo de aguas residuales.....	35
2.2.4. Medición de la Temperatura en las muestra.....	37
2.2.5. Análisis de Laboratorio.....	38
2.2.6. Análisis y discusión de resultados.....	40
2.2.7. Medida de la biodegradabilidad.....	49

CAPÍTULO 3: CARACTERIZACIÓN FÍSICA, QUÍMICA E HIDRÁULICA DEL SUELO

3.1.	Muestreo de suelos.....	51
3.1.1.	Toma de muestras para ensayos físicos.....	51
3.1.2.	Toma de muestras para ensayos químicos.....	52
3.2.	Análisis de laboratorio y ensayos in-situ.....	53
3.3.	Resultados y discusión.....	54
3.3.1.	Caracterización física del suelo.....	54
3.3.2.	Caracterización química del suelo.....	55
3.3.3.	Caracterización hidráulica del suelo.....	57

CAPITULO 4: ESTUDIO HIDROLÓGICO DE LA ZONA

4.1.	Precipitación.....	61
4.2.	Temperatura.....	62
4.3.	Climograma de la ciudad de Gonzanamá.....	63
4.4.	Viento.....	64
4.5.	Evapotranspiración.....	65
4.6.	Balance Hídrico.....	66

CAPITULO 5: SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

5.1.	Alternativas de tratamiento	68
5.2.	Criterios considerados en la selección de la tecnología de tratamiento.....	68
5.3.	Selección de la tecnología.....	71
5.3.1.	Matrices de selección.....	71
5.3.2.	Valoración de las matrices de selección.....	73
5.3.3.	Matrices de selección final.....	74

CAPITULO 6: DISEÑO DEL SISTEMA DEPURADOR DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DEL CANTÓN GÓNZANAMÁ

6.1.	Descripción del tratamiento.....	77
6.2.	Determinación de la población futura.....	78
6.3.	Caudales de diseño.....	78
6.4.	Dimensionamiento de la depuradora.....	80
6.4.1.	Canal de entrada.....	80
6.4.2.	Aliviadero de entrada.....	82
6.4.3.	Paso del caudal al desbaste.....	83
6.4.4.	Dimensionamiento del canal de desbaste y rejilla.....	84
6.4.5.	Dimensionamiento del desarenador.....	87
6.4.6.	Dimensionamiento del desengrasador.....	89
6.4.7.	Diseño hidráulico y dimensionamiento de los humedales de flujo superficial.....	90
6.4.8.	Selección de la vegetación.....	94
6.5.	Manual de operación y mantenimiento.....	95
6.5.1.	Unidades de pretratamiento.....	95
6.5.2.	Humedales de flujo superficial.....	97
6.5.3.	Operador de la planta de tratamiento.....	99
6.5.4.	Equipos de trabajo.....	100
6.5.5.	Toma de muestras para la evaluación del efluente.....	101

CAPITULO 7: ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

7.1.	Introducción.....	102
7.2.	Metodología.....	102
7.3.	Marco Legal.....	103
7.4.	Descripción del proyecto.....	103
7.5.	Caracterización del área de influencia.....	104
7.5.1.	Medio físico.....	104
7.5.2.	Medio biótico.....	105
7.5.3.	Medio social y económico de la región.....	106
7.6.	Caracterización, identificación y predicción de los impactos de la alternativa seleccionada... 107	
7.6.1.	Características del método.....	107
7.6.2.	Identificación de acciones y factores ambientales que afectan en la construcción del proye 111	
7.6.3.	Identificación de acciones y factores ambientales que afectan en la etapa de operación y n 113	
7.7.	Matriz de identificación y valoración de impactos ambientales.....	115
7.8.	Medidas de mitigación.....	118
7.8.1.	Medidas de mitigación durante la construcción.....	118
7.8.2.	Medidas de mitigación durante la etapa de operación y mantenimiento.....	118
7.9.	Comparación ambiental de las alternativas.....	119
7.9.1.	Alternativa sin proyecto.....	119
7.9.2.	Alternativa con proyecto.....	119

CAPÍTULO 8: PRESUPUESTO DEL PROYECTO

8.1.	Análisis de precios unitarios.....	120
8.2.	Presupuesto total de construcción.....	120
8.3.	Costos de operación y mantenimiento.....	120
8.4.	Tabla de presupuesto total de la obra.....	120
8.5.	Tabla de costo referencial de operación y mantenimiento anual de la planta.....	120

CAPÍTULO 9: CONCLUSIONES.....

150

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....

152

ANEXOS

Anexo 1: Tabulación de Encuestas	156
Anexo 2: Resultados de los ensayos físico-químicos y bacteriológicos del agua residual	158
Anexo 3: Resultados de los ensayos físico-químicos e hidráulicos del suelo	160

INDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES

Tabla 1.1. Tabulación de resultados de la encuesta socio económica sanitaria.....	3
Tabla 1.2. Microempresas existentes en la zona de estudio.....	5
Tabla 1.3. Definición para sólidos encontrados en el agua residual.....	8
Tabla 1.4. Estación climatológica ordinaria usada para el estudio.....	24

CAPÍTULO 2: CARACTERIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES

Tabla 2.1. Fechas de muestreo de aguas residuales en la ciudad de Gonzanamá.....	32
Tabla 2.2. Caudales de agua residual en la ciudad de Gonzanamá.....	35
Tabla 2.3. Temperatura del agua residual.....	37
Tabla 2.4. Métodos de ensayo de los parámetros de caracterización de las aguas residuales.....	38
Tabla 2.5. Composición físico-química y bacteriológica del agua residual.....	41
Tabla 2.6. Biodegradabilidad del agua residual.....	50

CAPÍTULO 3: CARACTERIZACIÓN FÍSICA, QUÍMICA E HIDRÁULICA DEL SUELO

Tabla 3.1. Datos de inspección visual in situ de los estratos del terreno.....	52
Tabla 3.2. Normas de ensayos y métodos para caracterización del suelo.....	53
Tabla 3.3. Caracterización física del suelo.....	54
Tabla 3.4. Resultados de ensayos químicos del suelo.....	56
Tabla 3.5. Interpretación de los rangos de pH y conductividad eléctrica del suelo.....	56
Tabla 3.6. Rangos de concentraciones de los componentes químicos del suelo.....	56
Tabla 3.7. Interpretación de los rangos de capacidad de intercambio catiónico del suelo.....	57
Tabla 3.8. Caracterización química del suelo.....	57
Tabla 3.9. Valores de K en cm/s para distintos tipos de suelo.....	59
Tabla 3.10. Permeabilidad del suelo a 20 grados centígrados.....	59

CAPÍTULO 4: ESTUDIO HIDROLÓGICO DE LA ZONA

Tabla 4.1. Precipitación media mensual en la ciudad de Gonzanamá.....	61
Tabla 4.2. Temperaturas medias mensuales en la ciudad de Gonzanamá.....	62
Tabla 4.3. Velocidad media mensual del viento en la ciudad de Gonzanamá.....	64
Tabla 4.4. Cálculo de la evapotranspiración mensual en la ciudad de Gonzanamá.....	65
Tabla 4.5. Cálculo del balance hídrico del suelo en la ciudad de Gonzanamá.....	66

CAPÍTULO 5: SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

Tabla 5.1. Factores demográficos.....	69
Tabla 5.2. Características del terreno.....	69
Tabla 5.3. Características del suelo.....	69
Tabla 5.4. Objetivos del tratamiento.....	69
Tabla 5.5. Factores climáticos.....	69
Tabla 5.6. Características del agua residual de la ciudad de Gonzanamá.....	69
Tabla 5.7. Composición del agua residual de la ciudad de Gonzanamá.....	70
Tabla 5.8. Disponibilidad de recursos.....	70
Tabla 5.9. Aspectos tecnológicos.....	70
Tabla 5.10. Costos.....	71
Tabla 5.11. Matriz de factores demográficos.....	71
Tabla 5.12. Matriz de características del terreno.....	71
Tabla 5.13. Matriz de características del suelo.....	72
Tabla 5.14. Matriz de características del agua residual.....	72
Tabla 5.15. Matriz de remoción de contaminantes.....	72
Tabla 5.16. Matriz de facilidad de operación y mantenimiento.....	72
Tabla 5.17. Matriz de costos.....	73
Tabla 5.18. Matriz de impacto ambiental.....	73
Tabla 5.19. Puntuación de las variables.....	73
Tabla 5.20. Matriz de selección final.....	75
Tabla 5.21. Comparación entre HFL y HSS.....	76

CAPITULO 6: DISEÑO DEL SISTEMA DEPURADOR DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DEL CANTÓN GÓNZANAMÁ

Tabla 6.1. Caudales de diseño.....	80
Tabla 6.2. Dimensiones del canal de entrada.....	82
Tabla 6.3. Valores de β según Kirshmer.....	85
Tabla 6.4. Dimensiones de las rejillas.....	86
Tabla 6.5. Dimensiones del desarenador.....	89
Tabla 6.6. Dimensiones del desengrasador.....	90
Tabla 6.8. Dimensiones del humedal de flujo superficial (HFL).....	94
Tabla 6.9. Especies emergentes más utilizadas en la depuración de aguas residuales.....	94
Tabla 6.10. Actividades de operación y mantenimiento de las unidades de pretratamiento.....	97
Tabla 6.11. Actividades de operación y mantenimiento del sistema HFL.....	99

CAPITULO 7: ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Tabla 7.1. Evaluación ecológica rápida de la flora	106
Tabla 7.2. Valoración de magnitud e importancia de la matriz de Leopold.....	110
Tabla 7.3 Cuadro de evaluación de impactos de acuerdo a la metodología de Leopold	116
Tabla 7.4. Resumen de afectaciones por actividades	116
Tabla 7.5. Resumen de afectaciones por componente ambiental	117

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES

Figura 1.1. Ubicación de Gonzanamá en la provincia de Loja.....	2
Figura 1.2. Diagrama de las clases texturales básicas del suelo según el tamaño de las partículas ..	17
Figura 1.3. Diagrama del permeámetro de carga variable.....	21
Figura 1.4. Ensayo de Lefranc.....	22

CAPÍTULO 2: CARACTERIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES

Figura 2.1. Punto de muestreo de aguas residuales.....	33
Figura 2.2. Toma de muestras de aguas residuales para ensayos físico-químicos	34
Figura 2.3. Evolución del caudal de aguas residuales.....	36
Figura 2.4. Aforo de aguas residuales.....	36
Figura 2.5. Evolución de la temperatura en las muestras de agua residual.....	37
Figura 2.6. Medición de la temperatura en las muestras de agua residual.....	38
Figura 2.7. Determinación de fósforo orgánico e inorgánico.....	40
Figura 2.8. Ensayo de DQO.....	40
Figura 2.9. Evolución del pH en el agua residual.....	43
Figura 2.10. Evolución de la alcalinidad en el agua residual.....	43
Figura 2.11. Evolución de los sólidos en suspensión del agua residual.....	43
Figura 2.12. Evolución de los sólidos totales en el agua residual.....	43
Figura 2.13. Evolución del nitrógeno amoniacal en el agua residual.....	44
Figura 2.14. Evolución del nitrógeno orgánico en el agua residual.....	44
Figura 2.15. Evolución de nitratos en el agua residual	44
Figura 2.16. Evolución de nitritos en el agua residual.....	44
Figura 2.17. Evolución del fósforo orgánico en el agua residual.....	45
Figura 2.18. Evolución del fósforo inorgánico en el agua residual.....	45
Figura 2.19. Evolución de cloruros en el agua residual.....	46
Figura 2.20. Evolución de grasas en el agua residual.....	46

Figura 2.21. Evolución del carbono orgánico en el agua residual.....	46
Figura 2.22. Evolución de la DBO en el agua residual.....	47
Figura 2.23. Evolución de la DQO en el agua residual.....	47
Figura 2.24. Coliformes totales en el agua residual.....	47
Figura 2.25. Coliformes fecales en el agua residual.....	47
Figura 2.26. Echericha Coli.....	48
Figura 2.27. Evolución del hierro en el agua residual.....	48
Figura 2.28. Evolución del plomo en el agua residual.....	48
Figura 2.29. Evolución del manganeso en el agua residual.....	49
Figura 2.30. Evolución del plomo en el agua residual.....	49

CAPÍTULO 3: CARACTERIZACIÓN FÍSICA, QUÍMICA E HIDRÁULICA DEL SUELO

Figura 3.1. Toma de muestras de ensayos físicos del suelo.....	52
Figura 3.2. Muestra inalterada de suelo.....	53
Figura 3.3. Ensayo de textura del suelo.....	54
Figura 3.4. Perfil estratigráfico del suelo.....	55

CAPITULO 4: ESTUDIO HIDROLÓGICO DE LA ZONA

Figura 4.1. Variación de la precipitación con respecto al tiempo.....	62
Figura 4.2. Variación de la temperatura con respecto al tiempo.....	63
Figura 4.3. Climograma de la ciudad de Gonzanamá.....	63
Figura 4.4. Variación de la velocidad del viento con respecto al tiempo.....	64
Figura 4.6. Ficha hídrica del cantón Gonzanamá.....	67

CAPITULO 6: DISEÑO DEL SISTEMA DEPURADOR DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DEL CANTÓN GÓNZANAMÁ

Figura 6.1. Esquema del humedal de flujo libre.....	77
---	----

INDICE DE ECUACIONES

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES

Ecuación 1.1. Cálculo del tamaño de la muestra.....	2
Ecuación 1.2. Capacidad de infiltración por el método de carga variable.....	22
Ecuación 1.3. Conductividad hidráulica por el método de Lefranc.....	23
Ecuación 1.4. Relleno de datos para precipitación.....	25
Ecuación 1.5. Evapotranspiración mensual.....	26
Ecuación 1.6. Coeficiente de evapotranspiración.....	26
Ecuación 1.6. Coeficiente del calor para evapotranspiración.....	26

CAPÍTULO 2: CARACTERIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES

Ecuación 2.1. Medida de la biodegradabilidad.....	50
---	----

CAPÍTULO 3: CARACTERIZACIÓN FÍSICA, QUÍMICA E HIDRÁULICA DEL SUELO

Ecuación 3.1. Coeficiente de permeabilidad K.....	58
---	----

CAPITULO 6: DISEÑO DEL SISTEMA DEPURADOR DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DEL CANTÓN GÓNZANAMÁ

Ecuación 6.1. Método EX-IEOS para el cálculo de población futura.....	78
Ecuación 6.2. Método Geométrico.....	78
Ecuación 6.3. Método Logarítmico.....	78
Ecuación 6.4. Caudal de aguas residuales domésticas.....	78
Ecuación 6.5. Caudal de aguas ilícitas.....	79
Ecuación 6.6. Caudal por infiltraciones.....	79
Ecuación 6.7. Caudal medio diario.....	79
Ecuación 6.8. Factor de mayoración de Flores.....	79
Ecuación 6.9. Caudal máximo horario.....	79
Ecuación 6.10. Coeficiente de Manning.....	80
Ecuación 6.11. Tirante de agua.....	81
Ecuación 6.12. Velocidad de Manning.....	81
Ecuación 6.13. Caudal para el aliviadero.....	82
Ecuación 6.14. Ecuación para determinar la altura del aliviadero.....	82
Ecuación 6.15. Ecuación de velocidad para orificio sumergido.....	83
Ecuación 6.16. Ecuación de continuidad remplazando la ecuación de velocidad.....	83
Ecuación 6.17. Ecuación del área de una circunferencia para determinar el diámetro de la tubería.....	83
Ecuación 6.18. Ancho del canal en la zona de reja.....	84
Ecuación 6.19. Número de barras en la reja.....	84
Ecuación 6.20. Perdidas de carga en la reja.....	86
Ecuación 6.21. Longitud del canal antes de la reja.....	86
Ecuación 6.22. Volumen de agua que pasa por el desarenador.....	88
Ecuación 6.23. Volumen de arena.....	88
Ecuación 6.24. Longitud del desarenador.....	88
Ecuación 6.25. Volumen útil del desarenador.....	88
Ecuación 6.26. Periodo de retención.....	88
Ecuación 6.27. Área del desengrasador.....	89
Ecuación 6.28. Volumen del desengrasador.....	89
Ecuación 6.29. Coeficiente de temperatura a 25 grados para remoción de DBO.....	90
Ecuación 6.30. Área superficial requerida para eliminar DBO.....	91
Ecuación 6.31. Tiempo de retención hidráulica.....	91
Ecuación 6.32. Determinación de la carga hidráulica.....	91
Ecuación 6.33. Concentración de sólidos totales	91
Ecuación 6.34. Coeficiente de temperatura a 25 grados para remoción de Nitrógeno.....	92
Ecuación 6.35. Concentración de nitrógeno en el efluente.....	92
Ecuación 6.36. Área para la remoción de fósforo.....	93



CAPÍTULO

1

GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la población ha traído consigo un problema de contaminación ocasionado por el vertimiento de las aguas residuales sin tratamiento. Por tanto, es prioritario generar proyectos para atenuar esta problemática, garantizando la descontaminación ambiental y la salud pública.

Actualmente existen numerosas alternativas de tratamiento de aguas residuales, sin embargo, la deficiente operación y mantenimiento y su baja adaptación al medio han ocasionado que estas fracasen y sean abandonadas, repercutiendo en grandes pérdidas para los municipios, juntas parroquiales, etc. Por tanto, el tratamiento de aguas residuales por métodos naturales se presenta como una opción sostenible para las pequeñas y medianas poblaciones dada su alta eficiencia, bajos costos de operación y mantenimiento, facilidad de construcción, comparado con los sistemas convencionales.

El presente trabajo contribuye de alguna manera a reducir la contaminación por aguas residuales mal tratadas en el cantón Gonzanamá, a través de la búsqueda de una tecnología que sea relativamente económica pero no menos eficiente que los sistemas convencionales, sin consumir las grandes cantidades de energía de los sistemas aeróbicos modernos y por ende colaborando con la preservación del medio ambiente sin afectar el calentamiento global. Para este fin se seleccionará y diseñará la tecnología más adecuada utilizando sistemas naturales con énfasis en los aspectos tecnológicos, considerando un tratamiento primario, previo al diseño propuesto, con el fin de optimizar la remoción de contaminantes.

En este estudio se identifican los principales factores, variables e indicadores de selección de la tecnología para los sistemas de tratamiento naturales. Dentro de los aspectos que permitirán determinar las características de diseño y eficacia de un sistema de tratamiento de aguas residuales se investigarán las siguientes variables: Características físicas, químicas y bacteriológicas del agua residual, características climatológicas (termo-pluviometría, viento, evapotranspiración) de la zona donde se ubicarán las instalaciones, características físico-químicas e hidráulicas del suelo que constituye el lecho filtrante y consideraciones ambientales en general. Todo esto a través de la investigación de campo, laboratorio y recopilación de experiencia de otros autores, análisis y discusión de resultados.



1.2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio se centra en la ciudad de Gonzanamá. Esta población es uno de los 16 cantones que conforman la provincia de Loja (Fig. 1.1). La ciudad de Gonzanamá se encuentra ubicada a 85 km de la capital provincial. Este cantón es considerado como la “Capital Agrícola, Ganadera y Artesanal de la Provincia de Loja. La población actual urbana de la ciudad de Gonzanamá es de 1960 habitantes calculada mediante proyecciones en función del censo del 2001 aplicado por el INEC con un índice de crecimiento anual del 1%. Su superficie es de 697 km², registrando en la cabecera cantonal una altura de 2040 m.s.n.m. El clima de la ciudad de Gonzanamá es templado, y la mayor parte del año tiene la presencia del Sol. La temperatura oscila entre los 16 a 20 grados centígrados (°C).



Fig. 1.1 Ubicación de Gonzanamá en la Prov. Loja; Fuente: INEC- Fascículos cantonales

1.3. ESTUDIO SOCIO ECONÓMICO SANITARIO

1.3.1. Cálculo del tamaño de la muestra

La ejecución de estudio socio-económico-sanitario lleva implícito la determinación del tamaño de la muestra, la misma que permitirá conocer el número de encuestas necesarias para estimar los parámetros a investigar en nuestra zona de estudio.

El tamaño de la muestra se calcula estadísticamente utilizando la fórmula para una población finita, citada por Pita Fernández (2001):

$$n = \frac{Z^2 \cdot P \cdot Q \cdot N}{\epsilon^2 (N - 1) + Z^2 \cdot P \cdot Q} \quad \text{(Ecuación 1.1)}$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra (1960 hab)



Z = Nivel de confianza con que se realiza la investigación (Regularmente se utiliza 1.96)

P = Probabilidad de ocurrencia (0.5)

Q = Probabilidad de ser escogido (0.5)

N = Población total

ϵ = Margen de error (Se asume el 5 %)

$$n = \frac{1.96^2 (0.5)(0.5)(1960)}{(0.05)^2 (1960-1) + (1.96)^2 (0.5)(0.5)} = 321 \text{ encuestas}$$

Por lo tanto, para el estudio se ha procedido a realizar 321 encuestas en forma aleatoria.

1.3.2. Resultado de las encuestas

En la tabla 1.1 se presenta un resumen de la tabulación efectuada a las encuestas aplicadas en la zona de estudio, obteniéndose resultados de nivel educativo, servicios básicos (agua potable, cobertura de alcantarillado, tipo de alcantarillado, energía eléctrica, centro de salud), actividad económica, industrias existentes, abastecimiento, eliminación de aguas, disposición de desechos sólidos, microempresas, etc. La tabulación detallada la podrá encontrar en el Anexo 1.

Tabla 1.1 Tabulación de Resultados de la Encuesta Socio Económica Sanitaria

RESULTADO DE LA ENCUESTA SOCIO-ECONÓMICA-SANITARIA		
Nro.	DESCRIPCIÓN	TOTALES
1	Número de Habitantes	1960
2	Número de personas promedio por familia	5
3	Alfabetos	315
4	Analfabetos	6
5	Número de personas con vivienda propia	259
6	Número de personas que alquilan	46
7	Número de casas en Construcción	16
8	Número de personas que trabajan	321



Nro.	DESCRIPCIÓN	TOTALES	
9	ACTIVIDAD ECONÓMICA	Agrícola	73
10		Ganadera	97
11		Obrero	18
12		Empleado público/privado	36
13		Profesor	24
14		Chofer	5
15		Estudiante	36
16		Comerciante	17
17		Otra actividad	15
18		INGRESO PROMEDIO MENSUAL	Menor a 150 dólares
19	De 150 a 300 dólares		75
20	De 300 a 450 dólares		35
21	Mayor a 450 dólares		60
22	No contestaron		128
23	SERVICIOS BÁSICOS	Energía Eléctrica	321
24		Alcantarillado Combinado	218
25		Alcantarillado Separado	39
26		Alcantarillado Mixto	3
27		No tiene alcantarillado	0
28		Camal sin tratamiento	304
29		Centro y/o Sub-centro de Salud	313
30		Mercado	321
31		Gasolinera	321
32		ABASTECIMIENTO DE AGUA	Tratada
33	No tratada		0
34	Tiene Red pública de agua Potable		321
35	Tiene Conexión Domiciliaria		321
36	ELIMINACIÓN DE AGUAS	Huerto	20
38		Patio	31
39		Alcantarillado	270
40		Letrina	10
41		Alcantarillado	311
42	DISPOSICIÓN DE LA BASURA ORGÁNICA	Bota Huerto	29
43		Utiliza para abono	35
44		Recolector de basura	257
45	DISPOSICIÓN DE LA BASURA INORGÁNICA	Entierra	4
46		Quema	10
47		Recolector de basura	307



Nro.	DESCRIPCIÓN	TOTALES	
48	ANIMALES DOMÉSTICOS	En corral	118
49		Libres	142
50	ELIMINACIÓN DE ESTIERCOL	Acumula cerca de casa	5
51		Bota al terreno y tapa	17
52		Bota al terreno y no tapa	110
53		Otros (Recolector de basura)	128

Fuente: Encuesta Investigativa
Elaboración: Los autores
Fecha de aplicación: Mayo y Julio de 2009

Tabla 1.2 Microempresas existentes en la zona de estudio.

Nro.	DESCRIPCIÓN	TOTALES	
23	MICROEMPRESAS	Elaboración artesanal de productos lácteos (quesos).	15
24		Estación de cambio de aceites a vehículos	2
26		Cerrajería	1
27		Panaderías	10
28		Vulcanizadora	2
29		Sastrería	2
30		Bloqueras	1

a. Educación

El porcentaje de alfabetismo de la población urbana de Gonzanamá es de 98% según las encuestas realizadas en el presente.

b. Vivienda

De las encuestas aplicadas se determina que el 81% de la población posee casa propia, el 14% arrienda, y un 5% está construyendo sus casas. Por lo cual se puede concluir que la mayor parte de la población tiene vivienda propia.

c. Actividad económica

Las principales actividades económicas a las que se dedica la población de Gonzanamá son predominantemente la ganadería en un 30% y la agricultura en un 23%. Otro 11% de la población económicamente activa se dedica a trabajos formales en calidad de empleados públicos o privados. Apenas el 11% corresponde a estudiantes, el 8% corresponde a profesores. Otras actividades informales a las que se dedican los



habitantes en trabajos informales son: 6% obreros y jornaleros, 5% al comercio y otro 5% a otras actividades.

d. Servicios básicos

En cuanto a los servicios básicos que tiene la población se determina que el 80% tiene agua potable, alcantarillado y energía eléctrica. Otros servicios públicos con los que cuenta la ciudadanía son: recolección de basura, Sub-centro de Salud, gasolinera y camal.

e. Abastecimiento de agua

Según la encuesta realizada el 100% de la población es abastecida de agua potable mediante una conexión domiciliar a la red pública, cabe señalar que el líquido vital del que se sirven los pobladores de Gonzanamá es tratada.

f. Disposición de las aguas servidas

En cuanto al servicio de Alcantarillado, se obtuvo que el 100% de la población tiene alcantarillado, de los cuales: el 68% disponen de un sistema de alcantarillado combinado, el 12% de alcantarillado separado y un 19% no tiene conocimiento del tipo de alcantarillado que tienen.

g. Disposición de los desechos sólidos

En cuanto a la disposición de la basura orgánica el 80% de las personas encuestadas la clasifica en un recipiente de color verde para que sea recolectada. Un 9% la bota a sus huertos y un 11% la utiliza para la elaboración de abono.

De los pobladores encuestados de la ciudad de Gonzanamá: un 98% clasifican la basura inorgánica para que sea recogida por el recolector. Un 2% la quema y solo un 1% la entierra. Por tanto la disposición de este tipo de desechos se maneja de forma organizada por el municipio del cantón.

h. Microempresas

Los datos recolectados durante la encuesta efectuada, revelan que no existen industrias en la zona urbana, solo pequeñas microempresas que se dedican a la fabricación artesanal de productos lácteos, también 10 panaderías, una estación donde



se cambian aceites a los vehículos, 2 vulcanizadoras, una cerrajería donde se elaboran ventanas y otras pequeñas estructuras de hierro y 2 sastrerías.

1.4. AGUAS RESIDUALES URBANAS (ARU): CARACTERÍSTICAS, Y COMPOSICIÓN

1.4.1 Descripción

Las aguas residuales urbanas son aquellas que se han canalizado en los núcleos urbanos, que se han utilizado en usos domésticos (inodoros, fregaderos, lavadoras, lavabos, baños) (Seoánez C., 2004). Además pueden contener residuos provenientes de los arrastres que las aguas de lluvias y actividades industriales urbanas.

1.4.2 Características y composición

La composición de las ARU presenta un margen de variación entre diferentes poblaciones ya que, además, de las influencias de origen doméstico, industrial y pluvial, los usos públicos del agua varían en función de la naturaleza de la población. Por tanto, la composición de las aguas residuales se refiere a los constituyentes físicos, químicos y biológicos que se encuentran en el agua residual, (Metcalf & Eddy, 1996).

En términos generales, la mayor parte de los componentes presentes en las ARU son: materia orgánica, materia inorgánica, microorganismos, nutrientes, metales.

1.4.2.1. Características físico-químicas

Las principales características físicas de un agua residual, son: pH, Sólidos totales, Sólidos disueltos, Sólidos en suspensión, Nitrógeno (Orgánico, amoniacal, nitrato, nitrito), Fósforo (orgánico, inorgánico), Cloruros, Alcalinidad, Grasas, Carbono orgánico Total (COT), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Boro, metales pesados (cadmio, níquel, cromo, cobre, hierro, plomo, mercurio, manganeso, zinc), pesticidas (Organoclorados y Organofosforados).

a. pH

La concentración del ion hidrógeno es un importante parámetro de calidad tanto de las aguas naturales como de las residuales, (Metcalf – Eddy, 1996). Mide la magnitud de



acidez o alcalinidad del agua residual. Es importante mencionar que el intervalo de pH adecuado para la existencia de la mayor parte de la vida biológica es relativamente estrecho, normalmente entre pH 5 y 9.

b. Materia sólida del agua residual

La materia sólida del agua residual está presente tanto en forma disuelta como en suspensión. Además es importante determinar su presencia, ya que determinan el mayor o menor grado de depuración que se obtendría de acuerdo con la eficiencia de las distintas etapas de tratamiento. La clasificación de los diferentes tipos de sólidos identificados se muestra en la tabla 1.3

Tabla 1.3 Definiciones para sólidos encontrados en agua residual*

PRUEBA	DESCRIPCIÓN
Sólidos totales (ST)	Residuo remanente de la muestra que ha sido evaporada y secada a una temperatura específica (103 a 105 °C)
Sólidos volátiles totales (SVT)	Sólidos que pueden ser volatilizados e incinerados cuando los ST son calcinados (500 ± 50 °C)
Sólidos fijos totales (SFT)	Residuo que permanece después de incinerar los ST (500 ± 50 °C)
Sólidos suspendidos totales (SST)	Fracción de ST retenido sobre un filtro con un tamaño de poro específico medido después de que ha sido secado a una temperatura específica.
Sólidos suspendidos volátiles (SSV)	Estos sólidos pueden ser volatilizados e incinerados cuando los SST son calcinados (500 ± 50 °C)
Sólidos suspendidos fijos (SSF)	Residuo remanente después de calcinar SST (500 ± 50 °C)
PRUEBA	DESCRIPCIÓN
Sólidos disueltos totales (SDT)	Sólidos que pasan a través del filtro y luego son evaporados y secados a una temperatura específica.
Sólidos disueltos volátiles (SDV)	Sólidos que pueden ser volatilizados e incinerados cuando los SDT son calcinados (500 ± 50 °C)
Sólidos disueltos fijos (SDF)	Residuo remanente después de calcinar los SDT (500 ± 50 °C)
Sólidos sedimentables	Sólidos suspendidos, expresados como mililitros por litros, que se sedimentan por fuera de la suspensión dentro de un período de tiempo específico.

* Adaptado de Standard Methods (1995).

La concentración de sólidos totales nos indica la cantidad de lodos que se producirán diariamente en condiciones normales. Además indican la turbiedad debido a los sólidos no filtrables. (Metcalf & Eddy, 1996).

Las sustancias obtenidas por filtración o centrifugación y por decantación de una muestra de agua corresponden a la materia en suspensión, mientras que la que no puede separarse por estos métodos y pasa a través del papel filtro se denomina materia



disuelta. La materia en suspensión constituye la contaminación más fácil de eliminar del agua, siendo la sedimentación el principal mecanismo de eliminación.

La concentración de sólidos suspendidos se debe a material causado por partículas flotantes, como trozos de vegetales, animales, basura y aquellas otras que pueden ser perceptibles a simple vista. Esta concentración afecta la DBO y DQO debido a que los sólidos consumen el oxígeno existente. (Metcalf & Eddy, 1996).

c. Nitrógeno

Los elementos nitrógeno son esenciales para el crecimiento de protistas y plantas, razón por la cual reciben el nombre de nutrientes o bioestimulantes. El contenido total de nitrógeno está compuesto por nitrógeno orgánico, amoníaco, nitrito y nitrato. (Metcalf & Eddy, 1996).

d. Nitrógeno inorgánico

También llamado nitrógeno amoniacal, este influye en el pH de las aguas. Gran parte del nitrógeno presente en el agua residual se debe a los compuestos nitrogenados utilizados en la agricultura y en la industria química como por ejemplo el uso de fertilizantes y detergentes. (Metcalf & Eddy, 1996).

El amoníaco se encuentra en el agua residual debido a una degradación incompleta de la materia orgánica. La presencia de este nutriente significa una posible contaminación debido a bacterias, desechos de origen animal, y por tanto puede considerarse como "insegura".

e. Nitrógeno orgánico

El Nitrógeno orgánico contribuye al desarrollo de las bacterias y demás seres acuáticos no deseables. Su presencia en las aguas residuales es aportada a través de las excretas humanas, además se los encuentra en la forma de proteínas, aminoácidos y urea. La presencia de nitrógeno orgánico en las aguas residuales urbanas se debe también a los residuos domésticos formados por proteínas o productos de su degradación: polipéptidos. (Clair Sawyer, 2001).

f. Nitrógeno de nitrito

Es un indicador de contaminantes previo al proceso de estabilización, y rara vez su concentración excede de 1 mg/L en aguas residuales. Los nitritos son de gran



importancia porque son altamente tóxicos para peces y demás seres acuáticos. (Crites Tchobanoglous, 2000).

Los nitritos pueden estar presentes en las aguas, bien por la oxidación del amoníaco o por la reducción de los nitratos. En el primer caso, es casi segura que su presencia se deba a una contaminación reciente, aunque haya desaparecido el amoníaco.

g. Nitrógeno de nitrato

En un agua típicamente urbana no deben existir nitratos y su presencia se debe a la oxidación del nitrógeno amoniacal en presencia de oxígeno, ya que la preponderancia del nitrógeno en forma de nitratos en un agua residual es un fiel indicador de que el residuo se ha estabilizado con respecto a la demanda de oxígeno. (Metcalf & Eddy, 1996).

h. Fósforo

La concentración de fósforo total es comúnmente de 4-15 mg/l en aguas residuales urbanas (Metcalf-Eddy, 1996). El fósforo se puede encontrar en tres formas distintas: fósforo orgánico (especies particuladas), ortofosfatos y polifosfatos (especies disueltas).

El fósforo es un nutriente esencial para el crecimiento de las plantas y microorganismos protistas, por tal razón, al nitrógeno y al fósforo se los llama bioestimuladores.

Este parámetro físico se encuentra en el agua residual urbana principalmente por la materia fecal humana (50-65%), de los vertidos de residuos alimenticios y de los compuestos de fosfato inorgánico contenidos en los detergentes y de los productos de limpieza. El uso de los detergentes como sustituto del jabón ha aumentado en gran medida el contenido de fósforo de las aguas residuales domésticas. (Clair N. Sawyer, 2001).

i. Cloruros

La presencia de cloruros en las aguas residuales urbanas es un parámetro importante. Las heces humanas por ejemplo, suponen unos 6g de cloruros por persona y día. (Metcalf & Eddy, 1996). En lugares donde la dureza del agua es alta, los compuestos usados para reducir la dureza son fuentes de origen de cloruros.



j. Alcalinidad

La alcalinidad del agua se define como su capacidad para neutralizar ácidos (Standard Methods, 1995). En aguas residuales la alcalinidad se debe a la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos como calcio, magnesio, sodio, potasio o de ion amonio. La alcalinidad es un parámetro esencial de la calidad de un agua y está relacionada con los procesos de nitrificación y desnitrificación (Escaler, 1997, citado por Barajas López, 2002, cap. 4).

k. Grasas

Las grasas son los compuestos orgánicos constituidos principalmente por ácidos grasos de origen animal y vegetal. Es de suma importancia analizar específicamente la presencia de grasas en el agua residual, ya que pueden provocar problemas en determinadas partes del tratamiento provocando: mal olor, formaciones de espuma e inhiben la vida de los microorganismos, además provocan problemas de mantenimiento y pueden obstruir conductos.

Las grasas están siempre presentes en las aguas residuales domésticas debido al uso de manteca, grasas y aceites vegetales en cocinas. Pueden estar presentes como aceites minerales derivados del petróleo, debido a contribuciones no permitidas, como por ejemplo: estaciones de servicio, y son altamente indeseables porque se adhieren a las tuberías provocando su obstrucción.

l. Carbono orgánico total (COT)

El carbono orgánico total es un nutriente necesario para el desarrollo de la flora acuática y por tanto la convivencia o no de su presencia en el vertido va a depender de cuales sean las aplicaciones o los tratamientos que se vayan a hacer. Si su concentración es elevada provocará el crecimiento de algas indeseables. El carbono orgánico está presente especialmente debido al uso de fertilizantes y a residuos de alimentos. (Metcalf & Eddy, 1995).

El COT se usa como medida de su polución y se puede relacionar con la DBO y DQO. La relación entre DBO_5/COT para aguas residuales no tratadas varía de 1.2 a 2 mg/l. (Crites Tchobanoglous, 2000). Esta relación nos ayudará a evaluar la naturaleza orgánica de un agua residual.



m. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

La DBO expresa la cantidad de oxígeno necesaria para biodegradar la materia orgánica (degradación por microorganismos). En la práctica, permite apreciar la carga de agua en materias putrescibles y su poder autodepurador, y de ello se puede deducir la carga máxima aceptable. Este indicador se aplica principalmente en el control del tratamiento primario en las estaciones depuradoras y en evaluar el estado de degradación de los vertidos que tengan carga orgánica. Uno de los ensayos más importantes para determinar la concentración de materia orgánica de aguas residuales es el ensayo de DBO que normalmente se mide en un período de incubación de 5 días (DBO_5) a 20 °C.

n. Demanda química de oxígeno (DQO)

La medida de la DQO es una estimación de las materias oxidables presentes en el agua cualquiera que sea su origen orgánico o mineral (hierro ferroso, nitritos, amoníaco, sulfuros y cloruros). La DQO corresponde al volumen de oxígeno requerido para oxidar la fracción orgánica de una muestra susceptible de oxidación al dicromato o permanganato, en medio ácido. El DQO generalmente es mayor que la DBO.

Es importante recalcar que si la relación entre la DBO_5/DQO es mayor a 0.5, los residuos se consideran fácilmente tratables mediante procesos biológicos. Si la relación DBO_5/DQO es menor a 0.3, el residuo puede contener constituyentes tóxicos.

o. Metales pesados

Los metales pesados son originados por las actividades de tipo industrial y comercial como por ejemplo la metalurgia que es donde se utiliza este tipo de metales. Son de interés en el tratamiento, reutilización y vertimiento de efluentes.

Los metales pesados son, en algunos casos esenciales para el desarrollo y el crecimiento de las plantas y microorganismos, y a determinados niveles estos elementos esenciales se pueden convertir en tóxicos. El Cobre, Plomo, Níquel, Zinc, Mercurio retardan la acción microbiana. En esta forma los compuestos tóxicos en aguas y desechos conducen a resultados alterados de DBO.

Los metales pesados analizados para nuestro estudio son: cobre, cadmio, níquel, cromo, hierro, plomo, mercurio, manganeso, zinc.



Cobre.- El cobre es un metal que ocurre naturalmente en el ambiente. Este metal se usa para fabricar: alambres, cañerías y láminas de metal. El cobre también se combina con otros metales para fabricar cañerías y grifos de latón y bronce.

Los compuestos de cobre son usados comúnmente en la agricultura para tratar enfermedades de las plantas, como el moho, para tratar agua, y como preservativos para alimentos, cueros y telas, además puede ser liberado por la industria minera, actividades agrícolas y de manufactura. (ATSDR, septiembre 2004).

Hierro.- La concentración elevada de hierro puede deberse al arrastre de tierra del lugar, donde se encuentra con mayor frecuencia suelos arcillosos viejos u oxidados; esto se debe a que el hierro se produce al romperse los bordes de los minerales cristalinos de la arcilla. También puede ser que existan lavaderos de minerales, empresas siderúrgicas y otras, (Metcalf & Eddy, 1995).

Plomo.- La mayor parte proviene de actividades como la minería, manufactura industrial y de quemar combustibles fósiles. Se usa en la fabricación de baterías, municiones, productos de metal (soldaduras y cañerías). Debido a inquietudes sobre salud pública, la cantidad de plomo en pinturas y cerámicas y en materiales para recubrir y soldar se ha reducido considerablemente en los últimos años. (ATSDR, agosto 2007).

Mercurio.- El mercurio es altamente tóxico a niveles relativamente bajos y se acumula en los peces. Produce "clorosis" en las plantas, es venenoso para los animales.

Manganeso.- El manganeso puede ser liberado al aire, al suelo y al agua durante la manufactura, uso o disposición de productos a base de manganeso. El manganeso no puede ser degradado en el ambiente. Solamente puede cambiar de forma o adherirse o separarse de partículas. En el agua, tiende a adherirse a partículas o a depositarse en el sedimento. La forma química del manganeso y el tipo de suelo determinan la rapidez con que se moviliza a través del suelo y la cantidad que es retenida en el suelo. (ATSDR, septiembre 2008).

El manganeso ocurre naturalmente en la mayoría de los alimentos y además se puede agregar a algunos alimentos. El manganeso se usa principalmente en la producción de acero para mejorar su dureza, rigidez y solidez. También se puede usar como aditivo en la gasolina para mejorar su octanaje. (ATSDR, septiembre 2008).



Zinc.- Su presencia se debe a que el agua en algunos casos arrastra y lava algunos desechos de la basura como pilas y otros productos contaminantes. (Metcalf & Eddy, 1995). Cierta cantidad de zinc es liberada al ambiente por procesos naturales, pero la mayor parte proviene de actividades humanas tales como la minería, producción de acero, combustión de petróleo e incineración de basura.

El zinc puro es un metal brillante blanco-azulado. Tiene muchos usos comerciales como revestimiento para prevenir corrosión, en compartimientos de baterías secas y, mezclado con otros metales, para fabricar aleaciones como el latón y bronce. El zinc se combina con otros elementos para formar compuestos de zinc. Los compuestos de zinc son ampliamente usados en la industria para fabricar pinturas, caucho, tinturas, preservativos para maderas y ungüentos. (ATSDR, agosto 2005).

1.4.2.2. Pesticidas clorados y pesticidas organoclorados

Los pesticidas son compuestos usados para impedir, destruir, repeler o controlar formas de vida tanto animales como vegetales (J. Romero, 1999). Como pesticidas con se puede designar a los: herbicidas, fungicidas, o insecticidas.

Los pesticidas se pueden clasificar según a la familia química a la que pertenezcan. Las más importantes para nuestro estudio son: Organofosforados Y Organoclorados.

p. Organofosforados

Los pesticidas organofosforados tienden a degradarse rápidamente cuando se exponen a la luz, el aire y el suelo aunque pequeñas cantidades pueden persistir y terminar en la comida y en el agua potable. Su capacidad de degradación hace de estos compuestos una interesante alternativa para los persistentes pesticidas organoclorados. Estos pesticidas tienen una toxicidad mucho más aguda planteando riesgos para los agricultores, los aplicadores de pesticidas y cualquiera que se exponga a cantidades importantes de estos compuestos.

Los organofosforados comúnmente utilizados incluyen: Parathion, Malathion, Methylparathion, Chlorpyrifos, Dichlorvos, Phosmet, Azinphos methyl.

q. Organoclorados

Esta familia química hace referencia a un amplio grupo de compuestos químicos orgánicos que contiene cloro, además de otros elementos químicos. Muchos insecticidas



poderosos y efectivos son compuestos organoclorados. Algunos ejemplos comunes incluyen: DDT, dicofol, heptachlor, endosulfan, chlordane, mirex y pentachlorophenol. Tienen una importante persistencia no sólo en el suelo sino también a nivel de los tejidos humanos. Numerosos compuestos representativos de esta categoría están prohibidos debido a su neurotoxicidad.

1.4.2.3. Características bacteriológicas

Las características biológicas de las aguas residuales son de fundamental importancia en el control de enfermedades causadas por organismos patógenos de origen humano. (Crites Tchobanoglous, 2000). Las bacterias y otros microorganismos cumplen un papel activo dentro de la descomposición y estabilización de la materia orgánica y necesitan nutrientes para su desarrollo, tales como: N, P, K, Mg, Fe, Cl, su ausencia limitaría o alteraría su crecimiento.

Uno de los parámetros más usados para evaluar las características bacteriológicas de un agua residual son los Coliformes Totales que incluyen: Coliformes Fecales + Coliformes de Origen No-fecal. Los coliformes son especies de organismos que indican contaminación por desechos humanos y animales (Metcalf & Eddy, 1996). Es importante mencionar que el grupo Coliformes Fecales están compuestos de varias cepas de bacterias, donde se encuentra el *Escherichia Coli*.

El *ESCHERICHIA COLI* es un organismo parte de la población bacteriana que se encuentra en los intestinos del ser humano y animales, común en heces humanas. (Metcalf & Eddy, 1996). Las especies de *E. Coli* aparentan ser las más representativas de contaminación por origen fecal, por lo que se lo utiliza como un indicador.

1.5. EL SUELO: CARACTERÍSTICAS Y COMPOSICIÓN

Uno de los aspectos fundamentales para seleccionar un tratamiento natural con aplicación directa sobre el terreno, implica realizar un estudio de caracterización físico-química e hidráulica del suelo donde se producen de forma intensa los procesos responsables de la depuración de las aguas residuales.

1.5.1 Características físicas del suelo

Las características físicas del suelo nos permitirán conocer dos aspectos fundamentales la porosidad y la estructura de las cuales dependerá la permeabilidad del



suelo. Los ensayos más adecuados para clasificar el suelo son: los límites de Atterberg, granulometría, textura y estructura.

a. Límites de Atterberg

Llamados también límites de consistencia se utilizan para caracterizar el comportamiento de los suelos finos.

- **Límite líquido:** Es cuando el suelo pasa de un estado semilíquido a un estado plástico y puede moldearse. Para la determinación de este límite se utiliza la cuchara de Casagrande.
- **Límite plástico:** Es cuando el suelo pasa de un estado plástico a un estado semisólido. Este ensayo mide la humedad más baja con la que pueden formarse cilindros de suelo de 3 mm (1/8") de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa, sin que dichos cilindros se desmoronen.

b. Granulometría

La granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado. El método de determinación granulométrico más sencillo es hacer pasar las partículas por una serie de mallas de distintos anchos de entramado (a modo de coladores) que actúen como filtros de los granos que se llama comúnmente columna de tamices. El ensayo de granulometría nos permite determinar el tipo de suelo según una escala granulométrica.

c. Textura

El análisis de la textura aporta información acerca de los factores principales que condicionan el comportamiento del suelo y zona no saturada como transmisor del fluido y depurador. Las fracciones granulométricas finas, especialmente dentro del rango de los limos finos y las arcillas, son las responsables de gran parte de los procesos de depuración y de retención de los sedimentos orgánicos que luego serán descompuestos por la actividad microbológica (Moreno Merino L, et. al, 2000).

Para determinar la clase textural del suelo se ha utilizado el diagrama triangular de textura Fig. 1.2. El equipo utilizado es el hidrómetro, el cual se usa para determinar el porcentaje de partículas de suelos dispersados que permanecen en suspensión en un determinado tiempo. La cantidad de muestra necesaria para limos y arcillas es de 50 a 60 gramos de suelo.

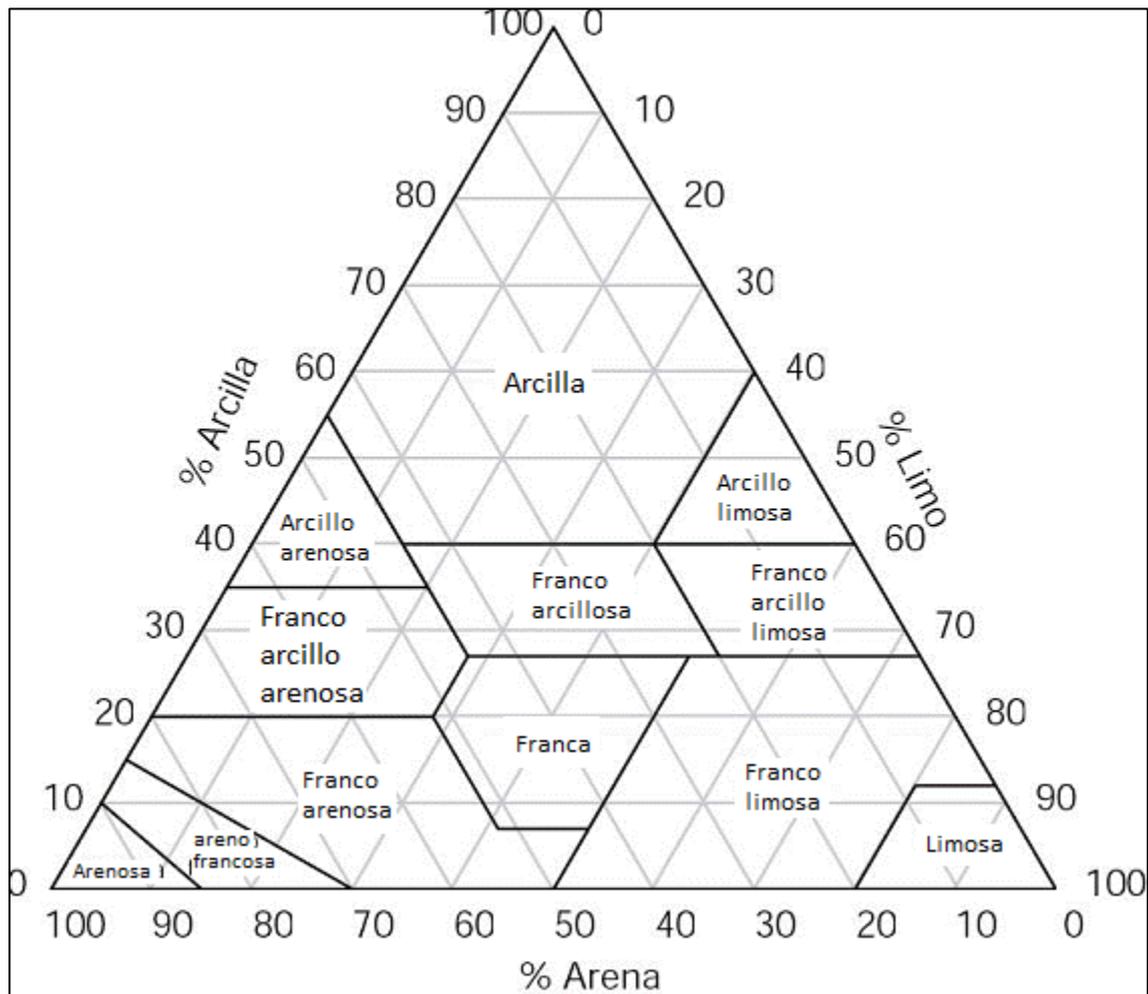


Fig. 1.2 Triángulo textural

d. Estructura

La estructura del suelo se define por la forma en que se agrupan las partículas individuales de arena, limo y arcilla. Cuando las partículas individuales se agrupan, toman el aspecto de partículas mayores y se denominan agregados.

Observar la estructura del suelo es importante, permitiendo establecer la eficiencia de las arcillas en los procesos de infiltración sobre el suelo, ya que las arcillas mal estructuradas disminuyen la capacidad de infiltración del suelo.

La forma estructural del suelo se determina con un examen visual in-situ, observando los estratos y que características de color presentan cada uno de ellos, mediante la excavación de una calicata.



1.5.2 *Características químicas del suelo*

Las características químicas del suelo influyen básicamente en la capacidad de depuración del suelo, así como los mecanismos de retención de ciertos constituyentes.

Los análisis químicos incluyen:

- Capacidad de intercambio catiónico
- pH
- % de materia orgánica
- Nitrógeno total
- Fósforo
- Potasio
- Calcio
- Magnesio
- Hierro
- Manganeseo
- Cobre
- Zinc
- Boro
- Azufre

e. Intercambio catiónico

Todos los suelos presentan cargas negativas en la superficie de sus constituyentes. De acuerdo con el principio de electro-neutralidad, las cargas negativas en la superficie de los coloides son neutralizadas por una cantidad equivalente de cationes en la solución suelo, los que pueden quedar adsorbidos (Alloway, 1995; Silva, 2004).

Esta adsorción de cationes por el suelo, se caracteriza porque el ión es atraído electrostáticamente por las superficies cargadas de la fracción coloidal del suelo, formando complejos llamados esferas externas. La cantidad de iones que pueden ser adsorbidos de forma intercambiable en el suelo se llama capacidad de intercambio catiónico.

f. pH

El pH cumple una de las funciones más relevantes influyendo de forma directa sobre los organismos del suelo, (Seoánez C., 2004). Además, el pH está directamente relacionado con la disponibilidad de nutrientes a través de su conexión al porcentaje de saturación de bases como el Calcio y Magnesio.



En general, el pH más apropiado para que la vegetación tenga nutrientes disponibles, debe ser ligeramente ácido, del orden de 6,4 a 6,7. (Seoánez C., 2004).

El pH del suelo tiene un efecto sobre la biodisponibilidad de la mayoría de los metales pesados al afectar el equilibrio entre: la solubilidad, adsorción e intercambio de iones en el suelo (Kabata Pendias, 2000; Reichman, 2002).

g. Contenido de materia orgánica

La materia orgánica contribuye al crecimiento vegetal mediante sus efectos en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

Dentro de sus propiedades están las siguientes:

- Función nutricional la que sirve como fuente de nitrógeno y fósforo para el desarrollo vegetal.
- Función biológica la que afecta profundamente las actividades de organismos de microflora y microfauna.
- Función física y físico-química la que promueve una buena estructura del suelo, por lo tanto mejorando la aireación y retención de humedad e incrementando la capacidad amortiguadora y de intercambio de los suelos.

h. Nitrógeno

Las pérdidas de nitrógeno en el suelo, además de las debidas al consumo de las plantas y lixiviación de nitratos, pueden producirse por desnitrificación y volatilización. La desnitrificación tiene lugar cuando la aireación es pobre, y por la alta demanda de oxígeno y materia carbonosa residual. La volatilización del amoníaco ocurre con pH alcalinos y cuando hay una considerable aireación o movimiento de aire sobre el suelo.

i. Fósforo

La inmovilización del fósforo está relacionada con los constituyentes minerales del suelo. En suelos ácidos se debe a la formación de compuestos insolubles de hierro y aluminio, mientras que en suelos alcalinos la fijación se debe a compuestos insolubles de calcio.



j. Potasio

La importancia del potasio en el suelo radica fundamentalmente en el cuidado de las plantas, en general el suelo normalmente retiene el potasio y es usado por las plantas para tener más resistencia a las enfermedades.

k. Calcio

El calcio es más común en suelos agrícolas procedentes de las rocas originarias, es un dominante de los cationes donde la mayor o menor cantidad se refleja en el grado de saturación de las arcillas, cuyo indicador es el pH del suelo.

Por lo general es absorbido por las plantas, además es utilizado como parte fundamental en la constitución de las sales en la solución del suelo.

l. Magnesio

El magnesio también es un elemento presente en el suelo para ser absorbido por la plantas en forma de sales solubles. En términos generales el calcio y magnesio se encuentran disponibles como cationes de intercambio y la cantidad disponible tiene una relación directa con la meteorización de los minerales y el grado de lixiviación.

m. Hierro (Fe) y manganeso (Mn)

Los óxidos hidratados de Fe y Mn absorben metales pesados en forma específica y determinan su biodisponibilidad. También actúan en el intercambio catiónico ya que, dependiendo del pH pueden tener carga negativa en su superficie.

Se ha demostrado que los óxidos de hierro y manganeso tienen mayor capacidad de adsorción de metales pesados que los óxidos de aluminio y otros minerales de la arcilla.

n. Cobre y zinc

Son micronutrientes para las plantas, o sea que solamente son necesarias en cantidades relativamente bajas. Es importante mencionar que a medida que se aumenta la concentración del fósforo en el suelo, disminuye la absorción del Zinc por las raíces de las plantas.



1.5.3 Características hidráulicas del suelo

Las características hidráulicas del suelo permiten conocer la cantidad de agua que puede ser infiltrada por unidad de superficie y por tanto, es determinante a la hora de establecer las dimensiones del sistema de depuración. Dentro de estas características están la permeabilidad o capacidad de infiltración del suelo, la cual limita la carga hidráulica admisible por el suelo receptor. Otro de los ensayos que delimita el tipo de tratamiento es la profundidad a la que se encuentra el nivel freático.

o. Permeabilidad o capacidad de infiltración

La permeabilidad es la capacidad con la que el agua pasa a través del suelo y depende de la estructura y la textura del suelo. Puede medirse en el laboratorio o en el terreno. En laboratorio puede ser determinada a través de dispositivos llamados permeámetros por dos métodos: por carga variable y por carga constante; para nuestro estudio se utiliza el método de permeámetro de carga variable.

– **Ensayo en laboratorio (Método de carga variable)**, Esta prueba se usa para determinar el coeficiente de permeabilidad de suelos finos, tales como arenas finas, limos y arcillas, (Alarcón, Alva, 1999). Consiste en utilizar un permeámetro que mide la cantidad de agua que atraviesa una muestra de suelo, por diferencia de niveles en un tubo piezométrico. Este método, brinda mayor exactitud para suelos menos permeables.

La cantidad de agua escurrida es medida en forma indirecta por medio de la observación de la relación entre la caída de nivel de agua en el tubo piezométrico y el tiempo transcurrido.

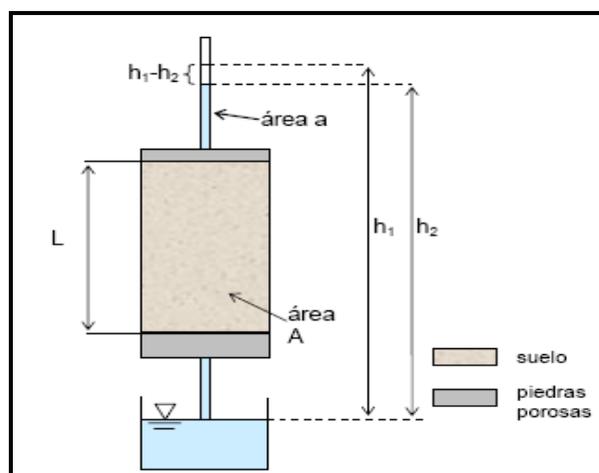


Fig. 1.3 Diagrama del permeámetro de carga variable

Fuente: Permeabilidad Suelos, (Angelone, et al., 2006)



Se obtiene el valor del coeficiente de permeabilidad k , usando la siguiente ecuación según Cheng Liu, et. al, 2000:

$$k = \frac{2.3aL}{A * t} \log \frac{h_1}{h_2} \quad \text{(Ecuación 1.2)}$$

Donde:

k = coeficiente de permeabilidad, cm/s

a = área de la sección transversal del tubo alimentador, cm^2

L = Longitud de la muestra, cm

A = área de la sección transversal de la muestra, cm^2

h_1 = altura hidráulica al inicio de la experiencia, cm

h_2 = altura hidráulica al final de la experiencia, cm

t = tiempo total en que el agua del tubo alimentador pasa de una altura h_1 a h_2 , s

La permeabilidad calculada es para el valor de la temperatura del agua que se utiliza para el ensayo. Es necesario corregir esta permeabilidad a 20°C multiplicando el valor calculado por el coeficiente de viscosidad del agua a esa temperatura, ya que se necesita estandarizar el coeficiente k a una determinada temperatura para comparaciones posteriores.

– **Ensayo in-situ (Ensayo Lefranc con carga variable)**

Este ensayo se utiliza para medir el coeficiente de permeabilidad en suelos permeables y semipermeables. El ensayo se efectúa en el interior de sondeos y puede realizarse durante la ejecución de la perforación o una vez finalizada ésta. La perforación debe quedar entibada y, únicamente el tramo de prueba, situado en la parte inferior de la tubería quedará libre. Se hace subir el nivel hasta una altura h_0 , y posteriormente se mide dos niveles, h_1 y h_2 , entre las que ha transcurrido un tiempo t .

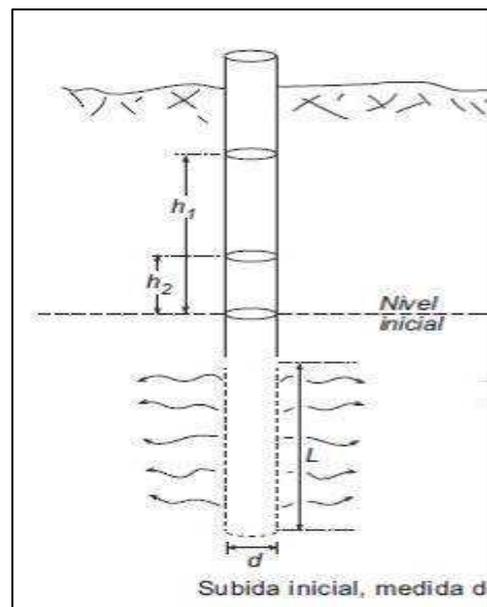


Fig. 1.4 Ensayo Lefranc



La permeabilidad se calcula mediante la expresión siguiente:

$$K = \frac{d_e^2 \ln(2L/d)}{8Lt} \ln \frac{h_1}{h_2} \quad (\text{Ecuación 1.3})$$

Donde:

K = conductividad hidráulica, m/s

h_1, h_2 = altura del agua al principio y al final del ensayo, m

t = tiempo transcurrido entre la observación de los niveles h_1 y h_2 , s

L = longitud de la zona filtrante, m

d = diámetro de la zona filtrante, m

d_e = diámetro de la entubación (puede ser igual a d), m

p. Profundidad del nivel freático

La profundidad del nivel freático es uno de los aspectos más importantes y limitantes a la hora de seleccionar una tecnología de depuración de las aguas residuales, ya que evidencia la presencia de aguas subterráneas y la posible contaminación de las mismas por el transporte de contaminantes desde el subsuelo, si el sistema de tratamiento no opera correctamente.

Dependiendo del sistema de que se vaya a implementar para el tratamiento de las aguas residuales para la ciudad de Gonzanamá es necesario, determinar a qué profundidad se encuentra el nivel freático. Por tanto, para comprobar si el terreno cumple esta condición se efectúa una perforación de 3 a 4 m con algún equipo de apropiado.

También es importante considerar que el nivel freático varía estacionalmente con las lluvias, siendo recomendable conocer la variación del nivel en época de invierno y verano.

1.6. CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS

La relevancia del clima como factor regulador del medio natural y su incidencia sobre el ser humano y sus actividades, es innegable, uno de los aspectos importantes que sirven como criterio de selección de la tecnología adecuada de depuración del agua residual, es el estudio climatológico de la ciudad de Gonzanamá.



La caracterización climatológica engloba cuatro factores que son de real importancia e indispensables en el proceso, éstos son:

- Precipitación
- Temperatura
- Evapotranspiración
- Viento

La evolución de los factores climáticos, constituyen datos necesarios para el cálculo de:

- El número de días que el sistema no puede operar (L. Moreno, 2003)
- Los ciclos de humectación/desecado (L. Moreno, 2003)
- La escorrentía superficial que puede llegar a las instalaciones (L. Moreno, 2003).

1.6.1 Recopilación de la Información

Es importante disponer de la mayor cantidad de años de registro de los diferentes factores climatológicos no menor de 10 de años. (Moreno L., 2003). La fuente de información fue el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), a través del convenio entre la Universidad Técnica Particular de Loja y PREDESUR.

Para el estudio hidrológico de la ciudad de Gonzanamá, se utilizó la estación climatológica ordinaria Gonzanamá con las características que se detallan en la tabla siguiente:

Tabla 1.4- Estación climatológica ordinaria usada para el estudio.

ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA ORDINARIA GONZANAMÁ							
CODIGO	NOMBRE	TIPO	LATITUD	LONGITUD	ELEVACIÓN	PROVINCIA	FECHA DE INSTALACIÓN
M149	Gonzanamá	CO	041349S	792552W	2042 msnm	Loja	01-oct-75

Fuente: INAMHI - <http://www.inamhi.gov.ec/estaciones/estacionesportipo/redactual2006co.pdf>

Para el cálculo de la precipitación media mensual, temperatura media mensual, velocidad media del viento en 24 horas se ha tomado el registro de 41 años (1965-2005), 37 años (1965-2001), y 20 años (1982 al 2001) respectivamente.



1.6.2 Precipitación

La precipitación es un aporte más a la balsa de infiltración, por ello es necesario contar con una descripción, tanto de las precipitaciones máximas, mínimas y medias mensuales, para cada año tipo, como de su distribución mensual.

Los datos de precipitación que no constan en los registros del INAMHI para algunos meses, fueron rellenos utilizando el método hidrológico de las proporcionalidades con la siguiente ecuación:

Con los resultados obtenidos se utilizó la siguiente expresión matemática:

$$\frac{X_1}{Pm_1} = \frac{X_2}{Pm_2} = \frac{X_N}{Pm_N} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_N + \sum \text{datos existentes año incompleto}}{Pa} \quad (\text{Ecuación 1.4})$$

Donde:

X_i = Variable que representa el dato mensual faltante del año a rellenar, mm

Pm_N = Precipitación media mensual del periodo, mm

Pa = Sumatorias anuales de precipitación de series completas, mm

1.6.3 Temperatura

La evaporación directa puede suponer un porcentaje no despreciable de la pérdida de agua de la balsa de infiltración, y puesto que en la evaporación influye directamente la temperatura ambiente habrá que contar con un estudio de distribución de las temperaturas.

Como es conocido, en las latitudes ecuatoriales la temperatura depende directamente de la elevación en la que se encuentra la estación de registro aún más que de la latitud o la temporada del año. Se optó por realizar el relleno de datos faltantes utilizando la media mensual de las temperaturas registradas.

1.6.4 Evapotranspiración

Es un factor relevante para el diseño, proporcionando la información necesaria para conocer la pérdida de agua en la superficie cubierta completamente de vegetación. La evapotranspiración está constituida por las pérdidas totales, es decir: evaporación de la superficie evaporante (del suelo y agua) + transpiración de las plantas.



La evapotranspiración es necesaria para realizar el balance total de agua en las balsas, aunque se pueden emplear métodos basados en formulaciones empíricas, el más común en el Ecuador es el de Thornthwaite, usado en este estudio. En este caso son necesarios los datos de temperatura media mensual para realizar su cálculo.

La fórmula utilizada para la evapotranspiración mensual (V_j), en mm es:

$$V_j = 16 K_a \left(\frac{10 T_j}{I} \right)^a \quad \text{(Ecuación 1.5)}$$

Donde:

K_a = Valor de corrección de V_j , de acuerdo con el mes considerado y a la latitud de la localidad que determinan las horas de sol, cuyos valores se obtienen de tablas.

T_j = Temperatura media mensual

I = Índice térmico anual = Sumatoria de i_j

a = exponente que varía con el índice anual de calor de la localidad

i_j y a se calculan con las siguientes ecuaciones:

$$i_j = \left(\frac{T_j}{5} \right)^{1.514} \quad \text{(Ecuación 1.6)}$$

$$a = 675 * 10^{-9} I^3 - 771 * 10^{-7} I^2 + 179 * 10^{-4} I + 0.492 \quad \text{(Ecuación 1.7)}$$

1.6.5 Viento

El viento es un factor climatológico muy importante que junto a la temperatura influye en la posible generación de malos olores desde la planta de tratamiento a las viviendas más cercanas. Por tanto, en lo posible habrá que evitar situar las balsas en lugares azotados por el viento. En el caso, poco frecuente, de aplicar el agua mediante aspersores es necesario evitar que el viento pueda arrastrar partículas de agua hacia la población o zonas de cultivo de consumo directo.



1.7. TRATAMIENTOS NATURALES DE AGUAS RESIDUALES

Los sistemas naturales de depuración de aguas residuales engloban los procedimientos en los que el tratamiento se debe a la acción combinada de la vegetación, el suelo y los microorganismos sin emplearse ningún tipo de agregado químico. Sin embargo, es necesario realizar un tratamiento primario que retenga los sólidos y las grasas para optimizar la remoción de contaminantes.

En los últimos años este tipo de tratamientos han recobrado interés debido a sus ventajas económicas, reducido consumo energético, baja producción de fangos, fácil operación y mantenimiento con respecto a los sistemas convencionales, y que por tanto, se convierten en alternativas sostenibles para las pequeñas comunidades en donde, el reúso de afluentes tratados aplicados a la agricultura puede impulsar la producción agrícola y mejorar las condiciones económicas de los campesinos de estas zonas.

Los principales tipos de sistemas de tratamiento en el terreno para aguas residuales incluyen:

- Infiltración Rápida
- Infiltración Lenta
- Escorrentía Superficial
- Humedales: flujo superficial o flujo subsuperficial

1.7.1 Infiltración rápida (IR)

La infiltración rápida es un método de inundación del suelo, apropiada para tratamiento de aguas residuales domésticas, limitada por las características del suelo, los costos del terreno y los impactos sobre las aguas subterráneas.

En los sistemas de infiltración rápida el agua aplicada se infiltra por la superficie y percola por los poros del suelo. Se realiza sobre suelos muy permeables de textura gruesa, por lo que las superficies necesarias son relativamente pequeñas con cargas hidráulicas elevadas. El tratamiento se realiza en el suelo sin la intervención de plantas. (Durruti. J, 1976).

Es un sistema de recarga y posible protección de los acuíferos, remoción de contaminantes, es fácil de operar y necesita menos área que otros métodos de aplicación



sobre el suelo. Su principal limitación es el peligro de contaminación de las aguas subterráneas en caso de deficiente operación.

Para la instalación de este sistema es primordial:

- Pendiente < 10% para evitar remociones excesivas de terreno.
- Nivel freático a una profundidad de 3 m.
- Permeabilidad del suelo rápida.

1.7.2 Infiltración lenta (IL)

Los sistemas de infiltración lenta contemplan la aplicación del agua residual doméstica sobre un terreno con vegetación para conseguir tanto el grado necesario de tratamiento como el crecimiento de la vegetación existente. (Metcalf & Eddy, 1996), a través de la interacción del suelo, microorganismos y vegetación.

El proceso depurador consiste en aplicar mediante cualquier técnica convencional de riego (aspersores fijos o móviles) el agua residual doméstica pretratada para que se infiltre vertical y horizontalmente en el suelo y así abandonar sus contaminantes. Por tanto, el tratamiento se produce conforme el agua aplicada percola en el terreno.

Los sistemas de IL se pueden clasificar como tipo I (infiltración lenta) o de tipo II (irrigación en cultivo), dependiendo de los objetivos del diseño. Cuando el objetivo principal es el tratamiento de aguas residuales se clasifica como tipo I, y se trata la mayor cantidad de agua residual en la menor área de terreno posible. (Crites Tchobanoglous, 2000). Los sistemas tipo 2 se diseñan con la finalidad de reutilizar el agua para la producción agrícola, y consisten en aplicar un caudal suficiente de agua residual cumpliendo con los requerimientos de irrigación de un cultivo.

Para la instalación de este sistema es primordial:

- Pendiente < al 20% en terrenos cultivados y < 40% en terrenos no cultivados.
- Nivel freático a una profundidad de 0.9 a 1.20 metros
- Permeabilidad del suelo baja o moderadamente rápida

1.7.3 Escorrentía superficial (ES)

El agua se depura por medio de procesos físicos, químicos y biológicos, al discurrir por suelos superficiales relativamente impermeables con cobertura vegetal para evitar la erosión. La escorrentía superficial es esencialmente un proceso biológico en el cual se



aplica el agua residual sobre las zonas de un terreno donde fluye a través de la superficie vegetal hasta unas zanjas de recolección. A medida que el agua fluye sobre el suelo, una porción se infiltra, otra se evapora y el resto fluye a los canales de recolección.

Para la instalación de este sistema es necesario:

- Suelos con drenaje limitado tales como arcillas y limos arcillosos.
- Pendientes del orden del 2 al 12%.
- Superficies muy lisas para que el agua forme una lámina sobre el suelo. La extensión necesaria del terreno oscila entre 10 y 44 m²/hab.

El grado de tratamiento alcanzable es equivalente a uno secundario, generalmente con buena reducción de nitrógeno y un bajo rendimiento en la eliminación de fósforo, remociones del 90 al 70% para la DBO₅ y los sólidos en suspensión.

Este sistema es viable, de costo bajo, eficiente para tratamiento de aguas residuales con materia orgánica degradable y sometidas a pretratamiento de cribado más sedimentación.

1.7.4 Humedales

Los humedales pueden ser naturales o artificiales. Son sistemas de tratamiento natural por medios acuáticos en los cuales las plantas y animales son los principales medios que intervienen en el tratamiento de aguas residuales municipales, eliminando grandes cantidades de materia orgánica, sólidos, nitrógeno, fósforo. Los humedales artificiales son de superficie libre de agua (con espejo de agua, o de flujo subsuperficial (sin espejo de agua)).

Los humedales tienen tres funciones básicas que los hacen tener un atractivo potencial para el tratamiento de aguas residuales, son las siguientes:

- Fijar físicamente los contaminantes en la superficie del suelo y la materia orgánica.
- Utilizar y transformar los elementos por intermedio de los microorganismos
- Lograr niveles de tratamiento consistentes con un bajo consumo de energía y bajo mantenimiento.



a. Humedales de flujo libre o superficial (HFL)

Los humedales de flujo libre con espejo de agua son balsas, una ciénaga, pantano o canales paralelos con la superficie del agua expuesta a la atmósfera y el fondo constituido por suelo relativamente impermeable, en la que la vegetación está inundada hasta una profundidad de 10 a 60 cm. La vegetación puede ser cañas, juncos, espadaña.

b. Humedales de flujo subsuperficial (HFS)

Los humedales de flujo subsuperficial es un método acuático en el que el agua fluye por debajo de la superficie de un medio poroso de grava gruesa o arena sembrado de plantas emergentes (J. Rojas, 1999, p. 898). La profundidad del lecho va desde 1.5 a 3.3 pies (0.45 a 1 m) y tiene una pendiente característica de 0 a 0.5%.

Este tipo de tratamiento tiene la ventaja de evitar posibles problemas de mosquitos y generación de malos olores, ya que el nivel del agua está por debajo de la superficie. Como desventaja, sin embargo presentan mayores costos por el medio de grava y riesgo de taponamiento.

1.8. CONSIDERACIONES AMBIENTALES

La conservación del medio ambiente y la protección de la salud pública son el propósito esencial del tratamiento de las aguas residuales.

Existen algunas consideraciones ambientales que se deben tomar en cuenta para garantizar que la planta de tratamiento no produzca contaminación en el aire (malos olores y ruido), el medio físico en lo referente al paisajismo, el suelo como medio depurador y el agua (subterránea o en los cauces).

Se debe corregir durante el funcionamiento de las instalaciones la producción de malos olores por factores como el viento y la temperatura.

Otro de los aspectos ambientales fundamentales es decidir la localización de la instalación, la misma que debe evitar alterar el paisajismo de la zona, y generar un impacto visual desagradable a la comunidad. Además de eludir los posibles malos olores que puedan producirse o la proliferación de insectos que sean portadores de enfermedades.



No hay que olvidar que se está infiltrando agua residual directamente sobre el suelo, lo cual genera una serie de riesgos si no se realiza un seguimiento exhaustivo del proceso y de la evolución tanto del suelo como del medio hídrico. Frente a los problemas que se puedan generar la medida más adecuada es la realización de análisis sobre el comportamiento del suelo, los vertidos y el agua subterránea, determinándose los niveles máximos de vertido, en función de la capacidad depuradora o de retención de la contaminación del suelo.

1.9. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

La selección la tecnología más apropiada para tratar un vertido residual, el primer paso es realizar algunos estudios preliminares que implican un análisis completo del afluente que va a ser depurado con el fin de determinar el grado de contaminación existente y, el nivel de calidad que se desea en el agua tratada de acuerdo al objetivo del tratamiento. Otro aspecto importante es el nivel económico de la población en donde se desarrollara el proyecto, manteniendo el equilibrio coste-rendimiento, para que el tratamiento aplicado sea sostenible y eficiente.

Por lo tanto, los factores a tener en cuenta en la toma de decisión final del tipo de tratamiento a implantar son los que se mencionan a continuación:

- Factores demográficos: población, servicio de agua potable y alcantarillado
- Objetivos del tratamiento
- Características del terreno: pendiente, profundidad del nivel freático
- Características del medio receptor (suelo): Caracterización físico-química e hidráulica
- Caudales de vertido
- Características básicas del afluente: carga orgánica, concentración bacteriana, metales, pesticidas, temperatura, caudales.
- Disponibilidad del terreno
- Climatología: (precipitaciones, vientos, evapotranspiración, temperatura).
- Impacto ambiental
- Costos de construcción, operación y mantenimiento
- Eficiencia del tratamiento



CAPÍTULO

2



CARACTERIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES

2.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se analizará la composición físico-química y bacteriológica del agua residual urbana de la ciudad de Gonzanamá, así como la relación entre los diferentes parámetros.

La caracterización del agua residual urbana se efectuó mediante la determinación de los parámetros más representativos de su composición, estos son: pH, Sólidos totales, Sólidos disueltos, Sólidos en suspensión, Nitrógeno (Orgánico, amoniacal, nitrato, nitrito), Fósforo (orgánico, inorgánico), Cloruros, Alcalinidad, Grasas, Carbono orgánico Total, DBO, DQO y Boro y metales pesados, pesticidas clorados y pesticidas organoclorados.

2.2 MUESTREO DE AGUAS

2.2.1 Programa de muestreo de agua residual

El programa de muestreo que se aplicó para caracterizar el agua residual de la ciudad de Gonzanamá, comprendió en su primera fase visitas de campo que permitieron obtener información básica respecto a los sistemas prestadores del servicio de agua potable, puntos de descargas del alcantarillado sanitario, características del cuerpo receptor y definir el sitio más idóneo para el posible tratamiento.

Con la información recabada en la primera fase del monitoreo, se decidió realizar seis muestreos de agua residual en seis diferentes días para conocer la variación de la carga contaminante. Las muestras son simples recolectadas desde las 06:00 hasta las 18:00 durante cada hora, para su posterior transporte y análisis en laboratorio. En la tabla 2.1 se muestra los días y fechas escogidos para la toma de muestras en la ciudad de Gonzanamá.

Tabla 2.1. Fechas de muestreo de agua residual en la ciudad de Gonzanamá

FECHA DE MUESTREO	DÍA DE MUESTREO	NÚMERO DE MUESTREO
19 de Enero de 2009	Sábado	Primero
13 de marzo de 2009	Viernes	Segundo
6 de mayo de 2009	Miércoles	Tercero
4 de Junio de 2009	Jueves	Cuarto
5 de Julio de 2009	Domingo	Quinto
16 de Noviembre de 2009	Lunes	Sexto



2.2.2 Toma de muestras

El objetivo de la toma de muestras in-situ es la obtención de un volumen de agua residual que sea lo suficientemente pequeño para que sea transportado con facilidad y manipulado en el laboratorio sin que deje de ser representativo de la fuente que se desea caracterizar. Es necesario que el personal encargado tenga suficiente conocimiento y clara conciencia de la responsabilidad de esta operación, con objeto de garantizar que el resultado analítico represente la composición real.

a. Punto de muestreo



El lugar ideal para el muestreo es el punto exactamente antes de que la descarga ingrese a un curso de agua receptor.

Como punto de muestreo se seleccionó el último pozo del sistema de alcantarillado de la ciudad de Gonzanamá antes de la descarga (Fig 2.1), de fácil acceso. La cota del pozo es 1915.86 m.s.n.m. y la profundidad medida en campo es 1.60 m.

Fig. 2.1. Punto de Muestreo de Aguas

b. Equipo de muestreo

- En cada muestreo se ha utilizado:
- Trece botellas de plástico con capacidad de dos litros para la toma de muestras de agua residual destinadas al análisis físico-químico, lavadas y esterilizadas con una solución de permanganato de potasio y ácido sulfúrico.
- Trece botellas ámbar para la recolección de muestras para los ensayos de metales pesados y pesticidas, debidamente esterilizadas.
- Recipientes esterilizados para examen bacteriológico.
- Dos muestreadores metálicos esterilizados para recolectar las muestras.
- Equipo de refrigeración apropiado para transporte de las muestras.
- Balde de volumen conocido
- 1 Cronómetro



- 1 Termómetro
- Cinta para etiquetar las muestras
- Botas, guantes apropiados, mascarilla, mandil.

c. Procedimiento de muestreo

La toma de la primera muestra se realizó a las 06:00 tanto para ensayos físico-químicos como para ensayos de metales pesados y pesticidas en la botella de plástico y ámbar respectivamente; complementariamente se midió la temperatura en cada muestra y se efectuó el aforo respectivo. Cabe recalcar que las muestras recolectadas fueron simples, tomadas cada hora, hasta las 18:00, con un total de 77 muestras durante todo el proceso.

Para la toma de muestras bacteriológicas se escogieron las horas pico 10h00, 12h00, 15h00, y 18h00, recolectándose 4 muestras por cada día de muestreo, con un total de 24 durante todo el proceso.

El método de muestreo fue desarrollado siguiendo los procedimientos de la norma Mexicana NMX-AA-003-1980 para Aguas Residuales-Muestreo, utilizada por el laboratorio de Aguas del IQA-UTPL al no haber una norma ecuatoriana establecida. El procedimiento es el siguiente:

- Identificar correctamente cada una de las muestras, indicando: la fecha, hora, sitio de toma, origen del agua, temperatura de la muestra.
- Limpiar previamente el lugar de muestreo elegido para eliminar incrustaciones, barro, película bacteriana, etc., que pueda alterar la muestra.
- Homogenizar el recipiente muestreador antes de efectuar el muestreo.
- Introducir el recipiente muestreador en el pozo y homogenizar la botella



Fig 2.2 Toma de muestras de ARU para ensayos físico-químicos



donde se coloca la muestra con el agua residual, para luego llenarla hasta obtener un volumen de dos litros.

- No exponer la muestra a la luz y mantenerla a temperatura de 4°C en un tanque de refrigeración apropiado, hasta ser llevada al laboratorio.

2.2.3 Aforo de aguas residuales

Uno de los datos fundamentales a la hora de proyectar un tratamiento de aguas residuales es el volumen de vertido por unidad de tiempo que va a llegar a la instalación. Este caudal depende de la población servida y de las costumbres en relación al uso de agua.

La medición del caudal se efectuó utilizando el método volumétrico con un cronómetro y un recipiente de volumen conocido para aforar. Se tomó un volumen de muestra (V) en un tiempo (t) desde que se introduce a la descarga hasta que se retira de ella; la relación de estos dos valores permite conocer el caudal (Q).

Es importante mencionar que los aforos se efectuaron al igual que la toma de muestras cada hora. Y se obtuvieron los datos que constan en la tabla 2.2.

Tabla 2.2. Caudales de agua residual en la ciudad de Gonzanamá.

CAUDAL DE AGUA RESIDUAL (L/S)							
Nro. Muestreo	Hora	1M	2M	3M	4M	5M	6M
1	06h00	9,75	9,16	9,04	9,7	6,8	8,15
2	07h00	9,84	9,24	9,24	10,4	6,9	8,2
3	08h00	10,27	10,15	9,25	11,2	7,2	8,5
4	09h00	10,16	9,09	9,54	10,8	7,5	8,2
5	10h00	10,01	9,16	9,84	10,3	7,8	8,6
6	11h00	10,79	9,18	8,99	11,6	8,6	8,5
7	12h00	11,97	10,12	10,16	11,2	8,7	8,6
8	13h00	11,15	10,16	9,69	11,2	8,8	8,9
9	14h00	10,05	9,15	9,92	10,8	7,4	10,4
10	15h00	10,61	9,17	8,73	10,9	6,9	10,4
11	16h00	10,69	9,25	10,16	11,3	7,4	9,3
12	17h00	11,80	9,15	8,99	9,7	8,4	9,2
13	18h00		9,75	9,32	10,5	9,6	9,4
Caudales Media		10,59	9,44	9,45	10,74	7,85	8,95
CAUDAL PICO: 12 L/s CAUDAL MINIMO: 6,8 L/s CAUDAL MEDIO: 9,50 L/s							
1M : Primer muestreo (sábado 17 de enero 2009)							
2M : Segundo muestreo (viernes 13 de marzo 2009)							
3M : Tercer muestreo (miércoles, 06 de mayo de 2009)							
4M : Cuarto muestreo (jueves, 04 de junio de 2009)							
5M : Quinto muestreo (domingo, 05 de julio de 2009)							
6M : Sexto muestreo (lunes, 16 de noviembre de 2009)							



La fig. 2.3 muestra la evolución que han experimentado los caudales de aguas residuales a lo largo de todo el proceso de muestreo. El caudal pico registrado durante los aforos es de 12 l/s y el caudal mínimo de 6,8 l/s. Además se debe mencionar que el caudal medio es de 9,50 l/s.

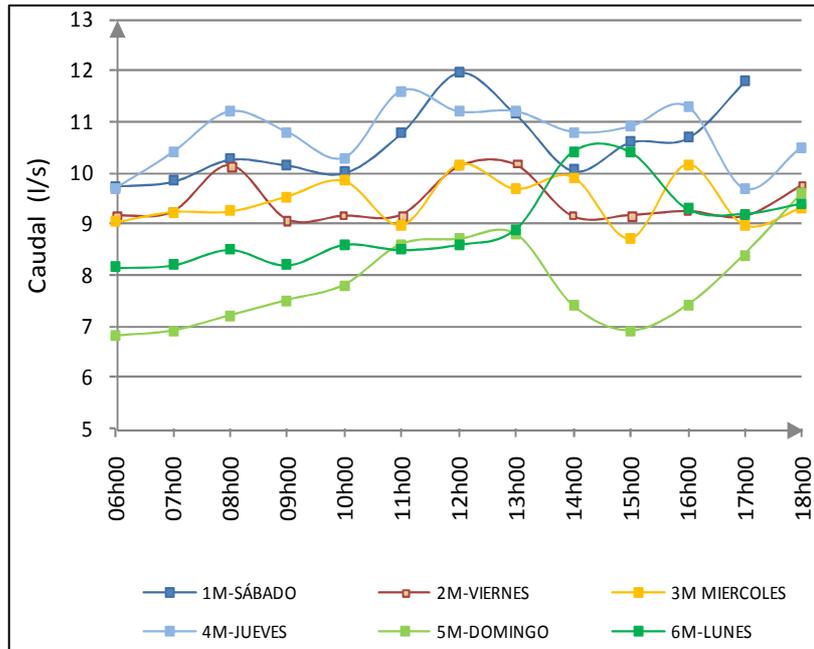


Fig. 2.3. Evolución del Caudal de aguas residuales



Fig.2.4. Aforo de las aguas residuales



2.2.4 Medición de la temperatura en las muestras

En cada muestreo se tomó la temperatura inmediatamente después de su recolección, los resultados aparecen en la tabla 2.3. Así mismo, en la fig. 2.5 se aprecia la evolución que ha experimentado la temperatura de las aguas residuales en las 77 muestras recolectadas para ensayos físico-químicos y bacteriológicos, las mismas que se encuentran en el rango de 17,5 a 20,6 °C.

Tabla 2.3. Temperatura del agua residual

Nro. Muestreo	Hora	Temp. 1M (°C)	Temp. 2M (°C)	Temp. 3M (°C)	Temp. 4M (°C)	Temp. 5M (°C)	Temp. 6M (°C)
1	06h00	18.4	18.5	18.2	18.3	17.5	19.3
2	07h00	18.5	18.7	18.4	18.4	17.9	19.4
3	08h00	19.0	18.8	18.8	18.7	18.3	19.6
4	09h00	19.3	19.1	19.1	18.6	18.4	19.5
5	10h00	19.5	19.4	18.9	18.7	18.5	19.5
6	11h00	19.6	20.1	19.2	18.8	19.7	20.0
7	12h00	19.5	20.0	19.0	19.4	19.4	19.6
8	13h00	20.3	20.2	19.0	19.8	19.0	19.5
9	14h00	20.3	20.5	18.5	19.0	19.2	19.7
11	16h00	19.6	20.6	18.2	18.5	18.9	19.5
12	17h00	19.7	20.1	18.2	18.4	18.3	19.4
13	18h00	19.7	19.5	18.2	18.4	18.2	19.4

TEMP. MAX: 20,6 °C TEMP. MIN: 17,5 °C

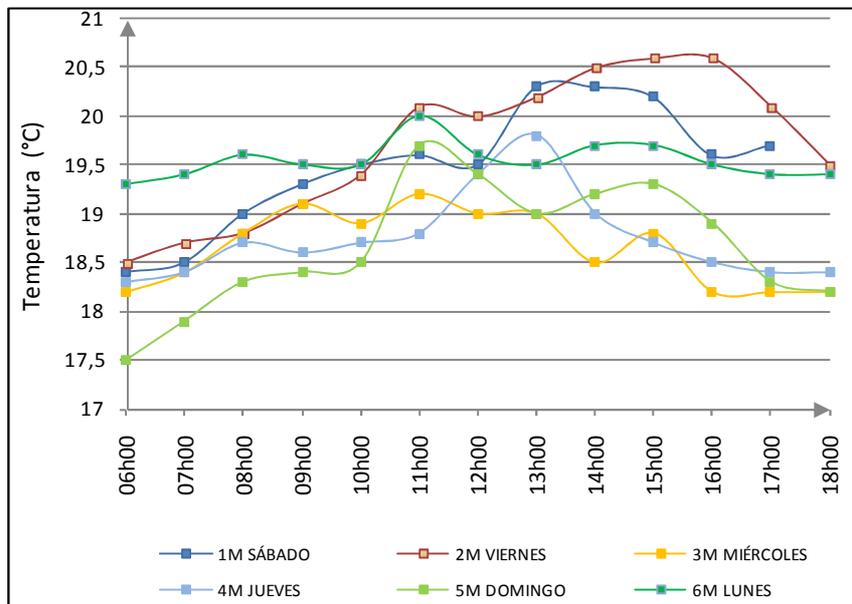


Fig. 2.5. Evolución de la temperatura en las muestras de aguas residual



Fig.2.6. Medición de la temperatura en las muestras de agua residual

2.2.5 Análisis de laboratorio

La etapa de laboratorio consistió en efectuar los ensayos correspondientes a cada uno de los parámetros físico-químicos y bacteriológicos representativos que nos permitieron caracterizar las aguas residuales, realizados en el laboratorio de Agua del IQA-UTPL, basándonos en los métodos que se presentan en la tabla 2.4.

Tabla 2.4 Métodos de ensayo de los parámetros de caracterización de las aguas residuales.

PARÁMETRO	UNIDAD	MÉTODO	EQUIPO UTILIZADO
PARÁMETROS FÍSICO- QUÍMICOS			
pH	Adimensional	Electroquímico	pH-metro
Sólidos disueltos	mg/l	Gravimétrico	Conduímetro
Sólidos totales	mg/l	Gravimétrico	Balanza, bureta, etc
Sólidos en suspensión	mg/l	Gravimétrico	Balanza, bureta, etc.
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.



PARÁMETRO	UNIDAD	MÉTODO	EQUIPO UTILIZADO
Grasas	mg/l	Gravimétrico	Balanza, bureta, etc.
Carbono orgánico	mg/l	Volumétrico	Balanza, bureta, etc.
DBO	mg/l	Espectrofotométrico	Espec-Nova-400
DQO	mg/l	Espectrofotométrico	Espec-Nova-400
Boro	mg/l	Colorimétrico Espectrofotométrico	Espectrofotómetro visible
METALES PESADOS			
Cadmio	mg/l	Absorción Atómica	Espectrofotómetro de Absorción Atómica
Cobre	mg/l	Absorción Atómica	Espectrofotómetro de Absorción Atómica
Cromo	mg/l	Absorción Atómica	Espectrofotómetro de Absorción Atómica
Hierro	mg/l	Absorción Atómica	Espectrofotómetro de Absorción Atómica
Plomo	mg/l	Absorción Atómica	Espectrofotómetro de Absorción Atómica
Manganeso	mg/l	Absorción Atómica	Espectrofotómetro de Absorción Atómica
Mercurio	mg/l	Absorción Atómica	Espectrofotómetro de Absorción Atómica
Níquel	mg/l	Absorción Atómica	Espectrofotómetro de Absorción Atómica
Zinc	mg/l	Absorción Atómica	Espectrofotómetro de Absorción Atómica
PESTICIDAS			
Pesticidas Organoclorados y Organofosforados	mg/l	Cromatología de gases	---
PARÁMETROS BACTERIOLÓGICOS			
E. Coli	ufc/100 ml	Standard Methods	---
Coliformes Fecales	ufc/100 ml	Standard Methods	---
Coliformes totales	ufc/100 ml	Standard Methods	---
Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE Los ensayos marcados con (♦) no están incluidos en el alcance de la acreditación de la A2LA.			

El detalle de los resultados de las muestras de agua residual otorgadas por el laboratorio, así como las tablas comparativas de los seis muestreos, para cada parámetro están en el Anexo 2-1 y Anexo 2-2.



Fig.2.7. . Determinación de Fósforo orgánico e inorgánico



Fig.2.8. Ensayo de DQO

2.2.6 Análisis y discusión de resultados

Tomando en cuenta el estudio socio económico sanitario realizado en la ciudad de Gonzanamá y la caracterización de las aguas residuales que se desarrolla en este apartado, en un 95% constituyen agua residual doméstica, que varía de acuerdo con la hora del día, día de la semana, mes del año.

Como resultado del proceso de caracterización del agua, en la tabla 2.5 se presenta la composición del agua residual de la ciudad de Gonzanamá, así también la media aritmética, desviación estándar, e intervalo máximo y mínimo de la media de cada uno de los parámetros físico-químicos y bacteriológicos.

La media aritmética se ha utilizado como un punto de tendencia central, o sea del valor hacia el cual tienden los datos. La media aritmética es la más usada por su facilidad de cálculo, además se ve afectado grandemente por los valores extremos de la muestra.

La desviación estándar se ha utilizado como un criterio de rechazo de uno o varios datos que difieren grandemente de los demás valores, tomando en consideración que es un criterio aplicable en el análisis estadístico cuando se cuentan con más de 10 datos. En general si el promedio aritmético excede 3 veces la desviación estándar, el dato se puede rechazar con un nivel de confianza del 95%.



Tabla 2.5 Composición físico-química y bacteriológica del agua residual

PARÁMETRO	UNIDAD	n	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	INTERVALO		NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL: RECURSO AGUA	
					MIN	MAX	CRITERIOS DE CALIDAD ADMISIBLE PARA AGUAS DE USO AGRÍCOLA	LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE
PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS								
PH		77	7.01	0.26	6.78	7.35	-	-
Sólidos disueltos	mg/l	77	98.45	35.74	85.06	121.28	-	-
Sólidos totales	mg/l	77	301.71	71.77	255.67	349.33	3000	1600
Sólidos Suspensión	mg/l	77	60.04	38.96	39.17	82.40	-	100
Nitrógeno Orgánico	mg/l	77	12.52	9.20	8.66	23.55	-	-
Nitrógeno Amoniacal	mg/l	77	10.71	7.54	5.23	27.18	-	-
Nitrógeno de Nitrato	mg/l	77	1.73	1.37	1.06	2.82	-	-
Nitrógeno de Nitrito	mg/l	77	0.10	0.11	0.05	0.21	-	-
Cloruro	mg/l	77	28.73	6.64	25.50	34.10	-	-
Fósforo Orgánico	mg/l	77	0.48	0.30	0.31	0.68	-	-
Fósforo Inorgánico	mg/l	77	1.53	0.98	0.98	2.56	-	-
Alcalinidad	mg/l	77	104.63	42.12	86.33	126.17	-	-
Grasas	mg/l	77	41.10	26.21	27.00	64.00	0.3	0.3
Carbono Orgánico Total	mg/l	77	94.36	33.83	69.79	121.00	-	-
DBO	mg/l	77	112.24	48.90	73.24	139.44	-	100
DQO	mg/l	77	247.84	97.24	155.67	306.80	-	250
Boro	mg/l	77	0.78	0.43	0.52	1.27	-	-
METALES PESADOS								
Hierro	mg/l	77	0.539	0.364	0.42	0.80	5.0	10
Plomo	mg/l	77	0.029	0.033	0.01	0.05	0.05	0.2
Manganeso	mg/l	77	0.111	0.072	0.09	0.14	0.2	2
Zinc	mg/l	77	0.111	0.113	0.07	0.14	2.0	5
PESTICIDAS ORGANOFOSFORADOS								
Clorpirifos metil	mg/l	77	0.0031	0.0035	0.000	0.0039	Total 0.1	Total 0.1
Ethion	mg/l	77	0.0021	0.0021	0.000	0.0038		
Carbofenotion	mg/l	77	0.0015	0.0015	0.0005	0.0026		
Tetraclorvinfos	mg/l	77	0.0011	0.0001	0.0002	0.0003		
Azinfos etil	mg/l	77	0.0009	0.0011	0.0000	0.0029		



PARÁMETRO	UNIDAD	n	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	INTERVALO		NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL: RECURSO AGUA	
					MIN	MAX	CRITERIOS DE CALIDAD ADMISIBLE PARA AGUAS DE USO AGRÍCOLA	LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE
Alfa HCH	mg/l	77	0.0032	0.0024	0.0000	0.0076	Total 0.2	Total 0.05
2-4 DDT	mg/l	77	0.0029	0.0035	0.0000	0.0058		
Metoxicloro	mg/l	77	0.0022	0.0037	0.0000	0.0060		
Endrin	mg/l	77	0.0020	0.0015	0.0004	0.0033		
Mixer	mg/l	77	0.0049	0.0029	0.0000	0.0059		
Aldrin	mg/l	77	0.0048	0.0031	0.0004	0.0084		
Dieldrin	mg/l	77	0.0040	0.0025	0.0000	0.0092		
4-4 DDT	mg/l	77	0.0016	0.0022	0.0000	0.0053		
2-4 DDE	mg/l	77	0.0078	0.0037	0.0000	0.0166		
Beta HCH	mg/l	77	0.0019	0.0000	0.0000	0.0032		
Heptacloro	mg/l	77	0.0088	0.0096	0.0000	0.0185		
Delta HCH	mg/l	77	0.0025	0.0000	0.0000	0.0034		
Gama HCH	mg/l	77	0.0055	0.0000	0.0000	0.0077		
PARÁMETROS BACTERIOLÓGICOS								
Coliformes Totales	ufc/100 ml	36	4.1E+07	2.9E+07	3.5E+07	4.9E+07	-	-
E. Coli	ufc/100 ml	36	1.8E+07	1.49E+07	1.4E+07	2.8E+07	-	-
Coliformes Fecales	ufc/100 ml	36	2.5E+07	2.8E+07	2.2E+07	2.9E+07	Remoción > al 99.9 %	Remoción > al 99.9 %
n : es el numero de muestras								

De los resultados obtenidos en los análisis de aguas para la ciudad de Gonzanamá se puede concluir:

Los valores de pH fueron próximos a la neutralidad típicos de aguas residuales, el intervalo de la media esta de 6.78 a 7.35 con un valor medio de 7.01, y dentro de un rango necesario para que exista la actividad biológica suficiente en el agua residual para la eliminación de nutrientes y materia orgánica (6.5 – 8.5). La fig. 2.9 muestra que el rango de variación del pH ha sido bajo, no excediendo de la unidad en la mayoría de los muestreos. Por otro lado, durante el proceso de estudio se registraron concentraciones de alcalinidad, variando en el intervalo de 86.33 mg/l a 126.17 mg/l, con una media de 104.63 mg/l. Así mismo, la variación de la alcalinidad fue moderada, con cerca del 60% de los datos cercanos a la media.

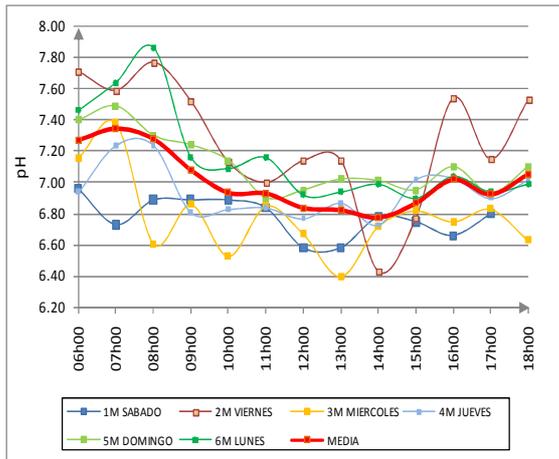


Fig. 2.9. Evolución del pH en el agua residual

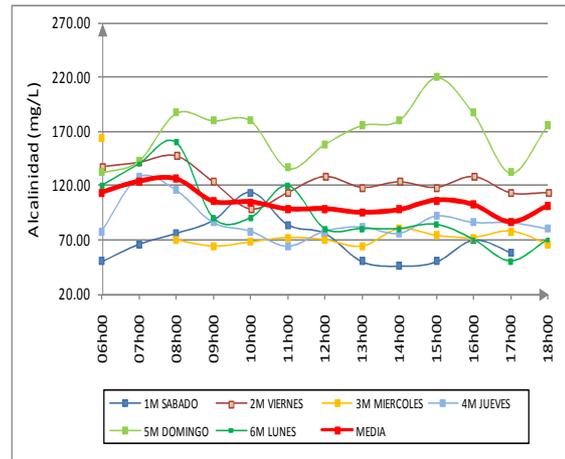


Fig. 2.10 Evolución alcalinidad en el AR

La concentración de sólidos en suspensión registrada osciló entre 39.17 mg/l a 82.40 mg/l con un valor medio de 60.04 mg/L. Los valores son bajos con respecto al límite máximo permisible para descarga a cuerpos de agua dulce (100 mg/l). Con respecto a los sólidos totales la concentración media es de 301.71 mg/l y está en un rango de 255.67 mg/l a 349.33 mg/l. Por tanto, la concentración de sólidos totales (sedimentables, suspensión) se puede considerar débil con respecto al límite permisible de descarga que es de 1600 mg/l.

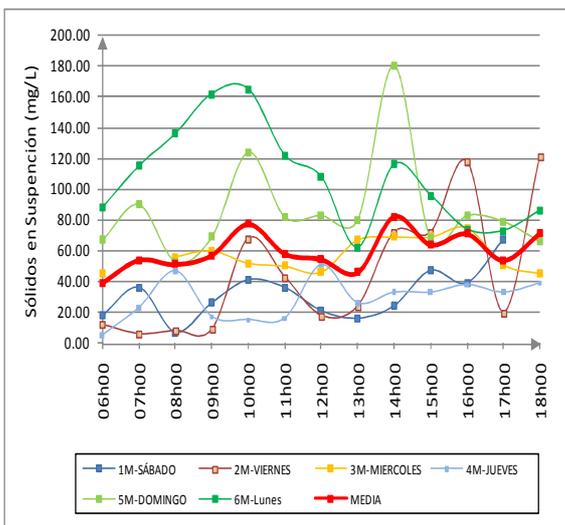


Fig.2.11. Evolución sólidos suspensión ARU

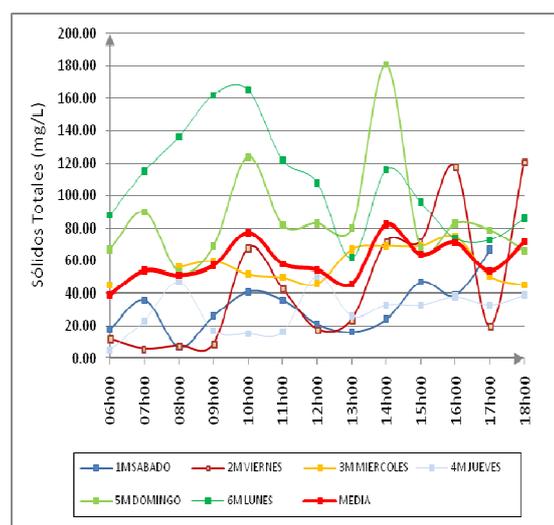


Fig.2.12. Evolución sólidos totales ARU

La figura 2.13 indica que la concentración de nitrógeno inorgánico se encuentra en el rango de 5.23 mg/l a 27.18 mg/l con una media de 10.71 mg/l, la variación de los datos no fue muy alta con excepción de un pico de 57.75 mg/l. El nitrógeno orgánico por otro



lado está entre 8.66 mg/l y 23.55 mg/l, y una media de 12.52 mg/l. Es importante mencionar que en el primer muestreo se apreció un caída tanto del Nitrógeno amoniacal como Nitrógeno orgánico en nitrógeno amoniacal siempre fue mayor que el nitrógeno orgánico.

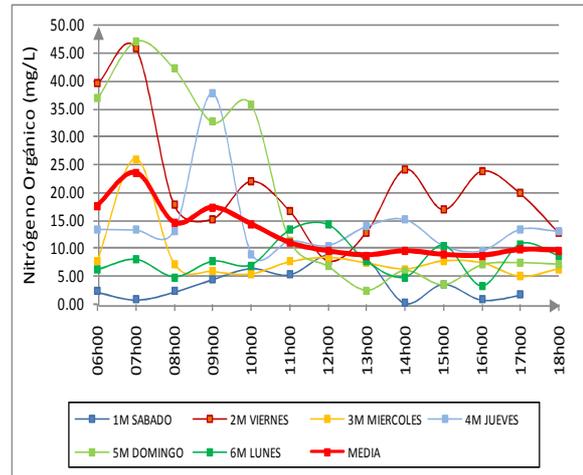
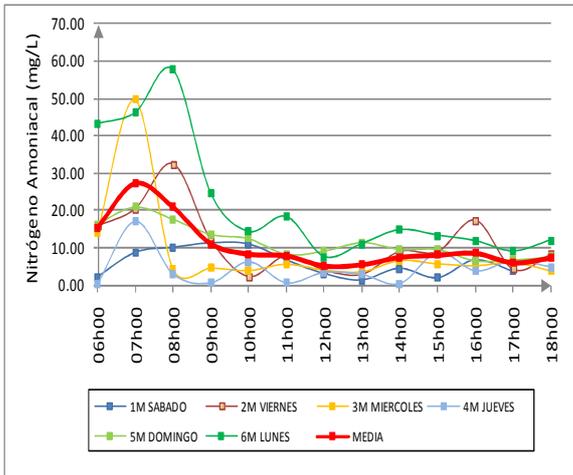


Fig.2.13. Evolución nitrógeno Amoniacal ARU

Fig.2.14. Evolución nitrógeno orgánico ARU

La concentración de nitritos se mantuvo entre 0.05 mg/l y 0.21 mg/l con un valor promedio de 0.10 mg/l, permaneciendo en el rango típico de nitritos en un agua residual urbana. El nitrógeno de nitrato por su parte oscilo entre 1.06 mg/l a 2.82 mg/l con una media de 1.73 mg/l. Además es importante destacar que la desviación estándar es de 0.11 y 1.37 para los nitritos y nitratos respectivamente, lo que evidencia que no ha existido una variación significativa entre las muestras.

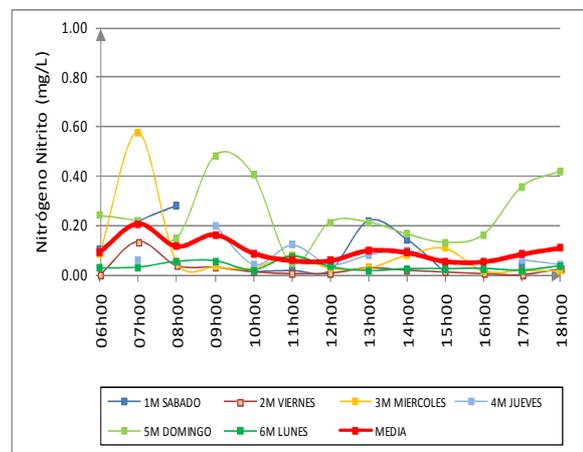
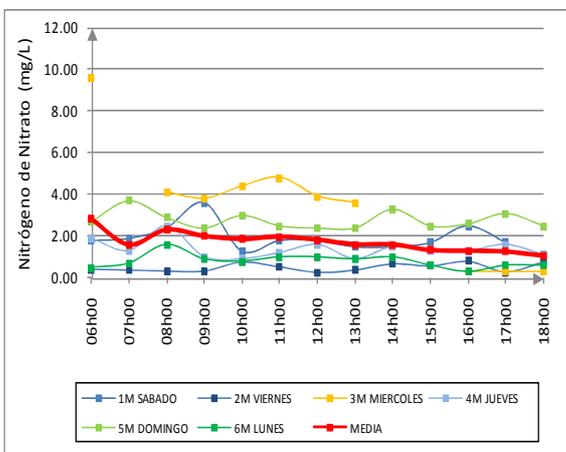


Fig.2.15. Evolución nitratos en ARU

Fig. 2.16. Evolución nitritos en ARU



El fósforo orgánico como el inorgánico son nutrientes que tienen las aguas residuales. Como resultado de nuestro análisis se ha observado en la fig. 2.17 y 2.18 como ha sido la tendencia que han seguido los datos durante el estudio realizado, observándose en algunos casos picos que no son representativos del conjunto de datos obtenidos, demostrándose que el 60% de los datos se encuentran en un rango de 0.31 mg/l a 0.68 mg/l para fósforo orgánico y 0.98 mg/l a 2.56 mg/l para fósforo inorgánico. Por tanto el fósforo total (orgánico + inorgánico) están dentro de los parámetros de un agua residual típicamente urbana (4 a 15 mg/l).

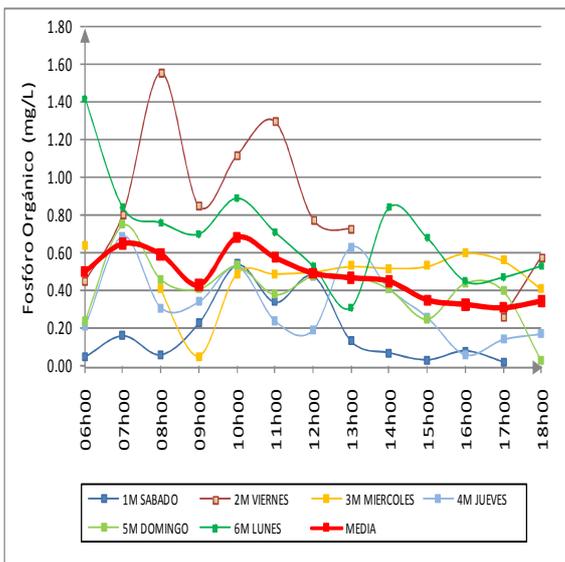


Fig.2.17. Evolución fósforo orgánico en ARU

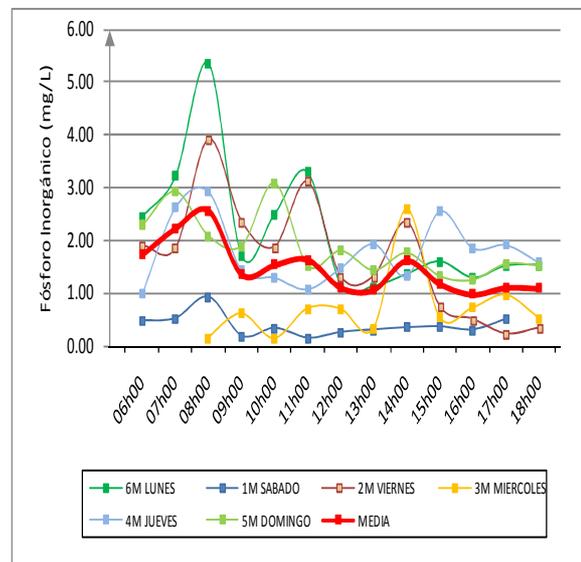


Fig.2.18. Evolución fósforo inorgánico ARU

La concentración de cloruros se encontró entre 25.50 mg/l y 34.10 mg/l, con una media de 28.73 mg/l. La desviación estándar de este parámetro fue 6.64, lo que indica que la mayoría de los datos se encontraron entre 20 mg/l y 40 mg/l a excepción de algunos valores que forman picos no representativos para el conjunto de datos obtenidos. Además la concentración de cloruros es muy baja con respecto al límite permisible que es 1000 mg/l.

Las grasas presentan una alta concentración debido a la cantidad de desechos grasos en las aguas residuales, su valor oscila entre 27 mg/l a 64 mg/l con una media de 41.1 mg/l. Por tanto se debe considerar un pretratamiento para mejorar esta concentración que es alta respecto al límite permisible de 0.3 mg/l.

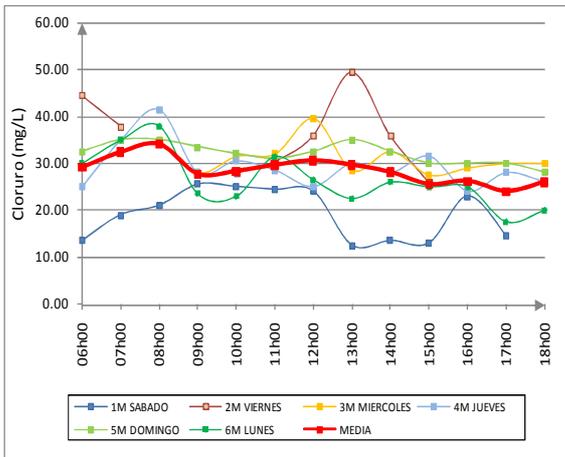


Fig.2.19. Evolución cloruros en ARU

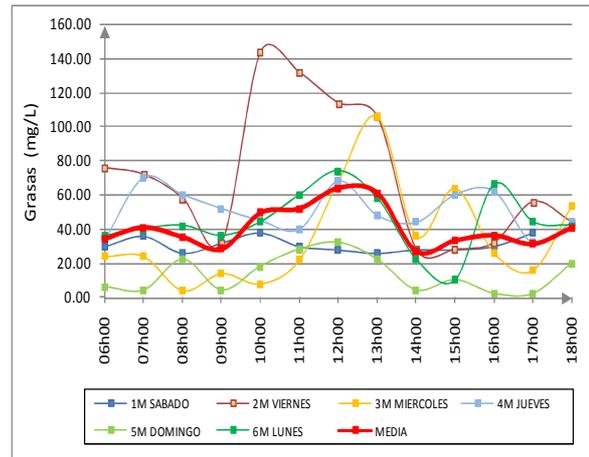


Fig.2.20. Evolución grasas ARU

La concentración de carbono orgánico total registrada osciló entre 69.8 mg/l a 121 mg/l con un valor medio de 94.4 mg/l. La desviación estándar fue de 33.83 mg/l, lo que indica que la mayoría de los datos estuvieron entre 50 mg/l a 100 mg/l, a excepción del sexto muestreo donde las concentraciones fueron más altas. Se puede decir que la concentración de COT es típica de un ARU e indica la naturaleza orgánica.

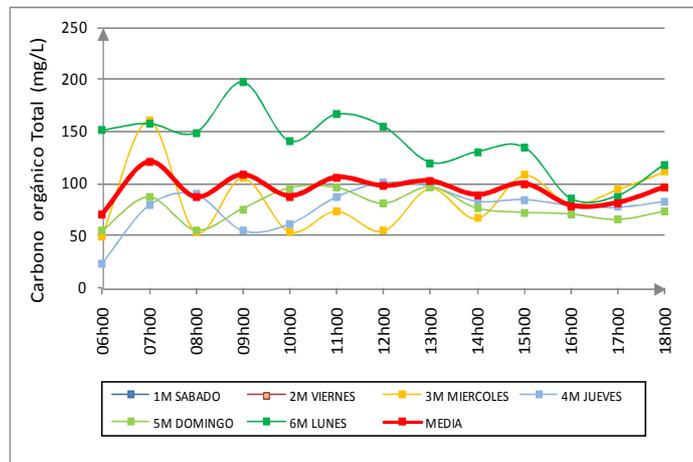


Fig.2.21. Evolución carbono orgánico total en ARU

La DBO_5 osciló entre 73.2 mg/l a 139.44 mg/l, con una media de 112.24 mg/l. El valor de DBO sobrepasa el límite máximo permisible para descarga a cuerpos de agua dulce que es de 100 mg/l, típico de un agua residual urbana como medida indirecta de la cantidad de materia orgánica que posee.

La DQO se encuentra en el rango de 155.7 mg/l a 306.8 mg/l, con un valor medio de 247.8 mg/l, La desviación estándar fue de 97.24 mg/l. El valor máximo de DQO se



encuentra fuera del límite permisible para descarga a un cauce de agua dulce. por lo cual se debe buscar algún metodo de remoción.

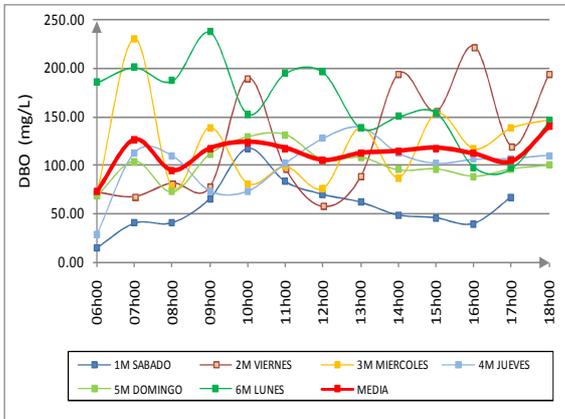


Fig.2.22. Evolución de la DBO en ARU

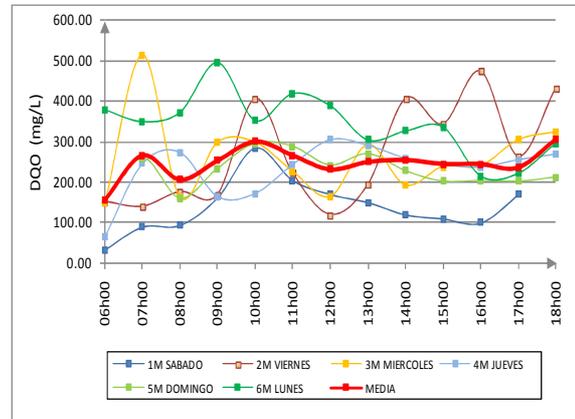


Fig.2.23. Evolución de la DQO en ARU

La contaminación por origen biológico está representada por los Coliformes totales que se encuentran en un intervalo de $3.48E+07$ ufc/100ml a $4.87E+07$ ufc/100ml, con un valor medio de $4.09E+07$ ufc/100ml. La desviación estándar fue de $2.9E+07$ ufc/100ml lo que indica que existe un dispersión significativa del conjunto de datos con respecto a la media. Los Coliformes fecales son otro indicador de contaminación por desechos humanos para nuestro estudio se encuentran en el rango de $2.2E+07$ ufc/100ml a $2.9E+07$ ufc/100 ml, con una media de $2.5E+07$ ufc/100 ml.

El Echerichia Coli se encuentra en un rango de $1.4E+07$ ufc/100ml a $2.8E+07$ ufc/100 ml, con una media de $1.8E+07$ ufc/100 ml. La desviación estándar es de $1.49E+07$ ufc/100 ml.

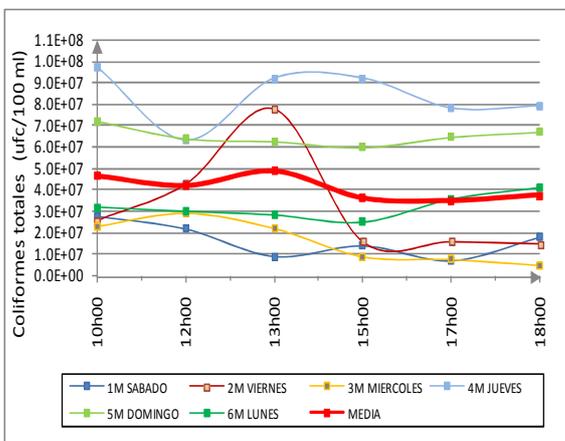


Fig.2.24. Coliformes Totales en ARU

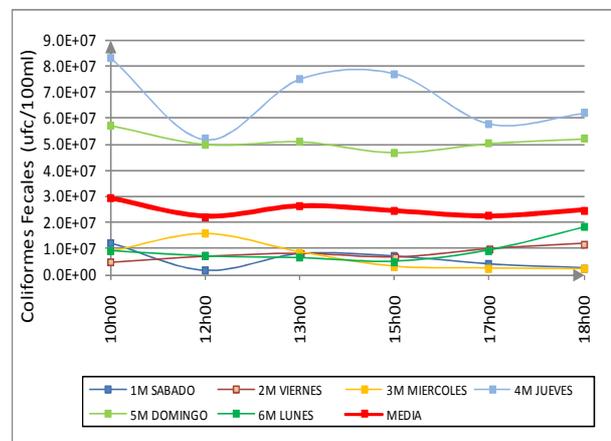


Fig.2.25. Coliformes fecales en ARU

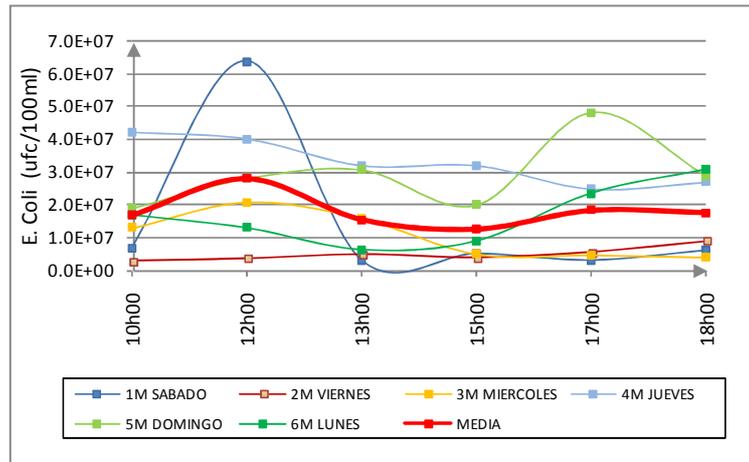


Fig.2.26. Escherichia Coli fecales en el ARU

Con respecto a los metales pesados analizados no se ha encontrado presencia de Cadmio, Cromo, Mercurio y Níquel. El Hierro se encuentra en una concentración que oscila entre 0.42 mg/l a 0.80 mg/l, con un valor medio de 0.54 mg/l. En la fig. 2.23 se puede observar que los datos del primer muestreo están altamente dispersos con respecto a los demás datos, esto debido a que en este día se presentaron lluvias que pueden haber ocasionado arrastre de elementos que contienen este metal, por lo tanto no es representativo. Además, la concentración de hierro es baja con respecto al límite máximo de descarga a causas de agua dulce (25 mg/l).

Otro de los metales presentes en el agua residual es el plomo que se encuentra en un intervalo de 0.01 mg/l a 0.05 mg/l, con una media de 0.029 mg/l. El manganeso por su parte está en el rango de 0.09 mg/l a 0.14 mg/l, con una desviación estándar de 0.07 mg/l. El Zinc esta en el rango de 0.07 mg/l a 0.14 mg/l, con un valor medio de 0.11 mg/l.

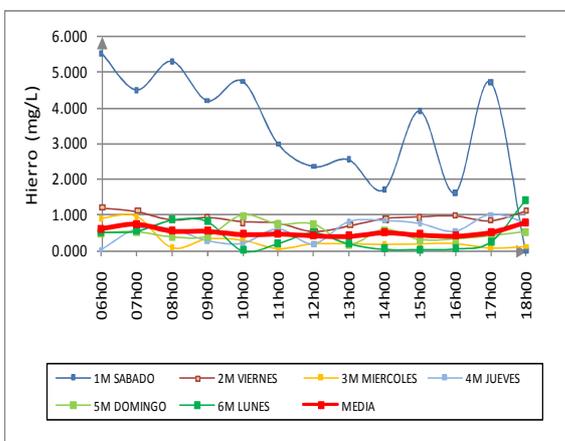


Fig.2.27. Evolución del Hierro en ARU

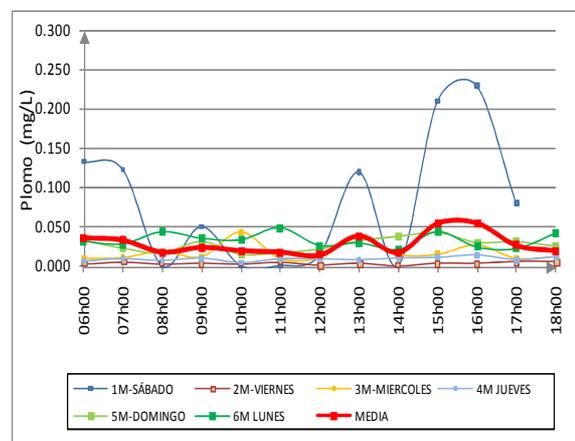


Fig.2.28. Evolución del Plomo en ARU



Con respecto a los pesticidas organoclorados (Alfa HCH, HCB, Beta HCH, Gama HCH, Delta HCH, Heptacloro, Aldrin, 2-4 DDE, Alfa Endosulfan, 4-4 DDE, Dieldrin, Endrin Beta, 2-4 DDT, 4-4 DDT, Metoxicloro y Mixer) y pesticidas organofosforados (Chlorpyrifos metil, Azinfos methyl, Ethion, Carbofenoton y Tetraclorvinfos), se encuentran en concentraciones muy bajas y están dentro del límite máximo permisible para descarga de aguas residuales a cuerpos de agua dulce, 0.1 y 0.05 para pesticidas organofosforados y pesticidas organoclorados respectivamente.

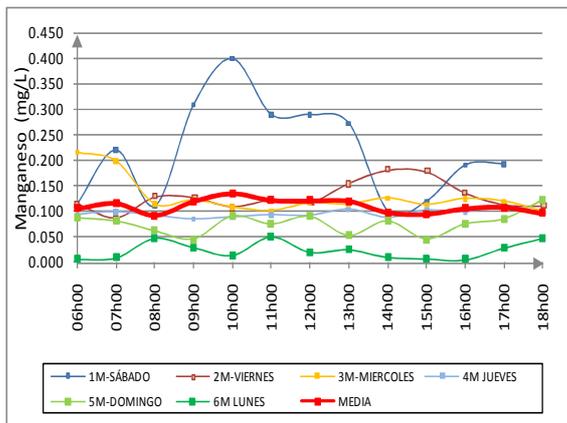


Fig.2.29. Evolución Manganeseo en ARU

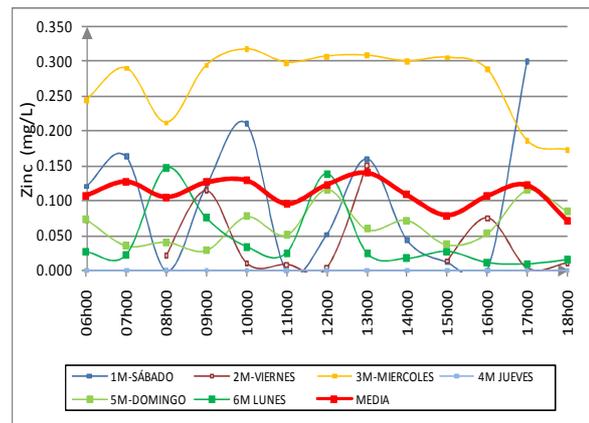


Fig.2.30. Evolución del Plomo en ARU

Las concentraciones más bajas de los parámetros característicos del ARU se registraron sobre todo en días festivos o después de episodios de lluvia. También se registraron ocasionalmente concentraciones extremadamente altas, de estos parámetros. Con el fin de evitar una desviación excesiva de los valores de estos parámetros, se decidió hacer un modelamiento de los datos en función de la desviación estándar y nuestro criterio técnico.

2.2.7 Medida de la biodegradabilidad

La materia orgánica biodegradable se mide en términos de la DBO y la materia orgánica total por la DQO. Si DBO_5/DQO , es mayor que 0.5, los residuos se consideran tratables mediante procesos biológicos. Por lo tanto, de la caracterización de aguas residuales para Gonzanamá se puede determinar que la relación DBO_5/DQO del agua residual domestica bruta es biodegradable.

SEOÁNEZ Mariano (2004), define la siguiente relación de biodegradabilidad:



$$K = \frac{DQO}{DBO_5} \quad \text{(Ecuación 2.1)}$$

Y representa la fracción de DQO que es biodegradable. Los casos típicos de relación de biodegradabilidad se presentan en la tabla 2.6

Tabla 2.6 Biodegradabilidad del agua residual

K	Afluente
1.5	Afluente biodegradable de forma natural
2 < K < 3	Afluente urbano biodegradable si se trata
K > 5	Afluente no biodegradable. Es típico de muchos afluentes industriales

Nota: Casos típicos de relación de biodegradabilidad. SEOÁNEZ CALVO Mariano (2004). pág. 79.

Para una concentración de DBO5 máxima de 139. 44 mg/l y de DQO 306 mg/l, el coeficiente K es de 2.2, lo que indica que el agua residual de la ciudad de Gonzanamá es biodegradable aplicándosele un tratamiento primario.



CAPÍTULO

3



CARACTERIZACIÓN FÍSICA. QUÍMICA E HIDRÁULICA DEL SUELO

La eliminación de los componentes dañinos de las aguas residuales urbanas mediante métodos naturales aplicados sobre el terreno, han sido un medio de depuración adoptado con el fin de reutilizar el agua y el contenido de nutrientes en el riego para mejorar la agricultura. Por tanto, el suelo debe estar en condiciones de poder receptor la cantidad y el contenido de contaminantes del agua residual, por esta razón se ha realizado diferentes ensayos que permitieron establecer si el terreno disponible es apropiado o no, para cumplir con el objetivo propuesto. Es por ello que, en este capítulo se estudian las características físicas, químicas e hidráulicas del suelo.

3.1 MUESTREO DE SUELOS

El muestreo de suelos es la etapa previa al análisis y determinación de los parámetros de caracterización física, química e hidráulica del suelo. Consiste en la recolección de muestras del material que conforma el suelo, que sea representativa del sitio a caracterizar. Además, se debe considerar el tamaño, manejo, transporte y tratamiento de la muestra.

La planificación del muestreo de suelos en el cantón Gonzanamá, inició con el reconocimiento del terreno disponible para realizar el tratamiento de las aguas residuales, realizando una inspección visual para conocer las condiciones actuales del mismo asegurando que el muestreo sea eficaz. De esta forma, fue posible definir 3 a 4 puntos de muestreo por hectárea, obedeciendo a la homogeneidad del terreno y ubicándolos de tal forma que cubran toda el área disponible.

3.1.1 Toma de muestras para ensayos físicos

La muestra para efectuar los ensayos físicos del suelo fue inalterada, utilizando el equipo de perforación manual denominado cuchara posteadora para la obtención de las muestras.

El procedimiento para la recolección de las muestras fue el siguiente:

- Retirar la capa vegetal del área escogida como punto de muestreo.
- Realizar las perforaciones para obtener aproximadamente 2 Kg de material.



- Colocar las muestras en fundas plásticas apropiadas para conservar las condiciones de humedad del suelo hasta que sea transportado al laboratorio. etiquetarlas con el respectivo número de muestra. condiciones de humedad. fecha. lugar. número de perforación.

Se recolectaron 4 muestras compuestas a diferentes profundidades. cada una constituida por material de cada estrato proveniente de cada una de las perforaciones. Además se realizó una calicata para efectuar la evaluación visual de los horizontes del suelo, presentados en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Datos de Inspección visual in situ de los estratos del terreno

ESTRATO	PROFUNDIDAD (m)	ESPESOR (m)	CARACTERÍSTICA DEL SUELO
1	0.40	0.40	Suelo orgánico color café oscuro con presencia de raíces.
2	0.70	0.30	Suelo de color café con motas amarillas.
3	1.20	0.50	Suelo color amarillento.
4	2.10	0.90	Suelo de color café oscuro con motas amarillas y negras bien pronunciadas.



Fig. 3.1 Toma de muestras de ensayos físicos de suelos

3.1.2 Toma de muestras para ensayos químicos.

La muestra para efectuar los ensayos químicos de suelos es inalterada preservando las características in-situ. El procedimiento para su obtención consistió en realizar una



calicata de aproximadamente 1x1x2m, para extraer un cubo de aproximadamente 20 cm de arista y 2 kg. (fig. 3.2).

Para el estudio se obtuvieron tres muestras inalteradas hasta una profundidad de 1.80 m.



Fig. 3.2. Muestra inalterada de suelo

Las muestras obtenidas fueron recubiertas con una capa de parafina para preservar sus características y condiciones de humedad. y posteriormente ser enviadas al laboratorio de suelos para los análisis respectivos.

3.2 Análisis de laboratorio y ensayos in-situ

Los ensayos de clasificación física e hidráulica del suelo se realizaron en el laboratorio de mecánica de suelos de la UTPL, basados en normas ASTM y otros métodos que se especifican en la tabla 3.2.

Tabla 3.2. Normas de ensayos y métodos para caracterización del suelo.

ENSAYOS FÍSICOS	
ENSAYO	NORMA
Límite Líquido	ASTM 423-66
Límite plástico	ASTM D 4318
Granulometría	ASTM D 422
Textura	ASTM D 422 - (método del hidrómetro)
pH	Relación suelo: Agua 1:2:5
ENSAYOS QUÍMICOS	
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.
Fósforo y Potasio Asimilables	Colorimétrico
Calcio. Magnesio y Microelementos (Fe. Mn. Cu y Zn).	Espectrofotometría de Absorción Atómica
Capacidad de Intercambio de cationes	Extracción con acetato de amonio pH 7. lavado con alcohol etílico y titulación con ácido sulfúrico 10/N



ENSAYO	NORMA
ENSAYOS HIDRÁULICOS	
Permeabilidad in-situ	Método Lefranc
Permeabilidad en laboratorio	ASTM D 2434-68



Fig. 3.3 Ensayo de textura del suelo

3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.3.1 Caracterización física del suelo

La caracterización física, ha consistido en definir el tipo de suelo mediante la clasificación del mismo por los métodos SUCS Y ASHTO. Para cumplir con este fin, se ha realizado los siguientes ensayos: límite líquido, límite plástico, granulometría y textura.

Los resultados de la clasificación se muestran en la tabla 3.3 y los cálculos como los resultados de los análisis de laboratorio se muestran en el Anexo 3.

Tabla 3.3 Caracterización física del suelo

MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	LP	LL	IP	W %	IG	CLASIFICACIÓN		TEXTURA
							SUCS	AASHTO	
1	0 a 0.40	31	63	32	33	33	CH	A - 7 - 5 (33) Suelos arcillosos (Regular a pobre)	Ac
2	0.40 a 0.70	31	60	29	33	27	CH	A - 7 - 5 (27) Suelos arcillosos (Regular a pobre)	Ac
3	0.70 a 1.2	26	60	35	47	27	CH	A - 7 - 5 (27) Suelos arcillosos (Regular a pobre)	Ac
4	1.2 a 2.1	26	48	22	22	9	CL	A - 7 - 6 (9) Suelos arcillosos (Regular a pobre)	Fo-Ac-Ao



Las características físicas del suelo de la zona en estudio se resumen en el perfil estratigráfico mostrado en la fig. 3.4.

PROYECTO: PIC - 08 - 00000120 Estudio, diseño y selección de tecnologías de tratamientos de aguas residuales domésticas aplicables a las cabeceras cantonales con poblaciones menores a 5000 habitantes mediante infiltración directa en el terreno de la provincia de Loja.											
LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO:		CANTÓN GONZANAMÁ		PERFORACIÓN No:	1	ENSAYADO Y	LORENA ELIZABET BERMEO CASTILLO				
DESCRIPCIÓN DEL SUELO:		SUELO ARCILLOSO		PROFUNDIDAD:	0 - 2.1 m	CALCULADO POR:	JORGE LUIS SANTÍN TORRES				
NORMA:		ASTM D1586, INEN 689				REVISADO POR:	ING. MÓNICA CISNEROS ABAD				
MUESTRA	PROF. (m)	PERFIL	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	GRANULOMETRÍA			LL	IP	W	SUCS	ASSHTO
				G	S	F	%	%	%		
			Capa vegetal								
1	0-0.40		Descrita como arcilla orgánica debido al color café oscuro y presencia de raíces, la norma nos indica un suelo arcilloso denso arenoso.	1	10	88	63	32	33	CH	A - 7 -5 (33)
2	0.40-0.70		Suelo color café con presencia de motas amarillas, la norma nos indica un suelo arcillo denso arenoso o suelo arcilloso regular a pobre.	1	16	81	60	29	33	CH	A - 7 -5 (27)
3	0.70-1.20		El suelo presenta un color amarillento, la norma nos indica que el suelo es arcillo denso arenoso o suelo arcilloso de regular a pobre.	2	20	74	60	35	47	CH	A - 7 -5 (27)
4	1.20-2.10		El suelo es de color café oscuro con motas amarillas y negras bien pronunciadas, estas motas negras son formaciones de agregados. Según la norma este es un suelo arcillo ligero arenoso o suelo arcilloso pobre.	4	44	53	48	22	22	CL	A - 7 -6 (9)
			En esta perforación no se encontró el nivel freático								

Fig. 3.4 Perfil estratigráfico del Suelo

Por tanto, se puede concluir que el tipo de suelo que se encuentra en la zona de estudio es generalmente de tipo arcilloso-impermeable lo cual dificultaría la selección del tratamiento por infiltración rápida o infiltración lenta para depurar las aguas residuales de la ciudad de Gonzanamá.

3.3.2 Caracterización química del suelo

Es importante conocer qué tipo de componentes químicos se encuentran disponibles en la matriz del suelo. ya que estos condicionan su capacidad depuradora y afectan la remoción u absorción de ciertos constituyentes del agua residual, además de conocer si está contaminado.



Los análisis químicos nos permitieron conocer: pH, contenido de materia orgánica, nitrógeno total, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, cobre, zinc, boro, azufre y capacidad de intercambio catiónico, como se presentan en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4. Resultados de ensayos químicos del suelo

MUESTRA	PROFUNDIDAD	pH	M.O.	N Total	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	B	S	C.I.C	C.E.
			%	%	PPM	cmol/kg	cmol/kg	cmol/kg	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	dS/m 250C	(Meq/100)
1	0.70	6.44	1.54	0.08	1.7	0.25	11.8	32.5	36.7	7.0	4.2	2.8	0.18	0.14	26.7	0.14
2	1.20	6.08	0.28	0.01	1.8	0.15	8.4	7.0	28.6	9.4	5.0	4.0	0.18	0.13	28.3	0.13
3	1.80	6.15	0.33	0.02	1.7	0.20	10.6 5	15.6 4	32.3	9.0	5.0	3.6	0.20	0.09	28.3	0.09

M.O.: Materia Orgánica; N Total: Nitrógeno Total; P: Fósforo; K: Potasio; Ca: Calcio; Mg: Magnesio; Fe: Hierro; Mn: Manganeso; Cu: Cobre; Zn: Zinc; B: Boro; C.I.C: Capacidad de Catiónico; C.E.: Conductividad Eléctrica.

De los resultados obtenidos en los análisis químicos de suelos y utilizando las tablas 3.5, 3.6, 3.7 otorgadas por los laboratorios de AGROCALIDAD para la determinación de la alta, media o baja concentración de los componentes químicos del suelo, en la tabla 3.8 se presenta la caracterización química del suelo.

Tabla 3.5. Interpretación de los rangos de pH y C.E del suelo (Sierra)

pH (Adimensional)		C. E (dS/m)	
Acido	5.5	No salinos	< 2
Ligeramente acido	5.6 -6.4	Ligeramente Salinos	2 – 3
Prácticamente Neutro	6.5 – 7.5	Salinos	3– 4
Ligeramente alcalino	7.6 – 8.0	Muy Salinos	4 - 8
Alcalino	8.1		

Fuente: Laboratorio de Suelos AGROCALIDAD- estación Tumbaco.

Tabla 3.6. Rangos de concentraciones de los componentes químicos del suelo (Sierra)

CONCENTRACIÓN	M.O.	N Total	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	B
	%	%	PPM	cmol/kg	cmol/kg	cmol/kg	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM
Bajo	0-2	0-0.15	0-10	< 0.2	< 1	< 0.33	0-20	0-5	0-1	0-3	< 1
Medio	2.1-4	0.16-0.3	11-20	0.2-0.38	1.0 -3.0	0.34-0.66	21-40	6-15	1.1 – 4	3.1 – 6	1-2
Alta	>4.1	>0.31	>21	> 0.4	> 3	> 0.66	> 41	> 16	> 4.1	>6.1	> 2

Fuente: Laboratorio de Suelos de AGROCALIDAD- estación Tumbaco.



Tabla 3.7. Interpretación de los rangos de CIC

CIC (Meq/100)	
Absorción Limitada	1 - 10
Absorción moderada	12 -20
Adsorción alta	>20

Fuente: Romero Rojas Jairo (1999)

Tabla 3.8. Caracterización química del suelo

MUESTRA	PROFUNDIDAD	pH	M.O.	N Total	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	B	C.I.C	C.E.
			%	%	PPM	cmol/kg	cmol/Kg	cmol/Kg	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	ds/m 250C	(Meq/100)
1	0.70	Ligeramente ácido	B	B	B	M	A	A	M	M	A	B	B	Absorción alta	No salinos
2	1.20	Ligeramente ácido	B	B	B	B	A	A	M	M	A	M	B	Adsorción alta	No salinos
2	1.80	Ligeramente ácido	B	B	B	B	A	A	M	M	A	M	B	Absorción alta	No salinos

M.O.: Materia Orgánica; N Total: Nitrógeno Total; P: Fósforo; K: Potasio; Ca: Calcio; Mg: Magnesio; Fe: Hierro; Mn: Manganeso; Cu: Cobre; Zn: Zinc; B: Boro; C.I.C: Capacidad de Catiónico; C.E.: Conductividad Eléctrica; B: Bajo; M: Medio; A: Alto.

De la caracterización química del suelo se concluye:

- El pH del suelo es ligeramente ácido adecuado para la mayoría de los cultivos.
- El porcentaje de materia orgánica en los tres estratos es bajo. lo cual es una característica de un suelo semiárido.
- La capacidad de intercambio catiónico en el suelo indica que la adsorción es alta y corresponde a suelos arcillosos orgánicos. Por tanto. existirá una mayor capacidad de depuración del agua residual.
- El contenido de macronutrientes en la zona de estudio. es relativamente baja a excepción de algunos componentes como el calcio y el potasio, esto indica que los componentes no son suficientes para el buen desarrollo agrícola de la zona.

3.3.3 Caracterización hidráulica del suelo

La caracterización hidráulica del suelo consistió en la determinación de la capacidad de infiltración llamada permeabilidad y la profundidad del nivel freático. Estos parámetros influyen directamente en la selección de la alternativa de tratamiento de las aguas residuales.



a. Permeabilidad en laboratorio

Para realizar este ensayo se extrajo una muestra compuesta de suelo de los diferentes estratos hasta una profundidad de 3 metros. El ensayo en laboratorio se realizo por el método de carga variable, siguiendo la norma especificada en la tabla 3.2.

Los datos obtenidos del ensayo son los siguientes:

- $t_0 = 10h42$
- $t_f = 17h 21$
- $t = 6 h 39 = 23940 s$
- $h_1 = 163.5 cm$
- $h_2 = 160.3 cm$
- $a = 1.12 cm$
- Temperatura del agua = 21 °C
- Diámetro del espécimen = 10.22 cm²
- L del espécimen = 11.63 cm
- Área del molde A = 82.03 cm²

Se obtiene el valor del coeficiente de permeabilidad k así:

$$k = \frac{2.3aL}{A * t} \log \frac{h_1}{h_2} \tag{Ecuación 3.1}$$

$$k = \frac{2.3(1.12)(11.63)}{(82.03)(23940)} \log \frac{163.5}{160.3} = 1.31E - 07 cm / s$$

Seguidamente se realiza la corrección del valor de k a 20 °C utilizando un coeficiente de corrección de 0.9761. De esta forma, el valor de k es:

$$\text{Coeficiente de permeabilidad } k_{20^{\circ}\text{C}} = 1.28E-07$$

Con el valor de k a 20°C, se utiliza la tabla 3.9 p para determinar cualitativamente el grado de permeabilidad del suelo.



Tabla 3.9. Valores de K en cm/s para distintos tipos de suelo

	100	10	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹
Drenaje	Bueno						Pobre			Prácticamente impermeable		
Tipo de suelo	Grava limpia		Arenas limpias y mezclas limpias de arena y grava			Arenas muy finas, limos orgánicos e inorgánicos, mezclas de arena, limo y arcilla, morenas glaciares, depósitos de arcilla estratificada			Suelos "impermeables", modificados por la vegetación o la descomposición. ^d			
Determinación directa de k	Ensayo directo del suelo "in situ" por ensayos de bombeo. Se requiere mucha experiencia, pero bien realizados son bastante exactos.						Permeámetro de carga hidráulica constante. No se requiere mayor experiencia.					
Determinación indirecta de k			Permeámetro de carga hidráulica decreciente. No se requiere mayor experiencia y se obtienen buenos resultados		Permeámetro de carga hidráulica decreciente. Resultados dudosos. Se requiere mucha experiencia.			Permeámetro de carga hidráulica decreciente. Resultados de regular a bueno. Se requiere mucha experiencia.				
	Por cálculo, partiendo de la curva granulométrica. Sólo aplicable en el caso de arenas y gravas limpias sin cohesión.								Cálculos basados en los ensayos de consolidación. Resultados buenos. Se necesita mucha experiencia			

Por lo tanto, el suelo conformado por arcillas estratificadas es de drenaje prácticamente impermeable, modificado por la vegetación o descomposición. Estos resultados se presentan en la tabla 3.10.

Tabla 3.10. Permeabilidad del suelo a 20 °C

Muestra #	h1 (cm)	h2 (cm)	t (s)	T (°C)	Permeabilidad K (cm/s)	Coefficiente Corrección	Permeabilidad K a 20 °C (cm/s)	
1	163.5	160.3	23940	21	2.14E-07	0.9761	1.28 E-07	Perm. Pobre

– **Ensayo de velocidad de infiltración (permeabilidad in-situ)**

Para determinar la velocidad de infiltración del suelo K, se ha utilizado el método Lefranc por carga variable. Este método es apropiado para el tipo de suelo arcilloso, donde la permeabilidad se supone baja.

El ensayo se ejecutó, primeramente realizando una perforación hasta aproximadamente 1.95 m con una perforadora mecánica, para posteriormente preparar el pozo de ensayo colocando una capa de grava de 30 cm.



Paso seguido se introduce, un tubo el cual se llena con agua hasta una altura h_0 como referencia, hasta que el suelo se sature, y subsiguientemente se mide el tiempo que demora en infiltrarse en diferentes intervalos de profundidad. El tiempo de ensayo fue de 61 minutos.

Con los datos de campo obtenidos se realizó los cálculos respectivos que se detallan en el Anexo 3, de los cuales se obtiene una velocidad de infiltración igual a $9.037 \text{ E-}07$ m/s.

– **Profundidad del nivel freático**

La profundidad del nivel freático, fue determinada en campo mediante perforaciones realizadas con una perforadora mecánica.

En el terreno escogido para realizar la caracterización del suelo no se ha encontrado el nivel freático hasta la profundidad de exploración de 3 m, con lo cual se puede asegurar que la depuración de las aguas residuales mediante las tecnologías naturales en proceso de selección no contaminará aguas subterráneas o acuíferos. Además este resultado hace posible la aplicación de cualquiera de los métodos naturales preseleccionados.



CAPÍTULO

4



ESTUDIO CLIMATOLÓGICO DE LA ZONA

El estudio climatológico de la ciudad de Gonzanamá consintió en la determinación de los factores como: precipitación media mensual, temperaturas medias mensuales, velocidades medias mensuales del viento en 24 horas, evapotranspiración mensual y balance hídrico. Estos parámetros están representados mediante gráficas y cuadros expuestos más adelante.

4.1 PRECIPITACIÓN

El método utilizado para los cálculos de precipitación media mensual es el de la Media Aritmética (MA), consiste en calcular el promedio aritmético de las precipitaciones mensuales de todos los años de registro disponibles de la estación climatológica ordinaria Gonzanamá. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 4.1.

Tabla 4.1. Precipitación media mensual en la ciudad de Gonzanamá

NOMBRE:	GONZANAMA		
CÓDIGO:	M149		
LATITUD:	4°	13'	49" S
LONGITUD:	79°	25'	52" W
ELEVACIÓN:	2042	msnm	

PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL (mm)												
Meses	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media Mensual	139.8	192.2	218.7	172.7	74.1	20.8	16.4	12.3	39.4	82.1	84.2	100.8

La figura 4.1 muestra que la época lluviosa está comprendida entre los meses de diciembre a abril, registrándose una precipitación media de 218.7 mm. La época seca se encuentra comprendida entre los meses de mayo a septiembre, donde se registra muy poca incidencia de lluvia.

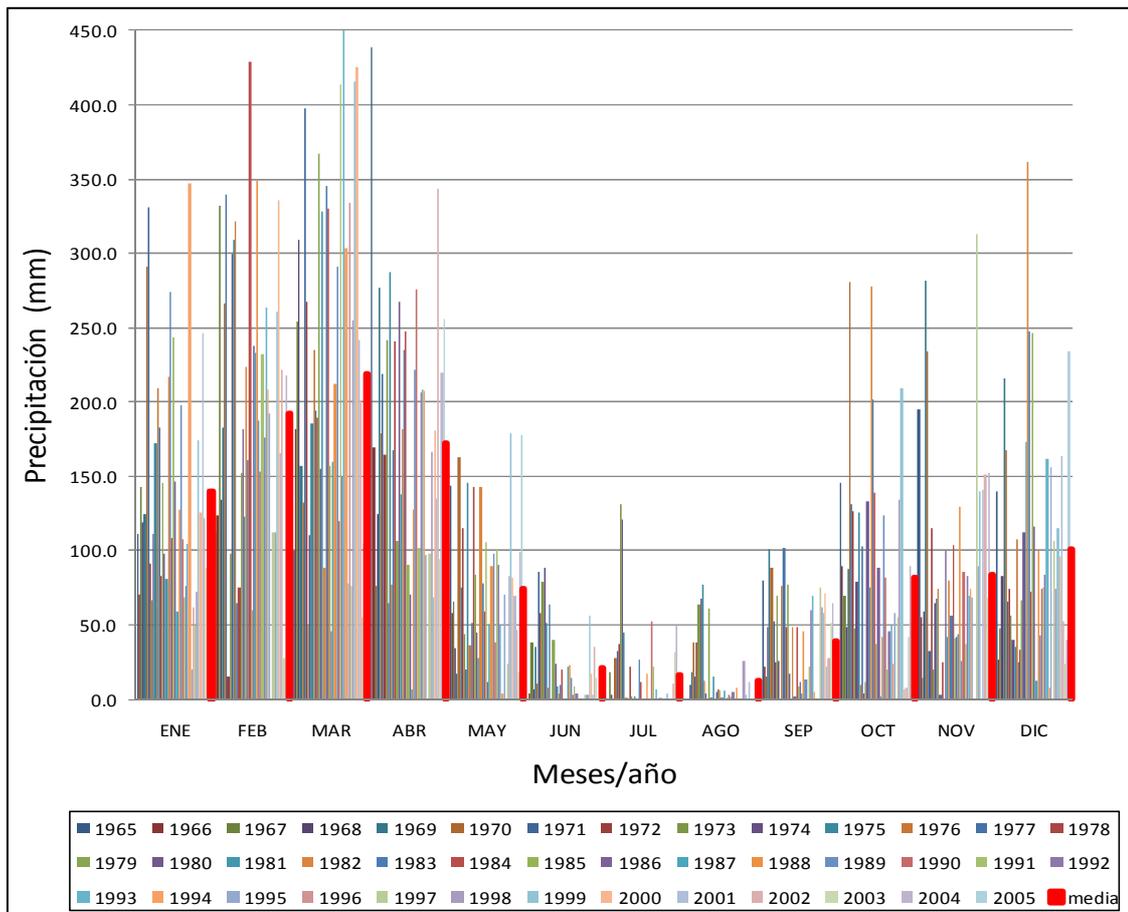


Fig. 4.1. Variación de la precipitación con respecto al tiempo

4.2 TEMPERATURA

El estudio de la temperatura de la localidad inició con el relleno de los datos faltantes en el registro, utilizando el método de la media aritmética (MA), seguidamente se obtuvo la temperatura media mensual como se presenta en la tabla 4.2.

Tabla 4.2. Temperaturas medias mensuales en la ciudad de Gonzanamá

NOMBRE:	GONZANAMA											
CÓDIGO:	M149											
LATITUD:	4 ⁰	13'	49"	S								
LONGITUD:	79 ⁰	25'	52"	W								
ELEVACIÓN:	2042	msnm										
TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)												
Meses	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media Mensual	16.3	16.4	16.7	17.0	17.3	17.1	17.1	17.2	17.4	17.2	17.2	16.9

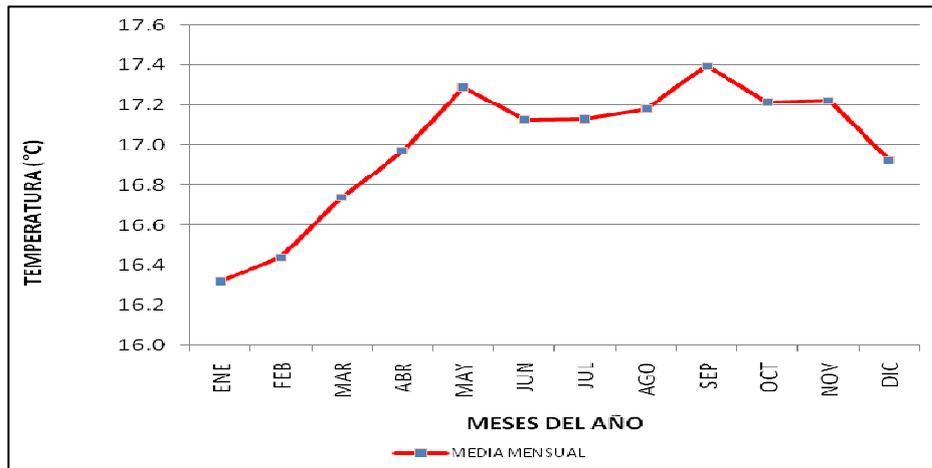


Fig. 4.2. Variación de temperatura con respecto al tiempo

La figura 4.2 muestra la variación de las temperaturas medias mensuales en el curso del año, ilustrando así la amplitud de temperatura sobre la ciudad de Gonzanamá. La temperatura mínima media mensual se presenta en el mes de Enero con un valor de 16.3 °C y la temperatura máxima media mensual en septiembre con un valor de 17.4 °C.

Las temperaturas más altas se presentan entre los meses de mayo y noviembre, donde la ciudad de Gonzanamá tiene un clima más cálido que a inicios del año.

4.3 CLIMOGRAMA DE LA CIUDAD DE GONZANAMÁ

Para mejor interpretación de los resultados de precipitación y temperatura, es importante representar en un climograma el periodo de aridez de la zona; designada así al lapso de tiempo en que la curva de temperatura esta sobre la curva de precipitación.

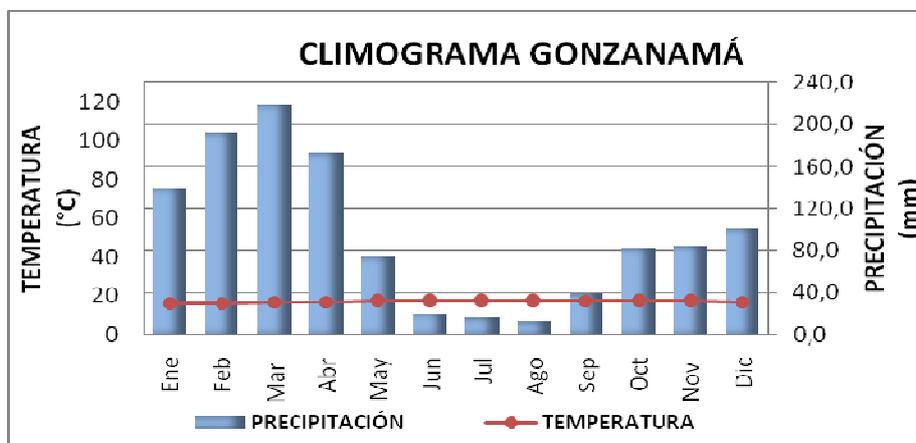


Fig. 4.3. Climograma de la ciudad de Gonzanamá



La figura 4.3 muestra el periodo de aridez en los meses de junio, julio y agosto. En esta temporada seca es importante proveer a la población de agua para riego de productos y pastizales, que es a lo que más se dedica la población de acuerdo al estudio socioeconómico.

4.4 VIENTO

Las velocidades medias mensuales del viento se han calculado utilizando el método de la media aritmética (MA) los resultados se presentan en la tabla 4.3.

Tabla 4.3. Velocidad media mensual del viento en la ciudad de Gonzanamá

NOMBRE:	GONZANAMA		
CÓDIGO:	M149		
LATITUD:	4 ⁰	13'	49" S
LONGITUD:	79 ⁰	25'	52" W
ELEVACIÓN:	2042	msnm	

VELOCIDAD MEDIA MENSUAL EN 24 HORAS (m/s)												
Meses	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media Mensual	0.89	0.96	0.90	1.14	1.24	1.70	2.1	2.55	1.60	1.36	1.09	0.94

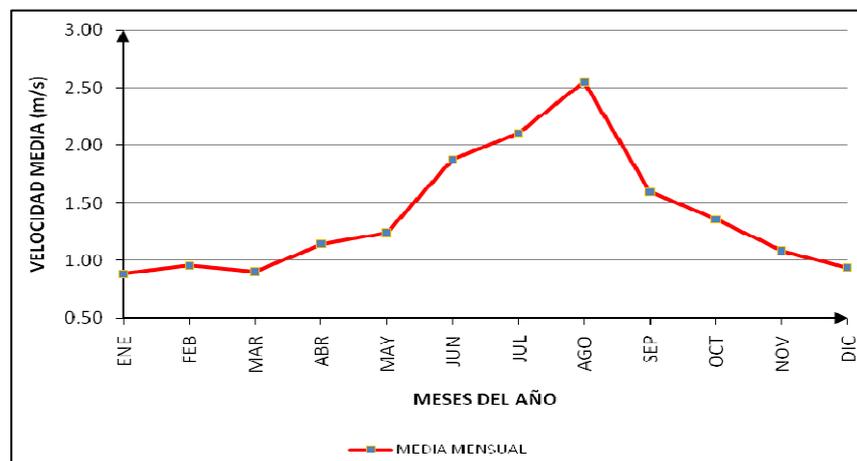


Fig. 4.4. Variación de la velocidad del viento respecto al tiempo

De la figura 4.4 se observa que la velocidad media más alta en la ciudad de Gonzanamá se presenta en el mes de Agosto con un valor de 2.55 m/s. La velocidad del viento empieza a aumentar en la época más cálida del año, desde el mes de mayo hasta octubre donde disminuye su velocidad a valores de 1 m/s en toda la época de invierno.



La dirección preponderante del viento en la ciudad de Gonzanamá fluye con mayor incidencia en la dirección ESTE y NORESTE de los puntos cardinales. (Chiroque Suárez, 2003).

4.5 EVAPOTRANSPIRACIÓN

La cantidad de agua absorbida por la vegetación más la evaporación producida por las temperaturas influenciadas por los días soleados, se cuantifican mediante el cálculo de la evapotranspiración.

Se determinó la evapotranspiración por el método de Thornthwaite, el cual requiere datos de temperaturas medias mensuales para su análisis. El cálculo y resultados se muestran en la tabla 4.4.

Tabla 4.4. Calculo de evapotranspiración mensual en la ciudad de Gonzanamá

Valores Mensuales												
Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Temperatura media °C	16.3	16.4	16.7	17.0	17.3	17.1	17.1	17.2	17.4	17.2	17.2	16.9
Índice de calor mensual "i"	6.0	6.1	6.2	6.4	6.5	6.4	6.4	6.5	6.6	6.5	6.5	6.3
Índice de calor anual "I"	76.4											
Parámetro "a"	1.7											
ETP sin ajustar (mm/mes)	58.4	59.3	61.2	62.7	64.8	63.6	63.5	63.9	65.3	64.1	63.9	62.2
ka	1.0	0.9	1.0	1.0	1.1	1.0	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0
ETP (mm/mes)	59.8	55.0	63.4	63.8	68.4	65.5	67.0	67.2	66.2	66.1	63.2	62.3

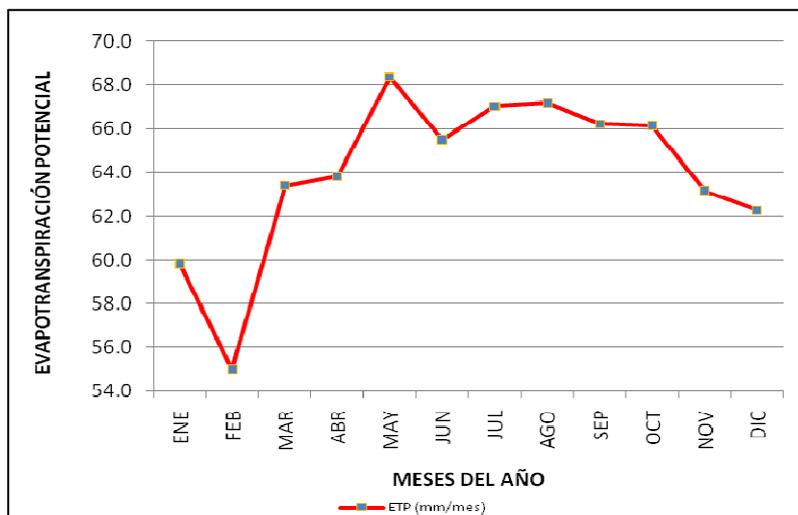


Fig. 4.5. Variación de evapotranspiración a lo largo del año



Los valores más altos de evapotranspiración se encuentran entre los meses de abril y octubre, registrados como meses áridos del año, además se nota que los valores no se alejan considerablemente, por lo que se puede establecer que las cantidades de agua necesaria como pérdida totales entre suelo y vegetación son cercanas en todo el transcurso del año, a excepción de los dos primeros meses donde existe exceso de caudal en el suelo debido a la lluvias.

4.6 BALANCE HÍDRICO

Partiendo del conocimiento de las precipitaciones medias mensuales y de la evapotranspiración mensual se puede determinar el balance hídrico en el suelo a lo largo del año, permitiendo evaluar la disponibilidad, exceso y déficit del agua en el suelo.

Para el estudio de este parámetro se ha utilizado el método directo propuesto por Thornthwaite y Matter, según el cual se pierde agua para poder generar la evapotranspiración potencial hasta agotar la reserva. Los cálculos y resultados se encuentran en la tabla 4.5.

Tabla 4.5. Cálculo del balance hídrico del suelo en la ciudad de Gonzanamá

Concepto	Valores Mensuales											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
ETP (mm/mes)	59.8	55.0	63.4	63.8	68.4	65.5	67.0	67.2	66.2	66.1	63.2	62.3
Precipitación (mm)	139.8	192.2	218.7	172.7	74.1	20.8	16.4	12.3	39.4	82.1	84.2	100.8
Precipitación - ETP	80.0	137.2	155.3	108.9	5.7	-44.7	-50.6	-54.9	-26.8	15.9	21.0	38.5
Reserva del suelo	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	55.3	4.6	0.0	0.0	15.9	37.0	75.5
Variación de la reserva	61.5	0.0	0.0	0.0	0.0	-44.7	-50.6	-4.6	0.0	15.9	21.0	38.5
ETR (mm/mes)	59.8	55.0	63.4	63.8	68.4	65.5	67.0	16.9	39.4	66.1	63.2	62.3
Déficit o sequía	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.3	26.8	0.0	0.0	0.0
Exceso de agua	18.5	137.2	155.3	108.9	5.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

En la figura 4.7 se observa claramente el balance hídrico en el suelo en los diferentes meses a lo largo del año, de esta forma que entre enero y mayo existe gran cantidad de agua sobre el suelo. Mientras que, en los siguientes meses se nota una disminución considerable de la cantidad de agua en el suelo, presentando una época de sequía entre los meses de mayo y octubre, luego de esta fecha en los tres últimos meses del año se presenta una recarga de agua sobre el suelo hasta nuevamente tener un exceso debido al retorno del ciclo lluvioso del año.

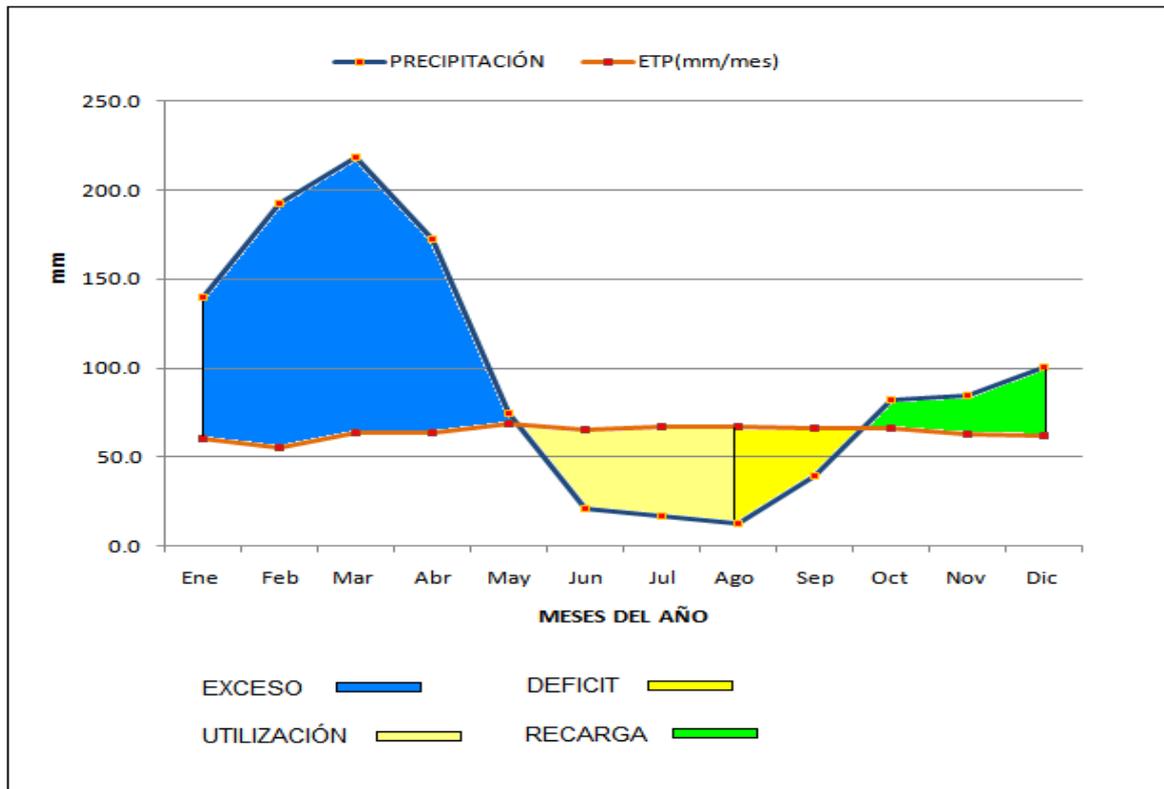


Fig. 4.6. Ficha hídrica del cantón Gonzanamá



CAPÍTULO

5



SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

Para la selección de un tratamiento de depuración de aguas residuales domésticas es necesario analizar todas las variables que faciliten el proceso de toma de decisiones, considerando múltiples criterios y aspectos desde el punto de vista técnico, ambiental, social, económico que garanticen la sostenibilidad y eficiencia de la tecnología implementada.

5.1 ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO

Los sistemas naturales de depuración con aplicación directa en el terreno escogidas como alternativas de tratamiento de las aguas residuales para la ciudad de Gonzanamá son las siguientes:

- Tratamientos sobre el terreno {
 - Infiltración rápida
 - Infiltración Lenta
 - Flujo superficial

- Métodos acuáticos {
 - Humedales de flujo superficial
 - Humedales de flujo subsuperficial

De los métodos propuestos se realizará una comparación respecto a las variables que intervienen para escoger la tecnología que más se adapte a las necesidades de la ciudad de Gonzanamá.

5.2 CRITERIOS CONSIDERADOS EN LA SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE TRATAMIENTO

Los criterios de selección mencionados en el apartado 1.9 son la base fundamental en la selección de la alternativa de tratamiento por métodos naturales. Por lo tanto, en las tablas siguientes se presenta las variables que cada criterio considera necesarias, para mencionado proceso, tomando en consideración las condiciones propias de la ciudad de Gonzanamá.



Tabla 5.1 Factores demográficos

VARIABLE	VALOR
Población actual (habitantes)	1960
Población futura (25 años) (habitantes)	3734
Existencia y tipo de Alcantarillado (%)	100% zona urbana. separado y combinado
Cobertura de agua potable (%)	100% zona urbana

Tabla 5.2 Características del terreno

VARIABLE	VALORACIÓN
Superficie necesaria (m ² /hab)	Aproximadamente 1 Ha.
Topografía (Adimensional)	Moderada
Profundidad del Nivel freático (m)	> 3
Pendiente (%)	8 – 16

Tabla 5.3 Características del suelo

VARIABLE	VALORACIÓN
Permeabilidad del suelo (Adimensional)	Permeabilidad Baja
Velocidad de infiltración (mm/h)	3. 2
Textura (Adimensional)	Fina
Tipo de Suelo (Adimensional)	Arcillosos

Tabla 5.4 Objetivos del tratamiento

VARIABLE	OBJETIVO
Expectativas de calidad del efluente	Reutilización de la mayor cantidad posible de caudal
Nivel de tratamiento	Primario y Secundario
Descarga del efluente	Aguas para riego de cultivos o descarga a cuerpos de agua dulce.
Expectativas de reúso	Población con gran necesidad de agua para riego de pastos y cultivos.
Estándares de calidad del efluente	Concentraciones cumplan la norma de calidad admisible para aguas de uso agrícola o límites de descarga a cuerpos de agua dulce.

Tabla 5.5 Factores climáticos

FACTORES CLIMÁTICOS	
Temperatura ambiente (°C)	16 a 17. 5
Precipitación media máxima	Época lluviosa - diciembre a abril (70 a 224 mm/mes) Época seca - mayo a septiembre
Vientos	Velocidad media máxima Agosto 1 - 2.55 m/s. De mayo a octubre disminuye velocidad a valores de 1 m/s. La dirección del viento es generalmente ESTE y NORESTE.
Evapotranspiración	Los valores más altos son de abril a octubre.

Tabla 5.6 Características del ARU ciudad de Gonzanamá

CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL	
Origen	Doméstico
Caudal Pico	12 L/s
Caudal Medio	9.50 L/s



Tabla 5.7 Composición del ARU

CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL		
COMPOSICIÓN	PH	7.35 mg/L
	Sólidos disueltos	121.28 mg/L
	Sólidos totales	349.33 mg/L
	Sólidos Suspensión	82.40 mg/L
	Nitrógeno Orgánico	23.55 mg/L
	Nitrógeno Amoniacal	27.18 mg/L
	Nitrógeno de Nitrato	2.82 mg/L
	Nitrógeno de Nitrito	0.21 mg/L
	Cloruro	34.10 mg/L
	Fósforo Orgánico	0.68 mg/L
	Fósforo Inorgánico	2.56 mg/L
	Alcalinidad	126.17 mg/L
	Grasas	64.00 mg/L
	Carbono Orgánico Total	121.00 mg/L
	DBO	139.44 mg/L
	DQO	306.80 mg/L
	Coliformes Totales	4.9E+07 ufc/100 ml
	E. Coli	2.8E+07 ufc/100 ml
	Coliformes Fecales	2.9E+07 ufc/100 ml
	Coliformes Totales	4.87E+07 ufc/100 ml
E. Coli	2.83E+07 ufc/100 ml	
Coliformes Fecales	2.92E+07 ufc/100 ml	

Tabla 5.8 Disponibilidad de recursos

VARIABLE	DISPONIBILIDAD
Recursos locales	Mano de obra y terreno municipal
Requerimientos de energía	Mínima depuración natural
Mano de obra local	Gran apoyo por parte de la comunidad a proyectos que impulsan el desarrollo de la comunidad.
Equipo mecánico	Ninguno
Materiales para la construcción	Distribuidores locales

Tabla 5.9 Aspectos tecnológicos

VARIABLE	CONSIDERACIÓN
Impacto ambiental del sistema de tratamiento	Bajo impacto
Disponibilidad del terreno	Terreno disponible
Generación de subproductos para su aprovechamiento	Ninguno, debido al costo de producción. El tratamiento se debe realizar al menor costo posible
Eficiencia de la tecnología	De moderada a alta
Facilidad de operación y mantenimiento	Debe ser fácil de operar y mantener



Tabla 5.10 Costos

VARIABLE	CONSIDERACIÓN
Costos de inversión	Sostenible para el municipio
Costos de Operación y Mantenimiento	Bajo porque es un sistema natural de depuración
Costos de Terreno	Disponer de terrenos municipales
Recuperación de recursos	De moderada a alta

5.3 SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

En esta fase se realizará una comparación entre las tecnologías naturales preseleccionadas, aquellas que con los justificativos técnicos y razonamientos lógicos nos conduzca a definir la mejor opción para el tratamiento de las aguas residuales de la ciudad de Gonzanamá. Para ello, se presentan matrices de selección que se han elaborado en función de la experiencia de otros autores, para los criterios presentados en el ítem anterior.

5.3.1 Matrices de selección

A continuación se presentan las matrices de selección con el requerimiento que cada tecnología tiene para ser seleccionada.

Tabla 5.11 Matriz Factores demográficos

TRATAMIENTO	VARIABLE		
	POBLACIÓN (habitantes)	COBERTURA DE AGUA POTABLE (Adimensional)	TIPO DE ALCANTARILLADO (Adimensional)
Infiltración rápida	500 – 5000	Total o parcial	Separado
Infiltración lenta	500 – 5000	Total o parcial	Separado
Escorrentía superficial	500 – 5000	Total o parcial	Separado
Humedales artificiales	500 - 5000	Total o Parcial	Separado

Fuente: Collado L.. 1992. pág. 105

Tabla 5.12 Matriz de Características del Terreno

TRATAMIENTO	VARIABLE			
	AREA REQUERIDA (m ² /hab)	TOPOGRAFÍA (Adimensional)	PROFUNDIDAD DE NIVEL FREÁTICO (m)	PENDIENTE (%)
Infiltración rápida	2 - 22	Moderada	>3	< 20% terrenos cultivados < 40% terrenos no cultivados
Infiltración lenta	5 - 9	Pronunciada	0.6 – 0.9	< 10%
Escorrentía superficial	5 - 15	Moderado	No crítica	2 al 8%
Humedales artificiales	2.5 - 9	Suave	No crítica	< 5

Fuente: Collado L.. 1992. pág. 106; Seoáñez. 2005. pág. 43; Metcalf & Eddy. 1995. pág. 1055



Tabla 5.13 Matriz Características del Suelo

TRATAMIENTO	VARIABLE			
	PERMEABILIDAD DEL SUELO (Adimensional)	VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN (mm/h)	TEXTURA (Adimensional)	TIPO DE SUELO (Adimensional)
Infiltración rápida	Alta	> 51	Gruesa	Arena. arenas margosas
Infiltración lenta	Baja a moderadamente alta	5 - 51	Gruesa y Media	Margosos
Escorrentía superficial	Baja	< 5	Fina	Arcillas. limos
Humedales artificiales	Baja	< 5	Fina	Arcillosos

Fuente: Metcalf & Eddy. 1995. pág. 1055; Romero R. 1999. pág. 917.

Tabla 5.14 Matriz Características del agua residual

TRATAMIENTO	ORIGEN (Adimensional)	COMPOSICIÓN BIODEGRADABLE (Adimensional)
Infiltración rápida	Doméstico	Biodegradable
Infiltración lenta	Doméstico	Biodegradable
Escorrentía superficial	Doméstico	Biodegradable
Humedales artificiales	Doméstico	Biodegradable

Tabla 5.15 Matriz Remoción de contaminantes

TRATAMIENTO	VARIABLE					Producción de fangos
	DBO ₅	DQO	SST	P	N	
Infiltración rápida	90 – 95	60 – 75	92 – 99	85 – 90	25 - 90	Reducida
Infiltración lenta	90 – 95	70 – 80	90 – 95	25 – 40	30 – 95	Reducida
Escorrentía superficial	80 – 95	60 – 70	70 – 80	20 – 30	45 – 50	No
Humedales artificiales	60 - 98	55 - 80	60 - 98	20 - 40	>80	No

Fuente: Moreno. 2003. pág. 26; Seoáñez. 2005. pág. 44.

Tabla 5.16 Matriz Facilidad de Operación y mantenimiento

TRATAMIENTO	VARIABLE			
	FUNCIONAMIENTO (Adimensional)	PERSONAL (Adimensional)	FRECUENCIA DE CONTROL (Adimensional)	EQUIPOS (Adimensional)
Infiltración rápida	S	MP	PF	N
Infiltración lenta	S	MP	PF	N
Escorrentía superficial	No	MP	PF	N
Humedales artificiales	MS	MP	PF	N

S: Simple; P: Poco; PF: Poco frecuente; MP: Muy Poco; F: Frecuente; MS: Muy simple; No: Normal; N: Ninguno

Fuente: Seoáñez. 2005. pág. 44; Collado L. 1992. pág. 115.



Tabla 5.17 Matriz Costos

TRATAMIENTO	COSTO DE CONSTRUCCIÓN (Adimensional)	COSTO DE MANTENIMIENTO (Adimensional)
Infiltración rápida	E	E
Infiltración lenta	E	PE
Escorrentía superficial	ME	ME
Humedales artificiales	E	ME
E: Económico; ME: Muy Económico; PE: Poco Económico		

Fuente: Seoáñez. 2005; Collado L.. 1992. pág. 115

Tabla 5.18 Matriz Impacto ambiental

TRATAMIENTO	SUELO (Adimensional)	AIRE (Adimensional)	AGUA (Adimensional)	PAISAJE (Adimensional)	SALUD (Adimensional)
Infiltración rápida	PF	PF	B	N	B
Infiltración lenta	PF	PF	B	N	B
Escorrentía superficial	PF	PN	B	N	B
Humedales artificiales	PN	PV	B	B	B
M: Mala; N: Normal; B: Buena; PF: Problema Frecuente; PN: Problema Normal; PV: Problema variable					

Fuente: Seoáñez. 2005; Collado L.. 1992. pág. 115

5.3.2 Valoración de las matrices de selección

Cada variable de la matriz de selección será valorada con una puntuación cualitativa o cuantitativa, dependiendo de su alcance. En la tabla 5.19 se presenta el resumen de las puntuaciones asignadas para cada variable de las matrices de selección.

La máxima puntuación de 10 corresponde a la situación más favorable, apta, económica, simple, etc., para la variable que se esté evaluando, así mismo el valor de 5 puntos atañe a escenarios que pueden adaptarse a las condiciones del lugar, sin ser las más idóneas, y por ultimo 1 punto corresponderá a las condiciones más desfavorables.

Tabla 5.19 Puntuación de las Variables

CRITERIO	VARIABLE	NOMENCLATURA	PUNTUACIÓN
Factores demográficos	Población (habitantes)	500 - 5000	10
		>5000	1
	Cobertura de Agua Potable (Adimensional)	Total o parcial	10
	Tipo de Alcantarillado (Adimensional)	Separado	10
		Otro tipo	5



CRITERIO	VARIABLE	NOMENCLATURA	PUNTUACIÓN
Características del terreno	Área requerida (m ² /hab) Topografía (Adimensional) Profundidad del Nivel Freático (m) Pendiente (%)	Adapta a sus características propias	10
		Puede aptarse a sus características propias	5
		No se adapta a sus características	1
Características del suelo	Permeabilidad del suelo (Adimensional) Velocidad de infiltración (mm/h) Textura (Adimensional) Tipo de suelo (Adimensional)	Adapta a sus características propias	10
		Puede aptarse a sus características propias	5
		No se adapta a sus características	1
Agua Residual	Origen	Doméstica	10
	Biodegradabilidad	Doméstica + Industrial	5
		Biodegradable	10
	Producción de fangos	No biodegradable	1
		Reducida	5
Facilidad de operación y mantenimiento	Funcionamiento	S	5
		MS	10
		N	1
	Personal (Adimensional)	MP	10
		P	5
	Frecuencia de control (Adimensional)	F	5
		PF	10
	Equipos (Adimensional)	N	10
		P	5
Costos	Costo de construcción (Adimensional) Costo de mantenimiento (Adimensional)	ME	10
		E	5
		PE	1
Impacto Ambiental	Suelo (Adimensional) Aire (Adimensional)	PV	10
		PN	5
		PF	1
	Agua (Adimensional) Paisaje (Adimensional) Salud (Adimensional)	B	10
		N	5
		M	1
E: Económico; ME: Muy Económico; PE: Poco Económico; M: Mala; N: Normal; B: Buena; PF: Problema Frecuente; PN: Problema Normal; PV: Problema variable; S: Simple; P: Poco; PF: Poco frecuente; MP: Muy Poco; F: Frecuente; MS: Muy simple; No: Normal; N: Ninguno			

5.3.3 Matrices de selección final

La tabla 5.20 presenta la matriz de selección final de la tecnología de tratamiento de aguas residuales por métodos naturales con cada una de las variables analizadas en las matrices de selección.



Esta matriz nos sirve para asignar la respectiva puntuación a cada variable de acuerdo a la tabla 5.19. De esta forma, el más alto puntaje obtenido de la sumatoria algebraica de cada columna dará la tecnología más apropiada para la ciudad de Gonzanamá.

Tabla 5.20. Matriz de selección final

VARIABLE	TRATAMIENTO			
	INFILTRACIÓN RÁPIDA	INFILTRACIÓN LENTA	ESCORRENTÍA SUPERFICIAL	HUMEDALES ARTIFICIALES
Población	10	10	10	10
Cobertura de Agua potable	10	10	10	10
Alcantarillado separado	10	10	10	10
Área requerida	5	1	1	10
Profundidad del nivel freático	10	1	10	10
Pendiente del terreno	5	1	5	1
Topografía del terreno	10	1	10	1
Tipo de suelo	1	1	10	10
Textura	1	1	10	10
Velocidad de infiltración	1	1	10	10
Permeabilidad	1	5	10	10
Origen del agua residual	10	10	10	10
Biodegradabilidad	10	10	10	10
Remoción de sólidos en suspensión	10	10	5	5
Remoción de DBO	10	10	5	5
Remoción de DQO	5	5	5	5
Remoción nitrógeno Total	5	5	1	10
Remoción de fósforo total	5	1	1	1
Producción de fangos	5	5	10	10
Funcionamiento de la planta	5	5	1	10
Personal	10	10	10	10
Frecuencia de control	5	10	10	5
Equipos	10	10	10	10
Costo de construcción	5	5	10	5
Costo de operación y mantenimiento	5	1	10	10
Impacto sobre el suelo	1	1	1	5
Impacto sobre el aire	1	1	5	10
Impacto sobre el agua	10	10	10	10
Impacto sobre el paisaje	5	5	5	5
Impacto sobre la salud	10	10	10	10
SUMATORIA TOTAL	181	160	205	223

Por tanto, después del análisis y comparación de las tecnologías seleccionadas se llegará a concluir que el tratamiento que más se adapta a las condiciones de terreno, agua residual, tipo de suelo, área disponible, costos de construcción, operación y mantenimiento, etc., son los sistemas acuáticos por humedales artificiales con una significativa puntuación de 223 puntos con respecto a las anteriores.



Ahora bien, existen dos alternativas de tratamiento de humedales artificiales: humedales de flujo superficial y humedales de flujo subsuperficial. En la tabla 5.21 se presenta una comparación entre los dos sistemas para analizar y elegir el que más convenga a nuestras necesidades.

Tabla 5.21. Comparación entre los HFL y HSS

HUMEDALES DE FLUJO SUPERFICIAL (HFL)	HUMEDAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL (HSS)
<ul style="list-style-type: none">- Superficie libre de agua- Flujo de circulación del agua en lámina libre sobre un lecho en el que se enraíza la vegetación del humedal.- Son más frecuentes- Menor coste de instalación- Hidráulica Sencilla- Tienen gran parte de las propiedades de los humedales naturaleza- Favorecen la vida animal- Las bajas temperaturas provocan descensos en el rendimiento- Pendiente <5%- Recolección del efluente para riego es más sencillo	<ul style="list-style-type: none">- Lecho vegetal sumergido- Flujo sumergido. a través de un medio granular- Hidráulica más complicada- Son menos frecuentes- Tratamiento más eficaz- Necesitan poco espacio- Flujo oculto- Sin olores- Soportan bien temperaturas baja- Algo más caros que los HSL- Pocos problemas con la fauna- Pendiente <5%

a. Conclusión

Para la ciudad de Gonzanamá se ha escogido realizar un humedal de flujo superficial porque es el más económico entre los dos tipos de humedales en función de las características de construcción, costos de construcción, operación y mantenimiento. Ya que el acondicionamiento de un medio granular para el funcionamiento de un HSS implicaría un aumento de costos tomando en cuenta que se debe realizar un movimiento de tierras considerable para acondicionar las pendientes de 10 al 20% que se tienen en la zona de estudio para la construcción de las balsas que conformaran el Humedal. Además el sitio de construcción de la planta está alejado del área poblada no causando mayores impactos negativos por la posible generación de malos olores o proliferación de insectos en el HFL.

Además para la construcción del tratamiento se cuenta con un área de aproximadamente 1 Ha. para su construcción, no siendo una limitante escoger un HSS por la menor área que requieren con respecto a los HFL.



CAPÍTULO

6



DISEÑO DEL SISTEMA DEPURADOR DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS DEL CANTÓN GONZANAMÁ

6.1 DESCRIPCIÓN DEL TRATAMIENTO

Las características de las aguas residuales domésticas de la ciudad de Gonzanamá, como la presencia de sólidos gruesos y partículas abrasivas, hacen necesaria la utilización de dispositivos de retención, remoción o triturado antes del tratamiento biológico. Por tanto, el diseño consta de un pretratamiento compuesto por un canal de entrada, vertedero de excesos, canal de desbaste, canal desarenador, desengrasador y un distribuidor de caudales hacia los humedales. Estas unidades 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 biológico que luego de un análisis minucioso de caracterización del suelo, caracterización de aguas residuales y características hidrogeológicas de la zona, etc. se ha visto factible depurar el agua residual doméstica utilizando humedales artificiales de flujo superficial debido a su gran capacidad de remoción de DBO, nitrógeno y patógenos.

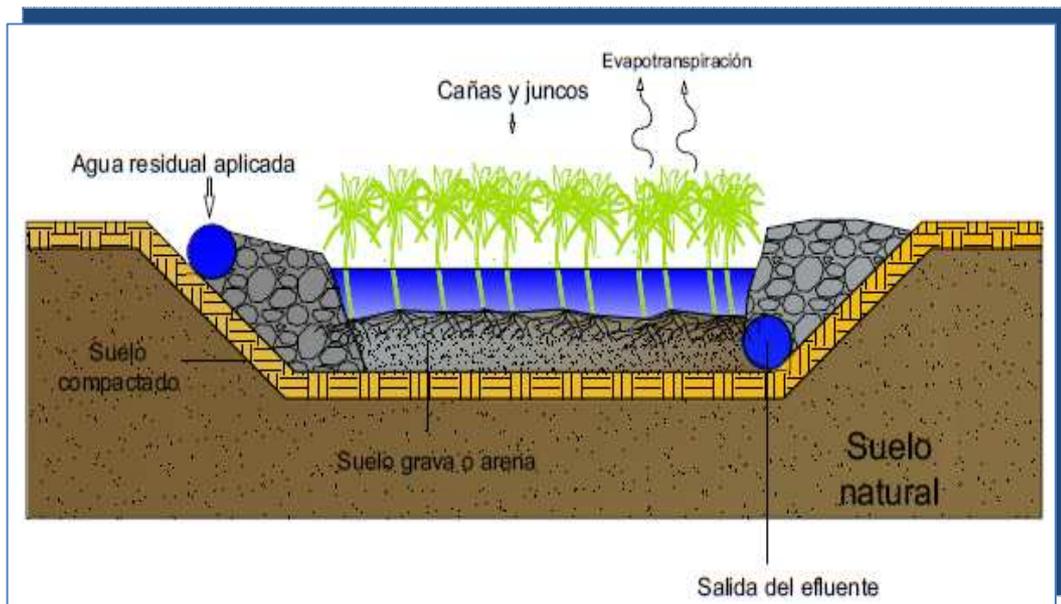


Fig. 6.1 Esquema del humedal de flujo libre

Fuente: Carlos Merino, 2010



6.2 DETERMINACIÓN DE LA POBLACIÓN FUTURA

La población futura se ha determinado promediando los resultados de tres métodos de cálculo, tomando en cuenta un índice de crecimiento del 1% y un periodo de diseño de 20 años.

- Método EX - IEOS

$$P_f = P_a(1+i)^n \quad (\text{Ecuación 6.1})$$

$$P_f = P_a(1+i)^n = 1960(1+1)^{20} = 2392 \text{ hab}$$

- Método Geométrico

$$P_f = P_{uc} (1+i)^{T_f - T_{uc}} \quad (\text{Ecuación 6.2})$$

$$P_f = P_{uc} (1+i)^{T_f - T_{uc}} = 1960(1+1)^{2035-2010} = 2514 \text{ hab}$$

- Método Logarítmico

$$P_f = P_{ci} \times e^{kg(T_f - T_{ci})} \quad (\text{Ecuación 6.3})$$

$$P_f = P_{ci} \times e^{kg(T_f - T_{ci})} = 1960 \times e^{1(2035-2010)} = 2517 \text{ hab}$$

Al promediar, se obtiene una población futura de diseño de **2474** habitantes.

6.3 CAUDALES DE DISEÑO

De acuerdo a las normas vigentes (INEN, TULA, RAS) el caudal de aguas residuales domésticas varía entre el 70% y 80% de la dotación de aguas potable.

La dotación de agua potable para la ciudad de Gonzanamá es de 145 lt/hab/día, la misma que ha sido proporcionada por el Ilustre Municipio del cantón Gonzanamá.

- **Caudal de aguas residuales domésticas**

$$Q_D = \frac{P \times D \times R}{86400} \quad (\text{Ecuación 6.4})$$

P = Población futura = 2474 hab.

D = Dotación de agua potable = 145 lt/hab/día

R = Coeficiente de retorno = 0.8 Norma INEN

$$Q_D = \frac{P \times D \times R}{86400} = \frac{2474 \text{ hab} \times 145 \text{ lt/hab/día} \times 0.80}{86400} = 3.32 \text{ lt/s}$$



– **Caudal de aguas ilícitas (Q_i)**

Para obtener este caudal es necesario determinar el caudal máximo horario (Q_{maxh}), cuyo valor en nuestro caso se lo obtuvo mediante aforos realizados en el lugar de estudio (último pozo de recolección de aguas servidas en la red de alcantarillado sanitario). El caudal máximo horario aforado es de 12 lt/s.

$$Q_i = 10\% \times Q_{maxh} = 10\% \times 12 \text{ lt/s} = 1.2 \text{ lt/s} \quad (\text{Ecuación 6.5})$$

– **Caudal por infiltraciones (Q_{inf})**

Para su cálculo es necesario tener información de la longitud de tubería utilizada para construir la red de alcantarillado sanitario de la ciudad. El dato se obtuvo del área de agua potable del municipio de Gonzanamá, cuya longitud es de 8400m.

$$Q_{inf} = 0.0001 \text{ lt/s} \times \text{Log.tuberia} = 0.0001 \text{ lt/s} \times 8400\text{m} = 0.84 \text{ lt/s} \quad (\text{Ecuación 6.6})$$

– **Caudal medio diario (Q_{md})**

El caudal medio diario será, la sumatoria del caudal de aguas domésticas más el caudal de aguas ilícitas más el caudal por infiltraciones, calculados en los pasos anteriores:

$$Q_{md} = Q_D + Q_i + Q_{inf} = 3.32 \text{ lt/s} + 1.2 \text{ lt/s} + 0.84 \text{ lt/s} = 5.36 \text{ lt/s} \quad (\text{Ecuación 6.7})$$

– **Caudal máximo horario (Q_{MH})**

El caudal máximo horario se obtiene multiplicando el caudal medio diario por un factor de mayoración dado por la ecuación de Flores:

$$F = \frac{3.5}{P^{0.1}} \quad (\text{Ecuación 6.8})$$

P = Población futura

$$F = \frac{3.5}{P^{0.1}} = \frac{3.5}{2474^{0.1}} = 1.6$$

$$Q_{MH} = F \times Q_{md} = 1.6 \times 5.36 \text{ lt/s} = 8.59 \text{ lt/s} \quad (\text{Ecuación 6.9})$$



De tal forma, en la tabla 6.1 se presentan los caudales de diseño máximo y medio en lt/s, que serán utilizados para el dimensionamiento de las diferentes unidades de la depuradora.

Tabla 6.1 Caudales de diseño

CAUDAL	CAUDALES DE AFORO (lt/s)	CAUDALES CALCULADOS (lt/s)	CAUDALES DE DISEÑO (lt/s)
Caudal máximo	12	8.59	10.3
Caudal medio	9.5	5.36	7.4

6.4 DIMENSIONAMIENTO DE LA DEPURADORA

6.4.1 Canal de entrada

El agua ingresará al tratamiento mediante un canal rectangular que tiene una pendiente del 2% (Manual de depuración Uralita $S \geq 0.5\%$ hasta un 5%), construido de hormigón cuyo coeficiente de rugosidad n es igual a 0.013.

Se adoptará un ancho de canal de 0.40m, basándose en las recomendaciones del Manual de Depuración Uralita ancho de 0.30m hasta 0.70m.

La norma EX-IEOS recomienda una velocidad en el canal mayor a 0.6 m/s para el caudal medio diario, y una velocidad menor a 2.5 para el caudal máximo horario.

– Verificación de velocidad para el caudal máximo:

Las velocidades se verifican de acuerdo a las ecuaciones de Manning como se muestra a continuación:

$$K = \frac{Q \cdot n}{b^{\frac{8}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}} \quad \text{(Ecuación 6.10)}$$

K = Coeficiente de Manning para el cálculo del tirante de agua

Q = Caudal máximo de diseño

n = Coeficiente de rugosidad de Manning

b = Base del canal

S = Pendiente del canal

$$K = \frac{Q \cdot n}{b^{\frac{8}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}} = \frac{0.0103 \times 0.013}{0.40^{\frac{8}{3}} \times 0.02^{\frac{1}{2}}} = 0.011$$



– **Tirante de agua**

$$\frac{d}{b} = 1.66240 \cdot K^{0.74232} \quad \text{(Ecuación 6.11)}$$

d = Tirante de agua

$$d = 1.66240 \times b \times K^{0.74232} = 1.6624 \times 0.40\text{m} \times 0.01^{0.74232} = 0.023\text{m}$$

Luego de calcular el tirante de agua se verifica la velocidad con la ecuación de Manning (Ecuación 6.12).

$$V = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{0.013} \left(\frac{(0.40)(0.023)}{0.40 + 2(0.023)} \right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{2}{100} \right)^{\frac{1}{2}} = 0.82 \text{ m/s} \quad \text{(Ecuación 6.12)}$$

La velocidad se encuentra dentro de los límites.

– **Verificación de velocidad para el caudal medio:**

Su verificación se realiza de acuerdo a las ecuaciones 6.10, 6.11 y 6.12, como en el caso anterior.

$$K = \frac{Q \cdot n}{b^{\frac{8}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}} = \frac{0.0074 \times 0.013}{0.40^{\frac{8}{3}} \times 0.02^{\frac{1}{2}}} = 0.008$$

– **Tirante de agua**

$$\frac{d}{b} = 1.66240 \cdot K^{0.74232}$$

$$d = 1.66240 \times b \times K^{0.74232} = 1.6624 \times 0.40\text{m} \times 0.008^{0.74232} = 0.018\text{m}$$

$$V = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{0.013} \left(\frac{(0.40)(0.018)}{0.40 + 2(0.018)} \right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{2}{100} \right)^{\frac{1}{2}} = 0.71\text{m/s}$$

La velocidad se encuentra dentro de los límites.

Se recomienda utilizar una altura de seguridad $\geq 0.40\text{m}$, por lo tanto, las dimensiones del canal serán las que se presentan en la tabla 6.2.

**Tabla 6.2** Dimensiones del canal de entrada

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	DIMENSIÓN
Ancho del canal	m	0,4
Calado del canal a caudal máximo	m	0,023
Calado del canal a caudal medio	m	0,018
Altura del canal	m	0,4
Longitud del canal	m	1,0

6.4.2 Aliviadero de entrada

El aliviadero se diseñará con la ecuación 6.13 de acuerdo al Manual de Depuración Uralita:

$$Q_v = Q_{\max} - \text{Coef.dilucion} \times Q_{\text{md}} \quad (\text{Ecuación 6.13})$$

Donde el caudal máximo (Q_{\max}), resulta de multiplicar 4 veces el caudal medio diario (Q_{md}).

$$Q_{\max} = 4 \times Q_{\text{md}} = 4 \times 0.0074 = 0.030 \text{ m}^3/\text{s} = 30 \text{ lt/s}$$

El coeficiente de dilución se determina de acuerdo a los siguientes casos:

- De 3 a 4 en aliviaderos previo al pretratamiento
- De 2 a 3 en pequeñas plantas con aliviadero

Se adopta un coeficiente de dilución de 3 por las características del pretratamiento. Con los datos obtenidos se resuelve la ecuación 6.13:

$$Q_v = Q_{\max} - \text{Coef.dilucion} \times Q_{\text{md}} = 0.030 \text{ m}^3/\text{s} - 3 \times 0.0074 \text{ m}^3/\text{s} = 0.0074 \text{ m}^3/\text{s} = 7.4 \text{ lt/s}$$

Luego se determina la altura del aliviadero de acuerdo a la ecuación 6.14:

$$Q_v = C \cdot L \cdot H^{\frac{3}{2}} \quad (\text{Ecuación 6.14})$$

Donde:

C = coeficiente del vertedero = 1.64 valor propuesto por Ravinóvich para vertedero con arista redondeada.

L = longitud para el aliviadero = 0.50m.



$$H = \left(\frac{Q_v}{C \times L} \right)^{\frac{2}{3}} = \left(\frac{0.0074 \text{ m}^3/\text{s}}{1.64 \times 0.50 \text{ m}} \right)^{\frac{2}{3}} = 0.043 \text{ m}$$

Por seguridad se adopta una altura del vertedero de **0.2 m**.

6.4.3 Paso del caudal al desbaste

El paso del caudal hacia el canal de desbaste se lo realizara mediante una tubería, cuyo cálculo hidráulico se hará con formulas de orificios sumergidos. El diámetro calculado es este proceso servirá para todas las tuberías a lo largo del proceso de tratamiento del agua residual.

La ecuación de velocidad para orificios sumergidos de cresta ancha es la siguiente:

$$V = C_v * \sqrt{2 * g * H} \quad (\text{Ecuación 6.15})$$

Donde:

C_v = Coeficiente para orificios sumergidos de cresta ancha = 0.82

H = Lámina de agua sobre el orificio.

g = gravedad

Con la ecuación de continuidad $A = \frac{Q}{V}$, se remplaza en la ecuación 6.15:

$$A = \frac{Q}{C_v * \sqrt{2gH}} = \frac{0.010}{0.82 * \sqrt{2 * 9.81 * 0.20}} * 10000 = 63.38 \text{ cm}^2 \quad (\text{Ecuación 6.16})$$

Con la ecuación del área de una circunferencia se determina el diámetro de la tubería.

$$d = \sqrt{\frac{A * 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{63.38 * 4}{\pi}} = 9 \text{ cm} \quad (\text{Ecuación 6.17})$$

Por lo tanto se opta por una tubería de **PVC Ø 110 mm** a lo largo del proceso de tratamiento.



6.4.4 Dimensionamiento del canal de desbaste y reja

Este canal es muy importante en cualquier proceso de tratamiento, debido a que retiene un gran porcentaje de sólidos en suspensión y cuerpos voluminosos flotantes.

Con la finalidad de que esta unidad trate de evitar en lo posible la entrada de papeles, ramas pequeñas y otros sólidos pequeños, se diseñará la reja con barras de 1cm y espaciamiento de 2.5 cm. La operación de la reja será manual con una inclinación de 45 grados.

Diseño:

s = Separación de las barras en la reja = 2.5 cm

a = Ancho de las barras = 1 cm

El ancho del canal en la zona de rejilla vendrá dado por:

$$b = \left(\frac{c}{s} - 1 \right) (s + a) + s \quad \text{(Ecuación 6.18)}$$

c = Ancho del canal adoptado

$$b = \left(\frac{c}{s} - 1 \right) (s + a) + s = \left(\frac{30}{2.5} - 1 \right) (2.5 + 1) + 2.5 = 41 \text{ cm} \approx 45 \text{ cm} = 0.45 \text{ m}$$

El número de barras se los calcula con la siguiente ecuación

$$n = \frac{b - s}{a + s} \quad \text{(Ecuación 6.19)}$$

$$n = \frac{b - s}{a + s} = \frac{45 - 2.5}{1 + 2.5} = 12 \text{ barras}$$

Según la norma EX-IEOS la velocidad para caudal medio, en el canal de desbaste debe estar entre 0.4 m/s a 0.75 m/s.

– **Verificación de velocidad para caudal medio**

La verificación de la velocidad se la realiza de acuerdo a las ecuaciones 6.10, 6.11 y 6.12.

$$K = \frac{Q * n}{b^{\frac{8}{3}} * S^{\frac{1}{2}}} = \frac{0.0074 \times 0.013}{0.45^{\frac{8}{3}} \times 0.02^{\frac{1}{2}}} = 0.006$$



- **Tirante de agua**

$$\frac{d}{b} = 1.66240 \cdot K^{0.74232}$$

$$d = 1.66240 \times b \times K^{0.74232} = 1.6624 \times 0.45 \text{ m} \times 0.006^{0.74232} = 0.016 \text{ m}$$

$$V = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{0.013} \left(\frac{(0.45)(0.016)}{0.45 + 2(0.016)} \right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{2}{100} \right)^{\frac{1}{2}} = 0.67 \text{ m/s}$$

La velocidad se encuentra dentro de los límites.

Para determinar las perdidas es necesario calcular la velocidad para el caudal máximo.

- **Verificación de velocidad para el caudal máximo**

$$K = \frac{Q * n}{b^{\frac{8}{3}} * S^{\frac{1}{2}}} = \frac{0.010 \times 0.013}{0.45^{\frac{8}{3}} \times 0.02^{\frac{1}{2}}} = 0.008$$

- **Tirante de agua**

$$\frac{d}{b} = 1.66240 \cdot K^{0.74232}$$

$$d = 1.66240 \times b \times K^{0.74232} = 1.6624 \times 0.45 \text{ m} \times 0.008^{0.74232} = 0.021 \text{ m}$$

$$V = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{0.013} \left(\frac{(0.45)(0.021)}{0.45 + 2(0.021)} \right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{2}{100} \right)^{\frac{1}{2}} = 0.77 \text{ m/s}$$

- **Pérdidas de energía en la rejilla**

Tabla 6.3 Valores de β según Kirshmer

β	TIPO DE BARRA
2.42	Rectangular con caras rectas
1.67	Rectangular con cara recta y semicircular
1.79	Circular



Las pérdidas están dadas de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$H = \beta \left(\frac{a}{s} \right)^{\frac{4}{3}} hv * \text{Sen } \theta \tag{Ecuación 6.20}$$

β = Coeficiente de Kirshmer

hv = altura de velocidad = $v^2/2g$

v = velocidad para el caudal máximo

g = gravedad

$$H = \beta \left(\frac{a}{s} \right)^{\frac{4}{3}} hv * \text{Sen } \theta = 2.42 \left(\frac{1}{2.5} \right)^{\frac{4}{3}} \left(\frac{0.77^2}{2 \times 9.81} \right) \text{Sen}45^\circ = 0.015 \text{ m}$$

– **Área de la reja**

Con la ecuación de continuidad se determinó el área de la reja.

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{0.010}{0.77} = 0.013 \text{ m}^2$$

– **Tirante de agua en la rejilla**

$$y = \frac{A}{b} = \frac{0.013}{0.45} = 0.030 \text{ m}$$

Por seguridad se adopta una altura de rejilla de **0.30m**

– **Longitud del canal antes de la rejilla**

$$L = \frac{y}{\text{Sen}\theta} = \frac{0.30}{\text{Sen}45} = 0.42 \text{ m} \tag{Ecuación 6.21}$$

Se adopta una longitud de **0.50m**

Tabla 6.4 Dimensiones de la Rejas

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	DIMENSIÓN
Ancho del canal de entrada	m	0,45
Ancho de las barras	m	0,10
Separación útil entre barras	m	0,25
Longitud	m	0,5
Número de barras	u	12



6.4.5 Dimensionamiento del desarenador

La función del desarenador es la de separar gravas, arenas, partículas minerales y cualquier otro tipo de material pesado de tamaño superior a 0.15 mm. Para el presente estudio se ha utilizado un desarenador de flujo horizontal, formado por dos canales rectangulares en donde circula el agua controlada a una velocidad comprendida entre 0.20 y 0.40 m/s (Velocidad recomendada por las normas EX-IEOS).

La retirada de los sólidos sedimentados se la realizará manualmente, cuyo proceso se describe en el manual de operación y mantenimiento de la planta.

La velocidad adoptada para el diseño es de 0.25 m/s, y se trabajara con el caudal máximo horario. El proceso de cálculo es el siguiente:

– Área del desarenador

Con la ecuación de continuidad se determina el área transversal del desarenador

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{0.010}{0.25} = 0.041 \text{ m}^2$$

Como el canal será rectangular se adopta un ancho de 0.40m

– Tirante de agua

$$h_a = \frac{A}{b} = \frac{0.041}{0.40} = 0.10 \text{ m} \approx 0.15 \text{ m}$$

El Manual de Depuración Uralita recomienda: $1 < \frac{b}{h} < 5$

b = ancho adoptado en el desarenador

$$\frac{b}{h_a} = \frac{0.40}{0.15} = 2.7$$

El valor cumple con el recomendado.

La norma EX-IEOS recomienda considerar una altura de sedimentación de 0.20m. Por lo que la altura total del desarenador (HT) sería:



$$HT = 0.15\text{m} + 0.20\text{m} = 0.35\text{m} \quad \text{Se adoptará una altura de } \mathbf{0.40\text{ m}}$$

Se considera un tiempo de retención igual a 90 segundos y se realiza una limpieza cada 15 días.

– **Volumen que pasa por el desarenador (Vol)**

$$\text{Vol} = Q \times t = 0.010 \times 15 \times 86400 = 13343 \text{ m}^3 \quad (\text{Ecuación 6.22})$$

La cantidad de arena recogida por el desarenador varía de 7.5 a 90m lt por cada 1000 m³ de agua residual (OMS, 1981).

Para el diseño se adopta 45 lt por cada 1000 m³ de agua residual.

$$\text{Vol. Arena} = \frac{\text{Vol} \times \text{Cant. arena}}{1000000} = \frac{13343 \times 45}{1000000} = 0.6 \text{ m}^3 \quad (\text{Ecuación 6.23})$$

– **Longitud del desarenador**

$$L_d = \frac{\text{Vol. arena}}{HT \times b} = \frac{0.6}{0.40 \times 0.40} = 3.75 \text{ m} \quad (\text{Ecuación 6.24})$$

La norma EX-IEOS recomienda incrementar la longitud del desarenador en un rango del 30% al 50%. Por lo que la longitud final del desarenador (Lu) será:

$$L_u = 50\% \times 3.75 = 4.3\text{m} \approx 5\text{m}$$

– **Chequeo de la eficiencia hidráulica del desarenador**

Volumen útil del desarenador

$$V_{\text{util}} = L_d \times HT \times b = 5 \times 0.40 \times 0.40 = 0.8 \text{ m}^3 \quad (\text{Ecuación 6.25})$$

Periodo de retención

El periodo de retención debe ser menor al adoptado de 90 s

$$T_r = \frac{V_{\text{util}}}{Q} = \frac{0.8}{0.010} = 77.71\text{s} \quad (\text{Ecuación 6.26})$$



El tiempo de retención es menor.

Tabla 6.5 Dimensiones del desarenador

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	DIMENSIÓN
Ancho del desarenador	m	0,4
Altura	m	0,4
Altura de sedimentación	m	0,2
Longitud total del desarenador	m	5,0

6.4.6 Dimensionamiento del desengrasador

Para el dimensionamiento del desengrasador, la OMS (Organización mundial de la salud), recomienda trabajar con una carga hidráulica de 4 lt/s.m² y un tiempo de retención de 4min en caudales de 10 a 20 lt/s.

– **Área del desengrasador**

$$A = \frac{Q_{\max}}{\text{Carga hidráulica}} = \frac{0.010 \times 1000}{4} = 2.57 \text{ m}^2 \quad (\text{Ecuación 6.27})$$

Remplazando en las ecuaciones se tiene:

$$A = b \times l \quad \frac{l}{b} = 1.5 \quad A = b \times 1.5b$$

$$b = \sqrt{\frac{A}{1.5}} = \sqrt{\frac{2.57}{1.5}} = 1 \text{ m}$$

Se adopta el ancho total de las dos cámaras del desarenador igual a **0.90m**

$$l = 0.90 \times 1.5 = 1.4 \text{ m} \approx 2 \text{ m}$$

Para determinar la altura se determina el volumen del desengrasador

$$V = Q_{\max} \times T_r = 0.010 \times 4 \times 60 = 2 \text{ m}^3 \quad (\text{Ecuación 6.28})$$

Remplazando V en la ecuación siguiente se tiene:

$$V = A \times h$$

$$h = \frac{V}{A} = \frac{2}{2.57} = 1 \text{ m}$$



La pendiente del tanque desengrasador será del 15 % para evitar sedimentación en el mismo.

Tabla 6.6 Dimensiones del desengrasador

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	DIMENSIÓN
Base	m	0,9
Longitud	m	2,0
Altura	m	1,0
Pendiente de fondo	%	10

6.4.7 *Diseño hidráulico y dimensionamiento de los humedales de flujo superficial*

Los parámetros de descarga están guiados de acuerdo a las normas establecidas por el ministerio del medio ambiente.

Tabla 6.7 Datos de diseño

PARÁMETRO	VALOR
DBO afluente	140 mg/l
DBO efluente	100 mg/l
SST afluente	349,33 mg/l
NKT afluente	50,73 mg/l
NKT efluente	15 mg/l
Fósforo afluente	2,56 mg/l
Caudal diseño	0.0074 m ³ /s = 642.02 m ³ /día
Vegetación	Carrizo
Profundidad	0,70 m
Porosidad	0,65
Temperatura máxima del agua residual	25 °C
Temperatura mínima del agua residual	18,4 °C

– ***Diseño para la remoción de DBO***

Las ecuaciones para su diseño son las siguientes:

$$K_T = K_{20} (1.06)^{(T-20)} \tag{Ecuación 6.29}$$

$$K_{20} = 0.678 d^{-1}$$



Remplazando en las ecuaciones se tiene:

$$K_{25} = 0.678 \times 1.06^{(25-20)} = 0.907 \text{ d}^{-1}$$

Área superficial requerida para eliminar la DBO

$$A_s = \frac{Q(\ln C_o - \ln C_e)}{K_T \times y \times n} \quad \text{(Ecuación 6.30)}$$

Q = Caudal de diseño en m³/día

Co = Concentración del componente en el afluente en mg/l

Ce = Concentración del componente en el efluente en mg/l – Normas de descarga de efluentes

K_T = Coeficiente de temperatura a 25°

y = Profundidad de las balsas

n = Coeficiente de porosidad

$$A_s = \frac{Q(\ln C_o - \ln C_e)}{K_T \times y \times n} = \frac{642.02(\ln 140 - \ln 100)}{0.907 \times 0.70 \times 0.65} = 523 \text{ m}^2$$

Tiempo de retención hidráulica

$$TRH = \frac{A_s \times y \times n}{Q} = \frac{523 \times 0.70 \times 0.65}{642.02} = 0.37 \text{ días} = 9 \text{ horas} \quad \text{(Ecuación 6.31)}$$

– **Remoción del % de SST**

Se determina la carga hidráulica

$$CH = \frac{Q}{A_s} \times 100 = \frac{642.02}{523} \times 100 = 122.69 \text{ cm/día} \quad \text{(Ecuación 6.32)}$$

Concentración de SST luego del pasar un área de 523 m²

$$C_e = C_o(0.1139 + 0.00213 * CH) \quad \text{(Ecuación 6.33)}$$

$$C_e = 349.33(0.1139 + 0.00213 \times 122.69) = 131.08 \text{ mg/l}$$



Con la cantidad de SST en el afluente y la concentración calculada para el efluente se determina que el porcentaje de remoción de SST es del 62 %.

– **Diseño para la remoción de nitrógeno**

$$K_{25} = 0.2187(1.048)^{T-20} = 0.2187(1.048)^{25-20} = 0.276 \text{ d}^{-1} \quad (\text{Ecuación 6.34})$$

Área requerida para la nitrificación

Con la ecuación 6.30 se determina el área requerida para eliminar el nitrógeno.

$$A_s = \frac{Q * \ln(C_o / C_e)}{K_T * y * n} = \frac{642.02 * \ln(140 / 100)}{0.907 * 0.70 * 0.65} = 6219 \text{ m}^2$$

Tiempo de retención hidráulica, calculado mediante la ecuación 6.31

$$TRH = \frac{A_s * y * n}{Q} = \frac{6219 * 0.70 * 0.65}{642.02} = 4.41 \text{ días}$$

Verificación de la remoción del nitrógeno total

Se calcula la carga hidráulica mediante la ecuación 6.32

$$CH = \frac{Q}{A_s} * 100 = \frac{642.02}{6219} * 100 = 10.32 \text{ cm/día}$$

Se obtiene el porcentaje de remoción del nitrógeno con la siguiente ecuación

$$N_t = 0.193N_o + 0.61 \ln(CH) - 1.75 \quad (\text{Ecuación 6.35})$$

$$N_t = 0.193 * 50.73 + 0.61 \ln(10.32) - 1.75 = 9.46 \text{ mg/l}$$

Con la cantidad de nitrógeno total o Kendall en el afluente y la concentración calculada para el efluente se establece que el % de remoción de nitrógeno es del 81 %.

– **Diseño para la remoción de fósforo**

No se determinara el área de diseño para remoción de fósforo, ya que su concentración en el afluente es menor al límite establecido en la normativa ambiental. Sin embargo, es necesario determinar su porcentaje de remoción en función del área del tratamiento.



– **Cálculo del porcentaje de remoción del fósforo.**

Para determinar el porcentaje de remoción del fósforo, se busca un valor de concentración de fósforo en el efluente (C_e), para que el área requerida para su remoción sea igual o aproximada a la de la remoción del nitrógeno, que es con el que se diseñará el humedal.

La ecuación para determinar el área para la remoción del fosforo es la siguiente:

$$A_s = \frac{(b)(Q)\ln(C_o / C_e)}{(K_p)} \quad \text{(Ecuación 6.36)}$$

Coeficiente $K_p = 2.74$ cm/día

C_o y C_e = Concentración de fósforo en el afluente y efluente

b = Coeficiente de conversión = 100

Al realizar la iteraciones respectivas se obtiene que $C_e = 1.97$ mg/l para que el área sea de 6138 m^2 , que es aproximada a la necesaria para remover el nitrógeno. El cálculo fue el siguiente:

$$A_s = \frac{b \times Q \times \ln(C_o / C_e)}{K_p} = \frac{100 \times 642.02 \times \ln(2.56 / 1.97)}{2.74} = 6138 \text{ m}^2$$

De esta manera con la cantidad de fosforo en el afluente y la del efluente determinada en las iteraciones se calcula que el porcentaje de remoción de fósforo es del 23%.

– ***Dimensionamiento de las balsa***

Para hacer más eficiente el proceso de tratamiento y además de ocupar el espacio adecuadamente se vio conveniente distribuir el área total del humedal en 4 balsas de igual tamaño. Así el área para cada balsa es de 1555 m^2 , además es recomendable según las normas establecidas por el medio ambiente utilizar una relación largo/ancho de 3 a 1. Al dividir el largo establecido de 52 m por el ancho de 30 m se tiene una relación igual a 2, por lo que cumple con los parámetros de la norma.

**Tabla 6.8** Dimensiones del HFL

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	DIMENSIÓN
Área total	m ²	6219
Número de balsas	u	4
Área de cada balsa	m ²	1555
Profundidad	m	0,7
Ancho de cada balsa	m	30
Largo de cada balsa	m	52
Período de retención	días	4
Diámetro de la tubería	mm	110
Material del sistema de distribución y recolección	Tubería PVC	
Área por habitante	2.51 m ² /hab.	

6.4.8 Selección de la vegetación

La vegetación es un factor muy importante de los humedales artificiales. Por tanto, la elección de la especie se hará analizando los requerimientos del hábitat de cada una para escoger la que mayores ventajas presente y preferiblemente sean plantas locales adaptadas a las condiciones del sitio.

En este caso se usará una planta de la familia de las gramíneas denominada *Phragmites australis* (carrizo) por ser una planta que se adecua a las condiciones de temperatura ambiente, pH del suelo (ligeramente ácido) y el agua residual de la zona, además tiene la ventaja de tener un bajo valor alimenticio y por tanto no se ve atacadas por animales como otros tipos de plantas.

En la tabla 6.9 se presentan algunas especies de plantas utilizadas en la depuración de aguas residuales y sus requerimientos de hábitat.

Tabla 6.9 Especies emergentes más utilizadas en la depuración de aguas residuales.

FAMILIA	NOMBRE LATINO	NOMBRE COMUN	TEMPERATURA DESEABLE	RANGO EFECTIVO DE PH
Ciperáceas	Carex sp.	-	14 a 32	5 a 7.5
-	Scirpus lacustris	Junco de laguna	18 a 27	4 a 9
Gramíneas	Phragmites australis	Carrizo	12 a 23	2 a 8
Juncáceas	Juncus sp.	Juncos	16 a 26	5 a 7.5
Tifáceas	Thypha sp.	Eneas	10 a 30	4 a 10

Fuente: Tchobanoglous, 2000.



6.5 Manual de operación y mantenimiento

El manual de operación y mantenimiento conducen a asegurar un correcto funcionamiento y vida útil de la depuradora, así también, se encarga de plantear las actividades para operar y mantener cada una de los componentes del sistema depurador de aguas residuales: personal, equipos, y materiales requeridos como también precauciones y cuidados que se deben tener para garantizar la seguridad de los trabajadores.

6.5.1 Unidades de pretratamiento

Para alcanzar los niveles más altos de rendimiento en la depuración de las aguas residuales domésticas de la ciudad de Gonzanamá por Humedales de flujo superficial, es necesario el diseño de unidades de pre-tratamiento.

Las unidades de pre-tratamiento serán:

- Canal de entrada, disipa la energía con la que llegan las aguas residuales por el emisario final y permite uniformizar su velocidad.
 - Rejillas, para separar sólidos de gran tamaño como piedras, plásticos, trozos de madera, virutas, palos, trapos, etc.
 - Desarenador, para eliminar gravas, arenas, tierra y otros objetos pequeños que traspasan las rejillas de desbaste.
 - Desengrasador, para eliminar los aceites y las grasas presentes en el agua residual
- **Canal de entrada**

Tiene la finalidad de disipar la energía con la que llegan las aguas residuales a través de la tubería de alcantarillado hacia la planta de tratamiento, y permite uniformizar la velocidad del afluente. Por la importancia que tiene se debe dar mantenimiento una vez por semana a fin de que trabaje cumpliendo su función. Al final del canal de entrada se encuentra un aliviadero de excesos, que permite el desfogue del aumento de caudal causado por aguas lluvias especialmente en época de invierno.

Es preciso que un operador revise el canal, y en caso de ser necesario limpiar los sólidos grandes con ayuda de un rastrillo, pala y carretilla para luego ser retirados al relleno sanitario municipal o enterrarlos.



– **Rejilla**

El procedimiento más usual consiste en hacer pasar el agua a través una reja metálica. Su finalidad es la eliminación de los sólidos de tamaño grande y mediano (trozos de madera, trapos, raíces, etc.) que estén en suspensión o flotando. A medida que los sólidos se van acumulando en las rejillas, éstas se van colmatando y el agua encuentra mayor dificultad para atravesarlas. Por tanto, es necesario eliminar los objetos que causen obstrucción por lo menos una vez al día en épocas de invierno y una vez a la semana en tiempos de verano.

La limpieza de las rejillas la realizará el operador de forma manual con la ayuda de un rastrillo que encaje entre los barrotes que tienen una separación de 0,25 cm. La disposición de los residuos sólidos se hará enterrándolos o llevándolos al relleno sanitario municipal en bolsas apropiadas.

– **Desarenador**

El desarenador elimina gravas, arenas, partículas minerales y cualquier otro tipo de material pesado de tamaño superior a 0.15 mm. Este desarenador es de flujo horizontal, formado por dos canales rectangulares por donde circula el agua a una velocidad comprendida entre 0.20 y 0.40 m/s. Además cuenta con dos compuertas a la entrada de cada canal, a fin de facilitar la limpieza de las arenas y otros materiales pesados que se acumulan en el fondo del desarenador de forma manual utilizando herramientas como palas y baldes, sin dejar fuera de servicio a la planta.

Las operaciones de mantenimiento por parte del operador se realizarán semanalmente y con respecto a la disposición de las arenas si su contenido de materia orgánica está produciendo malos olores esta debe unirse a los sólidos procedentes de las otras unidades del pre-tratamiento y enterrarse o llevarse al relleno sanitario municipal, mientras que si la arena es más limpia, puede ser aprovechada en rellenos, caminos, y otros.

Un operador debe revisar diariamente que no esté pasando agua por las paredes de las compuertas. En caso de haber falla por este motivo el operador debe avisar al responsable de la planta para que haga los arreglos pertinentes.



– **Desengrasador**

El desengrasador cumple con la función de separar las grasas, aceites y espumas del agua residual, que se van reteniendo en la superficie, por la baja densidad de éstas con respecto a la del agua.

La frecuencia en la limpieza del desengrasador debe ajustarse a la cantidad de materias retenidas, y depende del agua residual propia de cada zona. Las materias retenidas son recogidas con una tolva, cucharones, diariamente y es conveniente retirar el material acumulado y enterrarlo junto a los sólidos provenientes de las otras etapas del pre-tratamiento.

Tabla 6.10. Actividades de operación y mantenimiento de las unidades de pretratamiento

UNIDAD	ACTIVIDADES	FRECUENCIA	PERSONAL	HERRAMIENTAS
Canal de entrada	Inspección, limpieza de desechos sólidos, escombros, etc.	1 vez / semana	Operador	Rastrillo, pala de mano, carretilla
Desbaste: Rejilla	Inspección, limpieza de sólidos de tamaño grande y mediano (trozos de madera, trapos, raíces, etc.) así como de finos.	1 vez / día	Operador	Rastrillo, pala de mano, carretilla
Desarenador	Inspección y retiro de arenas y otros materiales pesados que se acumulan en el fondo del desarenador.	1 vez / semana	Operador	Pala de mano, balde, carretilla
Desengrasador	Inspección, limpieza de aceites, grasa, espumas, corchos y otros materiales retenidos en la superficie	1 vez / día	Operador	Cucharones, baldes, palo largo para limpiar natas de grasas

6.5.2 Humedal de flujo superficial

La operación de la depuradora inicia cuando el afluente ingresa al pre-tratamiento donde son removidos los sólidos suspendidos, arenas y grasas, para posteriormente ingresar mediante una tubería PVC de 110 mm hacia un pozo de revisión para distribuir correctamente el caudal hacia 4 balsas de tratamiento. El operador deberá revisar semanalmente este pozo verificando que el caudal este distribuyéndose correctamente sin que existan obstrucciones.



Luego, el agua ingresa al humedal por medio de una tubería PVC de 110 mm, repartiendo equitativamente el caudal en dos balsas que funcionan simultáneamente, cuyo tiempo de retención es de aproximadamente 4 días, proceso en el cual el operador debe comprobar que el caudal circule por todas las partes del humedal en el tiempo establecido, que la acumulación de residuos no bloquee los caminos de flujo y no se desarrollen aéreas de estancamiento que provoquen la proliferación de mosquitos, asimismo, debe verificarse flujos y niveles de agua de manera frecuente.

Seguidamente el agua sigue su curso hacia la siguiente fase constituida por dos humedales más, que luego del tiempo de retención de 4 días se receptara mediante una tubería PVC de 110 mm hacia un tanque de recolección de 6 m³, para ser utilizados para riego por parte de la comunidad.

Además de revisar el proceso de circulación del agua en el tratamiento, el operador debe encargarse de verificar el correcto crecimiento de la vegetación implantada (carrizo) y dar limpieza a cada balsa retirando especies invasoras.

El desempeño de un humedal artificial de flujo libre depende de los criterios de diseño, las características del agua residual y de la operación. La remoción es por lo general de 90 % para la DBO, para la DQO 70 % y de 98 % para los SST. La eliminación de nitrógeno es mayor al 80 %, la remoción de fósforo oscila entre el 20 %. La eliminación de patógenos llega a niveles del 99,99%.

– *Implantación de la cobertura vegetal por trasplante de rizomas*

La cobertura vegetal para el humedal artificial de flujo superficial será de carrizo (*Phragmites australis*). Para que esta cobertura se establezca perfectamente se requiere de aproximadamente tres años, teniendo especial cuidado durante el primer año para permitir un buen crecimiento de las plantas.

La implantación del carrizo se efectuará, utilizando la técnica de implantación por trasplante de rizomas (plantas pequeñas) que se plantan en tierra de forma oblicua en cada balsa previamente. La altura del agua debe conservarse lo más alto posible para permitir un mejor control de la maleza, y el estado de sequedad prematuro.



Tabla 6.11 Actividades de operación y mantenimiento del sistema HFL

UNIDAD/PROBLEMA	ACTIVIDADES/SOLUCIÓN	FRECUENCIA	PERSONAL	HERRAMIENTAS
Humedal / Inundación del las balsas	Se necesita que el afluente alcance todas las partes del humedal.	Al inicio del proceso de puesta en marcha y luego de mantenimiento en las balsas.	Operador	Inspección visual
Humedal / proliferación de roedores	Se necesita eliminar toda clase de roedores que dañen las balsas.	1 / mes	Operador	Inspección visual
Humedal / Crecimiento inadecuado de plantas, malos olores.	Verificar el crecimiento saludable de las plantas. Eliminar especies invasoras.	1 / semana	Operador	Inspección visual.
Humedal / Obstrucción de las unidades del sistema	Limpieza del factor causante de la obstrucción.	1 / semana	Operador	Inspección visual, rastrillos, palas carretillas
Humedal / Proliferación de mosquitos	Los sistemas de vertido a las celdas deberán limpiarse, además evitar estancamientos del afluente.	1 / semana	Operador	Inspección visual. Rastrillos, palas, carretillas
Humedal / Vegetación que se descompone acelerando el proceso de colmatación	Retirar el material que se descompone fácilmente y reemplazarlo en caso de ser necesario.	1 / año	Operador	Inspección visual. Machetes, rastrillos.
Humedal / Control de calidad del efluente	Recolección de muestras. Ensayos físicos, químicos y bacteriológicos del efluente.	1 / meses	Operador	Material de muestreo.

6.5.3 Operador de la planta de tratamiento

El operador es la persona encargada de la supervisión y control del correcto funcionamiento de los procesos desarrollados en la depuradora de aguas residuales. Para la operación del HFL, no necesita ser una persona especializada, ya que el trabajo es sumamente sencillo y no demanda de una persona especializada en este campo.

– **Funciones y responsabilidades**

El operador de la planta depuradora tiene las siguientes funciones y actividades.:



- Estar completamente familiarizado con el funcionamiento de toda la planta de tratamiento de aguas residuales.
 - Supervisión visual y control del desarrollo de los procesos de cada unidad del sistema de tratamiento (rejillas, desarenador, desengrasador, humedales, etc.) así como de la limpieza de las herramientas.
 - Trabajos de mantenimiento (limpieza de rejillas, retirada de arenas, maniobras de válvulas, etc.)
 - Trabajos de conservación (pintado de elementos metálicos, cuidado de la jardinería, etc.), destinadas a mantener la buena presencia de la planta.
 - Tomar muestras representativas de aguas residuales para su posterior análisis.
 - Localizar posibles desperfectos en el desarrollo del proceso, para su posterior resarcimiento.
- ***Protección e higiene del operador***

Es importante asegurar la salud del operador, por esto es necesario:

- Proveer el equipo mínimo para su protección: overol, casco, mascarilla, guantes, botas. El mismo que debe ser usado solo en el sitio de trabajo.
- Después de usadas las herramientas deben ser lavadas, NO se deben guardar sucias.
- Disponer de retretes, cuartos de aseo apropiados y un botiquín adecuado para uso de los trabajadores que incluyan productos para la limpieza ocular y antisépticos para la piel.
- Después de terminadas las actividades de mantenimiento en la planta, el operador deberá lavarse las manos con agua y jabón y si es posible desinfectarlas con alcohol antes de ingerir cualquier alimento.
- El operador deberá evitar tocarse la nariz, boca u oídos con las manos a menos que estén recién lavadas.
- Se establecen controles médicos periódicos y vacunas que deben suministrarse a los operadores.

6.5.4 Equipos de trabajo

Para la realización de las diferentes operaciones de mantenimiento en la depuradora, el operario necesitan de equipos de trabajo y herramientas manuales que ayuden a evitar



riesgos innecesarios, tales como herramientas de albañilería: picos, palas, rastrillos, planas, etc.; herramientas estándares: llaves, destornilladores, martillos, etc.

El operador estará equipado con: botas de hule, guantes, overol, mascarilla y casco. En su equipo debe incluir una linterna, para posibles inspecciones nocturnas durante eventos máximos de lluvia. Todo el equipo y suministro debe ser entregado al operador por parte del Municipio a cargo.

6.5.5 Toma de muestras para la evaluación del efluente

Además de lo anteriormente señalado deberá tomarse muestras de agua residual a la salida del tratamiento, para realizar pruebas de DBO_5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno), Alcalinidad, Sólidos en Suspensión, Coliformes Fecales, Demanda Química de Oxígeno, pH, Sólidos Totales y Sólidos Disueltos. Esta actividad deberá realizarse mensualmente siguiendo el procedimiento descrito en el capítulo II apartado 2.2.2, para evaluar el funcionamiento de la depuradora.



CAPÍTULO

7



ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

7.1. INTRODUCCIÓN

El estudio de impacto ambiental debe ser considerado un instrumento importantísimo en la toma de decisiones, ya que permite alcanzar anticipadamente, un conocimiento amplio e integrado de los impactos o incidencias ambientales derivadas de la realización del proyecto y producido por acciones humanas.

La construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales conlleva al estudio técnico y de impacto ambiental en la zona, lo cual permite identificar los cambios que se realizarán en el entorno y que pueden afectar a los ciclos de vida normal de la flora y fauna de la ciudad.

También serán evaluadas las ventajas de tener un proceso de depuración que permita obtener un agua lo suficientemente adecuada para ser reutilizada en procesos de riego o para enviarla hacia un cuerpo receptor, evitando en gran manera la contaminación de los flujos de agua.

Un aspecto primordial de la gestión ambiental es generar una actitud preventiva, que permita identificar anticipadamente las afectaciones negativas de las obras, con el fin de establecer en forma oportuna medidas para eliminar o reducir a niveles aceptables el impacto que se hace a la zona en estudio, con este propósito nuestro estudio será realizado con una evaluación ambiental minuciosa de la zona con el fin de desarrollar un proyecto que se ajuste a las necesidades de la sociedad con el menor impacto posible al entorno y ambiente de la ciudad.

7.2. METODOLOGÍA

El desarrollo del estudio de impacto ambiental se ha realizado de acuerdo al modelo propuesto por Leopold que consiste en un cuadro de doble entrada (matriz). En las columnas se consideran las acciones humanas que pueden alterar el sistema, y en las filas los parámetros ambientales que pueden ser afectados. En la matriz original de Leopold hay 100 acciones y 88 parámetros ambientales, aunque no todos se utilizan ya que su número depende del proyecto que se va a realizar.



Además, el proceso de evaluación del impacto ambiental será ejecutado de acuerdo a los términos de referencia propuestos por la Municipalidad y a los estándares ambientales ecuatorianos.

7.3. MARCO LEGAL

El marco legal ambiental para éste tipo de proyectos se encuentra principalmente en el Texto Unificado de Legislación Ambiental (TULA), que consta de diez tomos, así como en la Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental (DS-374, RO 97, mayo 1976), y su Reglamento para el Manejo de Desechos Sólidos (Registro Oficial 991, del 3 de agosto de 1992).

De manera particular, el TULA, en su Libro VI "De la Calidad Ambiental", en sus Capítulos III, IV, V menciona los objetivos, elementos y proceso de evaluación de impactos ambientales y el Título IV presenta el Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental que incluyen:

- Norma de calidad ambiental y descarga de efluentes recurso agua.
- Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados
- Norma de emisiones al aire desde fuentes fijas de combustión
- Norma de calidad del aire ambiente.
- Límites permisibles de ruido ambiente para fuentes fijas y móviles, y para vibraciones.
- Norma de calidad ambiental para el manejo y disposición de desechos sólidos no peligrosos.

Adicionalmente, el Artículo 12 del Código de Salud, establece que: "Los reglamentos y disposiciones sobre molestias públicas, tales como: ruidos, olores desagradables, humos, gases tóxicos, polvo atmosférico, emanaciones y otras, serán establecidas por la autoridad de salud".

7.4. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

En la ciudad de Gonzanamá existe una población actual de aproximadamente 1960 habitantes, la misma que cuenta con sistema de agua potable y alcantarillado sanitario en toda la zona urbana de la ciudad.



La alta necesidad de agua para riego en tiempo de verano y la alta contaminación de los cursos de agua han sido una preocupación para la sociedad, por lo que la búsqueda de métodos de depuración de aguas residuales eficientes y de bajo costo ha sido tema de investigación en este trabajo.

Para la realización de este estudio se ha proyectado en las necesidades de esta ciudad, que tiene un avance económico y poblacional considerable, llevando en aumento las necesidades económicas y desarrollo de la ciudad.

De esta forma se ha visto necesaria la construcción de una planta depuradora de aguas residuales por el método natural denominado humedales de flujo superficial. El cual necesita un área para su construcción de 6219 m², para soportar un periodo de diseño de 20 años, cuya población futura calculada es de 2474 habitantes.

Los estudios realizados han permitido escoger esta tecnología de depuración ya que se adapta a las características de la zona de influencia y a las características del agua residual. El proceso de depuración está compuesto por un tratamiento preliminar conformado por desbaste, desarenado y desengrasado, luego el tratamiento biológico conformado por el humedal de flujo superficial dividido en 4 balsas con plantaciones de carrizo. El cambio que se originará en el paisaje recomienda un plan de manejo ambiental que permita mitigar los daños así como dar a conocer las ventajas que se producirían por su construcción.

7.5. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA

7.5.1. Medio físico

a. Características de la zona

Además de los datos geográficos de la ciudad presentados en capítulos anteriores es importante mencionar en este capítulo que la topografía de la ciudad de Gonzanamá es irregular, presentándose planicies solo en pequeñas partes del lugar. La zona de estudio se encuentra asentada en una pequeña elevación relativamente regular con una pendiente aproximada de hasta el 5%.

El área de terreno según los estudios de suelos y la inspección visual está compuesta por arcilla cubierta por un pastizal que sirve de alimento para la crianza de ganado.



Además se encuentran arboles, específicamente faiques utilizado como sombra para el ganado que se cría en el lugar.

A los alrededores la zona cuenta con gran cantidad de arboles que han crecido desde hace mucho tiempo, estos sirven como lugar de asentamiento de varias especies de aves que crecen en un entorno agradable en la localidad debido al bajo grado de contaminación del mismo.

b. Clima

La ciudad de Gonzanamá cuenta con dos estaciones climáticas bien definidas: verano e invierno cuyas características y tiempos de duración se presentan en el capítulo IV dedicado a este tema. Así como las características de temperatura, viento y evapotranspiración.

c. Calidad del aire

La calidad del aire en la ciudad es muy buena, debido a la ausencia total de industrias que emanen gases tóxicos al ambiente. Además la cantidad de automotores es baja, lo que hace que la ciudad tenga un alto grado de purificación del aire.

d. Ruido

Debido a la baja cantidad de automotores, la cantidad de ruido especialmente en la avenida principal por donde pasan cooperativas se la considera baja debido a que la circulación de vehículos no es muy significativa.

7.5.2. Medio biótico

a. Flora

Los productos que se siembran en la localidad son esencialmente guineo, maíz, frejol y a menor escala las hortalizas, frutas y otros productos que sirven para consumo interno de la ciudad. Además de estos productos se ha observado la presencia de plantas conocidas presentadas en la tabla 7.1.

**Tabla 7.1** Evaluación Ecológica Rápida de la flora

NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	FAMILIA	ABUNDANCIA	USOS
Faique	Acacia macracantha	MIMOSACEAE	2	Sombra y leña
Guararo	Lafoensia acuminata	LYTHRACEAE	1	leña
Porotillo	Tabebuia chrysantha	BIGNONIACEAE	2	cercos
Yuruza	Paspalum depauperatum	POACEAE	1	Pastizales
Chilena	Panicum maximun	POACEAE	2	
Yaragua	Melinis minutiflora	POACEAE	3	

1 = Poco, 2 = Común, 3 = Abundante

b. Fauna

Generalmente la población se dedica a la ganadería, crianza de cerdos y aves de corral que sirven de alimento a la parte interna de la ciudad. También existe una gran cantidad de caballos, mulas y asnos que sirven para el trabajo doméstico, como para arado de tierras, transporte de alimentos y personas.

Los animales silvestres se encuentran alejados de la zona de influencia debido a la presencia de caninos y ganado de una parte de la población que vive cerca del lugar. Sin embargo hay una gran cantidad de aves rondando el lugar debido a la presencia de árboles que sirven como asentamiento para los mismos.

7.5.3. Medio social y económico de la región

Las encuestas realizadas en la ciudad de Gonzanamá han permitido describir el aspecto demográfico, económico y social de la población descrito en el capítulo I del presente trabajo.

Este aspecto es importante en la evaluación ambiental ya que permite obtener datos sobre las necesidades de la población, así como de los problemas que atraviesa la sociedad y la capacidad de los mismos para poder dar marcha a proyectos que beneficien a la ciudad.

Es importante mencionar que la ciudad cuenta con vía de acceso a la zona de estudio así como de red de energía eléctrica y telefonía celular y pública, lo cual es un parámetro importante en el aspecto constructivo de la planta.



7.6. CARACTERIZACIÓN, IDENTIFICACIÓN Y PREDICCIÓN DE LOS IMPACTOS DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

7.6.1. Características del método

La metodología diseñada por Leopold propone que se consideren los siguientes factores ambientales (filas de la matriz), estos pueden ser aumentados o disminuidos, de acuerdo a las características del proyecto y del medio.

Para identificar y valorar los impactos positivos y negativos que producirá la construcción del proyecto en estudio, se utiliza el método de la matriz de Leopold, la misma que consiste en una matriz formada por factores ambientales (filas) y acciones que se realicen en la construcción, operación y mantenimiento (columnas).

✓	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS	Y ✓	FACTORES CULTURALES
⊕	Tierra <ul style="list-style-type: none">▪ Recursos minerales▪ Material de construcción▪ Suelos▪ Geomorfología▪ Campos magnéticos y radiactividad de fondo▪ Factores físicos singulares		⊕ Usos del territorio <ul style="list-style-type: none">▪ Espacios abiertos y salvajes▪ Zonas húmedas▪ Silvicultura▪ Pastos▪ Agricultura▪ Zona residencial▪ Zona comercial▪ Zona industrial▪ Minas y canteras
⊕	Agua <ul style="list-style-type: none">▪ Continentales▪ Marinas▪ Subterráneas▪ Calidad▪ Temperatura▪ Recarga▪ Nieve, hielo y heladas		⊕ Recreativos <ul style="list-style-type: none">▪ Caza▪ Pesca▪ Navegación▪ Baño▪ Camping▪ Excursión▪ Zonas de recreo
⊕	Atmósfera <ul style="list-style-type: none">▪ Calidad (gases, partículas)▪ Clima (micro, macro)▪ Temperatura		⊕ Estéticos y de interés humano <ul style="list-style-type: none">▪ Vistas panorámicas y paisajes▪ Naturaleza▪ Espacios abiertos▪ Paisajes▪ Agentes físicos singulares▪ Parques nacionales y áreas de reserva
⊕	Procesos <ul style="list-style-type: none">▪ Inundaciones▪ Erosión▪ Sedimentación y precipitación		



- Solución
 - Sorción (intercambio de iones complejos)
 - Compactación y asentamientos
 - Estabilidad
 - Sismología (terremotos)
 - Movimientos de aire
- ✓ **CONDICIONES BIOLÓGICAS**
- ⊕ Flora
 - Árboles
 - Arbustos
 - Hierbas
 - Cosechas
 - Microflora
 - Plantas acuáticas
 - Especies en peligro
 - Barreras, obstáculos
 - ⊕ Fauna
 - Pájaros (aves)
 - Animales terrestres
 - Peces y mariscos
 - Organismos bentónicos
 - Insectos
 - Microfauna
 - Especies en peligro
 - Barreras
- Monumentos
 - Especies o ecosistemas especiales
 - Lugares u objetos históricos o arqueológicos
 - Desarmonía
- ⊕ Nivel cultural
- Estilos de vida
 - Salud y seguridad
 - Empleo
 - Densidad de población
- ⊕ Servicios e infraestructura
- Estructuras
 - Red de transporte
 - Red de servicios
 - Eliminación de residuos sólidos
 - Barreras
- ✓ **RELACIONES ECOLÓGICAS**
- Salinización de recursos de agua
 - Eutrofización
 - Vectores de enfermedades – insectos
 - Cadenas alimenticias
 - Salinización de materiales superficiales
 - Invasión de maleza
 - Otros

El método de Leopold también requiere 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:

- ✓ **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
- ✓ **ALTERACIÓN DE LA TIERRA**
 - ⊕ Control de la erosión y terraceo
 - ⊕ Clausura de minas y control de desperdicios
 - ⊕ Rehabilitación de minas
 - ⊕ Paisajes
 - ⊕ Dragado de muelles
 - ⊕ Relleno y drenaje de pantanos
- ✓ **RENOVACIÓN DE FUENTES**
 - ⊕ Reforestación



⊕ Ruido e introducción de vibraciones extrañas	⊕ Manejo y preservación de la fauna salvaje
✓ TRANSFORMACIÓN DE LA TIERRA	⊕ Recargas de agua subterránea
	⊕ Aplicación de fertilizantes
	⊕ Reciclaje de desperdicios
⊕ Urbanización	✓ MODIFICACIONES EN EL TRANSITO
⊕ Parques industriales y edificios	
⊕ Aeropuertos	⊕ Ferroviario
⊕ Carreteras y puentes	⊕ Automotriz
⊕ Caminos vecinales	⊕ Caminero
⊕ Líneas férreas	⊕ Marítimo
⊕ Tendido de cables no conductores	⊕ Aéreo
⊕ Líneas de transmisión, tuberías de conducción	⊕ Fluvial
⊕ Barreras, inclusive cercas	⊕ Náutico – recreacional
⊕ Modificación y dragado de canales	⊕ Tendido de cables
⊕ Revestimiento de canales	⊕ Comunicación
⊕ Construcción de canales	⊕ Tendido de tuberías
⊕ Presas	
⊕ Muelles y rompeolas	✓ ELIMINACIÓN Y TRATAMIENTO DE DESPERDICIOS
⊕ Estructuras mar adentro (off-shore)	
⊕ Estructuras recreacionales	
	⊕ Descargas oceánicas
⊕ Voladuras, horadaciones	⊕ Rellenos
⊕ Corte y relleno	
⊕ Túneles y estructuras subterráneas	
✓ FUENTES DE EXTRACCIÓN	⊕ Eliminación de materiales dañados
	⊕ Almacenamiento subterráneo
⊕ Voladuras y horadaciones	⊕ Manejo de basuras
⊕ Excavación superficial	⊕ Desechos de petróleo
⊕ Superficies de excavación y retorno	⊕ Infiltraciones mediante pozos
⊕ Construcción de pozos y explotación de aguas subterráneas	⊕ Descarga de aguas calientes
	⊕ Basuras municipales
	⊕ Descargas líquidas
	⊕ Lagunas de oxidación y estabilización
	⊕ Fosas sépticas, comerciales y domésticas
⊕ Perforaciones	
⊕ Limpieza y desbroce	⊕ Lubricantes
⊕ Caza y pesca comercial	
✓ PROCESAMIENTO	✓ TRATAMIENTO QUÍMICO
⊕ Haciendas	⊕ Fertilización
⊕ Parcelación, formación de ranchos	⊕ Tratamiento químico de desechos acumulados en carreteras
⊕ Tierras de producción agrícola	⊕ Estabilización química del suelo
⊕ Tierras de producción y autoconsumo	⊕ Control de maleza
⊕ Generación de energía	⊕ Control de insectos
⊕ Procesamiento de minerales	
⊕ Industria metalúrgica	
⊕ Industria textil	✓ ACCIDENTES
⊕ Automóviles y aviones	



- ⊕ Refinerías
- ⊕ Alimentos
- ⊕ Pulpa y papel
- ⊕ Almacenamiento de productos
- ⊕ Cosecha
- ⊕ Explosiones
- ⊕ Derramamientos y fugas
- ⊕ Fallas operacionales
- ✓ OTROS
- ⊕ Según características propias del proyecto analizado

Para cada acción se determinará qué factores ambientales se afectan y se las calificará cuantitativamente en términos de su magnitud e importancia. La magnitud de la acción se colocará en el lado izquierdo y la importancia en el lado derecho del casillero que estará separado por una diagonal.

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. El valor de importancia también se los considera en una escala del 1 al 10, siempre se tomara a la importancia como absoluto o positivo. A partir de estos procedimientos se calcularán los promedios positivos y negativos así como la agregación de los impactos, y se cuantificará la acción más beneficiosa y la más dañina.

Al hacer las identificaciones debe tenerse presente que en esta matriz los impactos no son exclusivos o finales. 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 7.2, asignados por Leopold para mayor facilidad de valoración.

Tabla 7.2 valoración de magnitud e importa de la matriz de Leopold

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



MAGNITUD			IMPORTANCIA		
CALIFICACIÓN	INTENSIDAD	AFECTACIÓN	CALIFICACIÓN	DURACIÓN	INFLUENCIA
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

7.6.2. Identificación de acciones y factores ambientales que afectan en la construcción del proyecto

Es evidente que en la etapa de construcción se produzca la mayor cantidad de impactos negativos sobre el ambiente, entorno y paisaje de la zona. Sin embargo, las afecciones producidas son de carácter transitorio. Así, la población se verá afectada especialmente cuando se realicen las obras físicas como: movimiento de tierras, extracción y transporte de materiales hacia la zona. La generación de empleo será un impacto de carácter positivo ya que evidentemente ayuda en gran medida al aspecto económico de la localidad.

Otro tipo de acciones negativas fuertemente impactantes son la generación de polvo, producción de ruido y vibraciones, ya que ocasionan una alta contaminación del aire lo que conlleva a bajar el nivel de salud de la población.

a. Acciones consideradas durante la etapa de construcción

Previo al levantamiento topográfico, necesario en la implantación del proyecto, se inicia la etapa de construcción, donde se proyecta realizar las siguientes acciones:

- Desbroce y limpieza
- Excavación a máquina
- Desalojo de materia con volquetas
- Transporte de materiales con vehículos a motor
- Ruido y vibraciones por presencia y circulación de maquinaria
- Construcción de obras de concreto
- Implantación de la vegetación en balsas



Se ha considerado que para la etapa de construcción del proyecto se realizarán las siguientes actividades principales:

b. Recursos o factores afectados durante la etapa de construcción

Entendiéndose por recurso ambiental a cualquier elemento material que forma parte del medio ambiente considerado; por factor ambiental, en cambio se entiende a un proceso o característica que se desarrolla dentro del medio ambiente y que puede estar asociada a uno o más recursos ambientales.

Los recursos y/o factores ambientales que podrían verse afectados durante la etapa de construcción para cada acción que se realiza en el proyecto son las siguientes:

Levantamiento topográfico: En esta etapa la afectación del medio es mínima, cuyo proceso afecta el suelo debido a la excavación de estacas y movimiento de los animales del sitio a otro lugar.

Desbroce y limpieza: La afectación se presenta debido al corte de los árboles, arbustos, hierbas y cultivos presentes en la zona.

Excavación a máquina: Esta actividad producirá la mayor parte del daño en la zona de influencia ya que se eliminara por completo las plantas que existen en el lugar, además se producen daños al suelo y al aire por la presencia de maquinaria.

Desalojo de material: El desalojo afecta al aire y al suelo debido a la presencia de volquetas en la zona. Además la presencia de polvo afecta en gran medida el medio ambiente del lugar.

Transporte de material: Los vehículos que ingresan al lugar contaminan el aire y afectan en menor proporción el suelo.

Ruido y vibraciones: Este parámetros proveniente de las actividades de construcción afecta la presencia de la fauna en la zona.

Construcción de obras de concreto: La permanencia de las obras de concreto afecta el paisaje que ha inicio se encuentra en el lugar.

Implantación de vegetación en balsas: La vegetación produce en efecto positivo en el medio ya que se aumenta la presencia de flora en el lugar.



7.6.3. Identificación de acciones y factores ambientales que afectan en la etapa de operación y mantenimiento

En la etapa de operación y mantenimiento se aprecian en mayor número e intensidad los impactos positivos del proyecto, con notables diferencias de los impactos negativos.

Los potenciales impactos predominantemente positivos durante la fase de operación y mantenimiento, a diferencia de los de la fase anterior, serán de carácter permanente e incidirán sobre el mejoramiento de las condiciones de habitabilidad y de desarrollo de las actividades productivas de la población.

La presencia de impactos negativos es mínima, cuya presencia se puede dar por el mal manejo, operación y mantenimiento de la planta.

c. Acciones consideradas durante la etapa de operación y mantenimiento

Se han considerado las acciones más relevantes, estas son:

- Inadecuado mantenimiento del sistema
- Fallas operacionales en el sistema
- Integración del usuario
- Mantenimiento adecuado del sistema
- Reutilización del efluente

Entre otros también se ha tomado en cuenta considerar:

- Cambio del paisaje o modificación del hábitat
- Desarrollo de la zona (ciudad de Gonzanamá)

d. Recursos y factores afectados durante la etapa de operación y mantenimiento

En base a las acciones analizadas y considerando la descripción de las condiciones ambientales en la zona del proyecto, se han seleccionado los recursos y/o factores ambientales de mayor significación que podrían verse afectados durante la etapa de operación y mantenimiento para cada acción del proyecto; estos son los siguientes:

Inadecuado mantenimiento del sistema: Es la acción de mayor efecto negativo a todos los factores ambientales del lugar, ya que este puede causar daños irremediables al



suelo cultivado por su contaminación con el riego, al aire debido a los malos olores, disminuye la calidad de los productos que se riegan con este caudal, salud de la población, etc.

Fallas operacionales en el sistema: Las fallas hacen que la calidad del efluente disminuya considerable provocando malos olores y contaminación por que el agua no cumple con las características ambientales.

Integración del usuario: La población es la que más beneficios tendrá, ya que se aumenta el aspecto económico con fuentes de trabajo y producción, además la calidad de los productos es mucho mejor, aumentando la salud de los residentes de la ciudad.

Mantenimiento adecuado del sistema: Un mantenimiento adecuado es muy beneficioso ya que se cumplirá con la característica establecida en el estudio, provocando todos los efectos positivos posibles.

Reutilización del efluente: Como ya se ha dicho el efluente servirá para riego o para aumentar un caudal sano a los cuerpos receptores, aumentando la producción especialmente en tiempo de verano cuando la falta de agua es evidente en los procesos de producción.

Cambio del paisaje: Aparte de las obras de concreto el humedal traerá consigo un lugar atractivo para la población. En algunos casos en otros países los humedales han sido lugares turísticos para la gente.

Desarrollo de la zona: Como ya se ha dicho los beneficios serán evidentes provocando un gran efecto positivo en la población. Además, se debe tomar en cuenta que un tratamiento adecuado es básico en cualquier lugar del mundo.

7.7. MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

A continuación se presenta la matriz que resume los factores ambientales afectados por las acciones realizadas en la ejecución del proyecto.



MATRIZ DE IDENTIFICACION Y VALORACION DE IMPACTOS AMBIENTALES																																	
METODO DE LEOPOLD																																	
ACCIONES	PARAMETROS AMBIENTALES	DISEÑO		CONSTRUCCIÓN						OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO						OTROS		AFECTACIONES POSITIVAS	AFECTACIONES NEGATIVAS	AGREGACION DE IMPACTOS													
		LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	DESARROLLO Y LIMPIEZA	EXCAVACION/MAQUINA	DESARROLLO DE MATERIAL	TRANSPORTE DE MATERIALES	FLUIDO Y VIBRACIONES	CONSTRUCCION DE OBRAS DE CONCRETO	INFLUENCIA DE VEGETACION EN BALSAS	INTEGRIDAD DEL MANTENIMIENTO DEL SISTEMA	FALLAS OPERACIONALES EN EL SISTEMA	INTEGRACION DEL USUARIOS	MANTENIMIENTO ADECUADO DEL SISTEMA	REUTILIZACION DEL EFLENTE	CONVOCIO DEL PAISAJE	DESARROLLO DE LA ZONA																	
A.- CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS																																	
A.1.- TIERRA																																	
a.-	SUELO (Hasta 2m como máximo)	-1	-1	-5	-2	-2	-1	-4	9	-4								1	8	1													
b.-	GEOMORFOLOGÍA	-1	-1	-6	-2	-2	-1	-1	9	-4								2	8	46													
c.-	CONTAMINACIÓN DEL SUELO			-1	2	2	1	1	-6	-6								0	6	-83													
A.2.- AGUA																																	
a.-	DESCONTAMINACIÓN DEL AGUA							9	6	-9				9				2	2	0													
b.-	RECARGA CUERPO RECEPTOR Y RIEGO							9	6	-9			9	6	9			4	2	108													
A.3.- AIRE																																	
a.-	CONTAMINACIÓN DEL AIRE			-8	-8	-8			8	-8	-8			8				2	5	-96													
b.-	OLORES			-2	-2	-2				-9	-9			9				1	5	-60													
c.-	PROLIFERACIÓN DE VECTORES			1	1	1			7	-9	-9			9				2	2	-12													
d.-	POLVO			-2	-7	-8	-8			6	6			6				0	5	-96													
e.-	RUIDO	-1	-1	-9	-9	-9	-4	-1	-2	1								0	7	-113													
B.- CONDICIONES BIOLÓGICAS																																	
B.1.- FLORA																																	
a.-	ARBOLES			-4	-4				-2	3							8	1	3	6													
b.-	ARBUSTOS			-4	-1	-1	-1		-2	3	9	-8	-8		8		8	3	7	45													
c.-	HIERBAS			-4	-2	-1	-1		-2	3	6	3	3		8		8	1	5	10													
d.-	CULTIVOS	-1		6	3	1	1		-2	3				-8			8	1	3	-7													
B.2.- FAUNA																																	
a.-	AVES	-4	-4	-7	-7	-7	-7	-1	7	-6			-1				9	2	9	-71													
b.-	ANIMALES TERRESTRES	-4	-4	-2	-7	-7	-7	-1	-1	6	6		-1	2			-1	0	10	-107													
C.- FACTORES CULTURALES																																	
C.1.- USO DEL TERRITORIO																																	
a.-	PAISAJE								-1	3	3	-9					9	2	2	15													
b.-	AGRICULTURA								-3	3	-9	6		-8			9	1	3	-57													
c.-	GANADERÍA			-6	-5	-5	-5		-3	3	5	-1		-8			8	2	7	-28													
C.2.- NIVEL CULTURAL																																	
a.-	EMPLEO	7	7	6	6	6	6	6	5	4				9			9	9	0	280													
b.-	SERVICIOS BASICOS	4	4	4	4	4	4	4	9	4	-9	-9		9	6	9	9	4	2	108													
AFECTACIONES POSITIVAS																		1	1	1													
AFECTACIONES NEGATIVAS																		6	10	13													
AGREGACION DE IMPACTOS																		8	-83	-200													
																1	1	1	1	1	0	4	10	0	0	1	7	4	7	2	COMPROBACION		
																6	10	13	12	12	5	14	1	14	8	5	0	0	1	0	-111	-111	-111
																8	-83	-200	-154	-154	-59	106	415	-531	-378	-94	342	210	353	108	-111	-111	-111



Los impactos serán evaluados de acuerdo de a la siguiente tabla:

Tabla 7.3. Cuadro de la evaluación de impactos de acuerdo a la metodología de Leopold.

RANGOS	IMPACTO	
-70.1 a -10	NEGATIVO	MUY ALTO
-50.1 a -70	NEGATIVO	ALTO
-25.1 a -50	NEGATIVO	MEDIO
-1 a -25	NEGATIVO	BAJO
1 a 25	POSITIVO	BAJO
25.1 a 50	POSITIVO	MEDIO
50.1 a 80	POSITIVO	ALTO
80.1 a 100	POSITIVO	MUY ALTO

Los resultados obtenidos en la matriz de calificación de impactos por el método de Leopold son los mostrados en las tablas siguientes:

Tabla 7.4. Resumen de afectaciones por actividades.

ACTIVIDADES	AFECCIONES POSITIVAS	AFECCIONES NEGATIVAS	AGREGACIÓN DE IMPACTOS
Levantamiento topográfico	1	6	8
Limpieza y desbroce	1	10	-83
Excavación a máquina	1	13	-200
Desalojo de materia	1	12	-154
Transporte de material	1	12	-154
Ruido y vibraciones	0	5	-59
Construcción de obras de concreto	4	14	106
Implantación de vegetación en balsas	10	1	415
Inadecuado mantenimiento del sistema	0	14	-531
Fallas operacionales del sistema	0	8	-378
Integración del usuario	2	5	14
Mantenimiento adecuado del sistema	7	0	342
Reutilización del efluente	4	0	210
Cambio del paisaje	7	1	353
Desarrollo de la zona	2	0	108



De acuerdo a este cuadro se desprende que las actividades que mayor impacto negativo causan son la que se realizan en la ejecución del proyecto como limpieza y desbroce, excavación, desalojo, transporte, ruido y vibraciones. Además, en la etapa del funcionamiento de la planta lo que más impacto negativo produciría son la falta de mantenimiento y fallas en la operación del sistema.

En la matriz y resumen de afectaciones se nota claramente que la valoración de los impactos positivos es muy alta en la mayor parte de las actividades que se van a realizar en el proyecto, siendo factible su ejecución en la referente al impacto que producirá en la población.

Tabla 7.5. Resumen de afectaciones por componente ambiental.

COMPONENTE AMBIENTAL			AFECCIONES POSITIVAS	AFECCIONES NEGATIVAS	AGREGACIÓN DE IMPACTOS
Características físicas y químicas	Tierra	Suelo	1	8	1
		Geomorfología	2	8	46
		Contaminación del suelo	0	6	-83
	Agua	Descontaminación del agua	2	2	0
		Recarga cuerpo receptor y riego	4	2	108
	Aire	Contaminación del aire	2	5	-96
		Olores	1	5	-60
		Proliferación de vectores	2	2	-12
		Polvo	0	5	-96
		Ruido	0	7	-113
Condiciones biológicas	Flora	Arboles	1	3	6
		Arbustos	3	7	45
		Hierbas	1	5	10
		Cultivos	1	3	11
	Fauna	Aves	2	9	-71
		Animales terrestres	0	10	-107
Factores culturales	Uso del territorio	Paisaje	2	2	15
		Agricultura	1	3	-39
		Ganadería	2	7	-10
	Nivel cultural	Empleo	9	0	280
		Servicios básicos	5	2	162



La matriz de Leopold en la tabla 7.5, muestra que los componentes ambientales más afectados son: el aire en lo referente a su contaminación, olores en un porcentaje medio, proliferación de vectores en un porcentaje bajo, polvo y ruido, además la fauna, agricultura y ganadería desarrolladas en la zona de influencia. A pesar que estos componentes ambientales son afectados en el proceso de construcción, es evidente que en la mayor parte de ellos el impacto es positivamente alto de acuerdo a los parámetros de Leopold.

También es importante recalcar que en la fase de operación de la planta existirá un alto porcentaje de impactos positivos, que serán beneficiosos para la población en el aspecto económico ya que existirá mayor cantidad de agua para riego, así como menor cantidad de cuerpos de agua afectados por el agua residual de la ciudad. Además de que la ciudad contara con un servicio básico que disminuirá el riesgo de enfermedades y aumentara las fuentes de trabajo de la población.

A pesar de todo es importante tener en cuenta algunas medidas de mitigación de impactos ambientales.

7.8. MEDIDAS DE MITIGACIÓN

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

7.8.1. *Medidas de mitigación durante la construcción*

Obras de drenaje.- Desde el punto de vista ambiental se considera indispensable la construcción de obras de drenaje superficial, para evitar que las balsas colmaten por la presencia de caudales no deseables.

Prevención de arrastre de sedimentos.- Las principales medidas de mitigación recomendadas con respecto al control del desalojo del material producto de la excavación para la conformación de las balsas son la limpieza por parte de los operadores de la mayor cantidad de residuos que puedan afectar al buen desarrollo de operación de la planta.

Protección de ecosistemas.- Bajo ningún concepto se permitirá la disposición de los materiales sobrantes en lugares ambientalmente sensibles, ni en zonas inundables, tampoco la construcción de botaderos de material en el sitio de los humedales.



7.8.2. Medidas de mitigación durante la etapa de operación y mantenimiento.

Mantenimiento de la obra.- El mantenimiento de la obra deberá ser indispensable para evitar daños ambientales. El mantenimiento se hará de acuerdo al manual descrito en capítulos anteriores.

Prevención de los efectos de contaminación.- Es importante mantener la zona del proyecto limpia para evitar el daño del paisaje en el lugar.

Educación ambiental.- Es necesario informar a los pobladores del lugar y comunidades vecinas sobre las características y alcance del proyecto, para evitar falsas expectativas de empleo. Las medidas de protección deben prevenir el deterioro del medio ambiente.

7.9. COMPARACIÓN AMBIENTAL DE LAS ALTERNATIVAS

Las dos alternativas que se evalúan son las siguientes:

7.9.1. Alternativa sin proyecto

La no ejecución de un proyecto causa impactos desfavorables para la sociedad ya que la no ejecución de estos proyectos de tal importancia para la ciudad se verá trascender posteriormente en problemas de enfermedades y contaminación del agua de las quebradas cercanas a la población. Esto hace que la planta de tratamiento de las aguas servidas de la localidad sea un servicio básico necesario para un buen desarrollo de la capacidad productiva debido a que cada día el factor más importante es tener fuentes de agua descontaminada adecuada para su uso.

Al no ejecutar este tipo de proyectos en las ciudades pequeñas, se pierde la oportunidad de generar empleo para los pobladores de estas ciudades, en la fase constructiva como en fase de operación de la planta.

7.9.2. Alternativa con proyecto

Es una buena opción, ya que causará impactos positivos importantes en la sociedad. Y como se dijo anteriormente la construcción de proyectos básicos permiten el buen desarrollo de la localidad creando fuentes de trabajo y aumentando la productividad de la zona con mayor cantidad del recurso agua.

La destrucción del paisaje no es alta debido a que con anterioridad se trata de escoger el lugar que no dañe considerablemente paisajes llenos de arboles o plantas del lugar.



CAPÍTULO

8



PRESUPUESTO

En este capítulo se abordará el presupuesto de construcción del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas para la ciudad de Gonzanamá por humedal de flujo superficial. Este presupuesto servirá para tener una idea del costo del proyecto si se lo llegase a construir. El presupuesto contiene el análisis de costos unitarios de cada rubro incluido en la tabla de cantidades de la obra.

8.1 Análisis de precios unitarios

El análisis de precios es un proceso mediante el cual se estima el costo de cada rubro del presupuesto total del proyecto, para de esta manera el contratante pueda remunerar o pagar en moneda al contratista por unidad de obra y por concepto de trabajo que ejecute.

El análisis de cada rubro considera costos de mano de obra, equipo, materiales, transporte.

8.2 Presupuesto total de construcción

El presupuesto total del proyecto, es el costo de la obras más el 20% de costos indirectos, los mismos que incluye el margen de utilidad que va a tener el contratista.

El presupuesto total de la obra es de 73697.91 dólares americanos.

8.3 Costos de operación y mantenimiento

Los costos de operación y mantenimiento del humedal de flujo superficial, dependen de variables como tamaño de la planta depuradora, necesidad de personal, frecuencia del mantenimiento, control del funcionamiento, programa de capacitación, herramientas.

De esta manera se ha obtenidos que el costo de operación y mantenimiento anual para el tratamiento propuesto es de 8086.92 dólares americanos.



UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA

PRESUPUESTO TOTAL DE LA OBRA

OBRA : CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

UBICACIÓN : CANTÓN Gonzanamá

HOJA 1 DE 2

DESCRIPCION	UND.	CANT.	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
PRELIMINARES				34,121.23
Replanteo y nivelación	m2	8,191.00	1.63	13,351.33
Limpieza y desbroce	m2	8,191.00	1.79	14,661.89
Cerram. poste Hº S. + alambre puas (5 llos) + excavación	m	379.00	13.82	5,237.78
Acero de refuerzo fy=4200 Kg/cm2	kg	486.16	1.79	870.23
CANAL DE ENTRADA Y DESBASTE				233.45
Excav. h=0 a 2 m a máquina (retroexcavadora suelo normal)	m3	2.63	2.23	5.86
Adecuación del fondo de la zanja	m2	3.94	6.72	26.48
Encofrado recto	m2	3.60	13.92	50.11
Hormigón S. f'c=210 kg/cm2	m3	1.17	109.37	127.96
Reja canal de cribado	u	1.00	3.42	3.42
Malla electrosoldada 6mm 15x15 cm	m2	3.94	4.98	19.62
DESARENADOR				789.05
Excav. h=0 a 2 m a máquina (retroexcavadora suelo normal)	m3	5.41	2.23	12.06
Adecuación del fondo de la zanja	m2	6.36	6.72	42.74
Encofrado recto	m2	7.42	13.92	103.29
Hormigón S. f'c=210 kg/cm2	m3	1.57	109.37	171.71
Compuerta de volante de acero inoxidable	u	2.00	213.79	427.58
Malla electrosoldada 6mm 15x15 cm	m2	6.36	4.98	31.67
DESENGRASADOR				390.06
Excav. h=0 a 2 m a máquina (retroexcavadora suelo normal)	m3	3.23	2.23	7.20
Adecuación del fondo de la zanja	m2	3.36	6.72	22.58
Encofrado recto	m2	8.18	13.92	113.87
Hormigón S. f'c=210 kg/cm2	m3	2.10	109.37	229.68
Malla electrosoldada 6mm 15x15 cm	m2	3.36	4.98	16.73
HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUPERFICIAL				35,155.17
Excav. h=0 a 2 m a máquina (retroexcavadora suelo normal)	m3	4,368.00	2.23	9,740.64
Desalojo de material con volqueta	m3	4,400.00	3.20	14,080.00
Compactación mecánica	m2	7,952.00	0.98	7,792.96
Cajas de revisión de 60x60x60cm (Incluye tapa HºAº)	u	2.00	69.52	139.04
Suministro e instalación Tubería PVC 110mm	ml	52.00	10.97	570.44
Sum. Instalación Tub. Tipo dren 110 mm	u	112.00	6.88	770.56
Implementación de vegetación	u	9,184.00	0.14	1,285.76
Grava sobre tubería de desagüe	m3	39.20	19.79	775.77



UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA

PRESUPUESTO TOTAL DE LA OBRA

OBRA : CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

UBICACIÓN : CANTÓN GONZANAMÁ

HOJA 2 DE 2

TANQUE DE RECOLECCIÓN				800.06
Excav. h=0 a 2 m a máquina (retroexcavadora suelo normal)	m3	6.00	2.23	13.38
Adecuación del fondo de la zanja	m2	4.00	6.72	26.88
Encofrado recto	m2	12.00	13.92	167.04
Hormigón S. f'c=210 kg/cm2	m3	2.40	109.37	262.49
Acero de refuerzo fy=4200 Kg/cm2	kg	173.38	1.79	310.35
Malla electrosoldada 6mm 15x15 cm	m2	4.00	4.98	19.92
CASETA				2,208.89
Excavación y desalojo manual para plintos, cimientos y bordillos	m3	0.92	5.36	4.93
Hormigón S. f'c=210 kg/cm2	m3	0.68	109.37	74.15
Losa de H°S° f'c=210kgf/cm2, e = 20cm + encofrado	m2	8.87	22.60	200.46
Acero de refuerzo fy=4200 Kg/cm2	kg	413.23	1.79	739.68
Mampostería ladrillo	m2	24.00	15.10	362.40
Encofrado vigas y columnas	ml	16.00	10.20	163.20
Malla electrosoldada 6mm 15x15 cm	m2	8.87	4.98	44.17
Lavamanos + inodoro + accesorios	glb	1.00	131.36	131.36
Ventanas de hierro + protección	u	1.00	65.36	65.36
Puerta metálica	u	1.00	74.70	74.70
Enlucido vertical Paletado (1:3)	m2	48.00	7.26	348.48

SON: SETENTA Y TRES MIL SEICIENTOS NOVENTA Y SIETE 91/100

TOTAL \$	73,697.91
IVA 12%	8843.75
TOTAL + I.V.A. \$	82,541.66

Elaborado por:

Jorge Luis Santín Torres

Lorena Elizabeth Bermeo Castillo



UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA
COSTO REFERENCIAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ANUAL DE LA PLANTA

OBRA: CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL CANTÓN GONZANAMÁ

UBICACIÓN: CANTÓN GONZANAMÁ

HOJA 1 DE 1

RUBRO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P.UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Operador de la planta	mes	12	329.16	3949.92
EQUIPO					50.00
2	Herramienta menor	global	1	50.00	50.00
CAPACITACIÓN					180.00
3	Curso de capacitación	horas	12	15.00	180.00
EQUIPO DE PROTECCIÓN PARA OPERADOR					167.00
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	Overol impermeable	global	1	40.00	40.00
11	Muestras de control de calidad de agua residual	global	12	310.00	3720.00
12	Electricidad bodega + lámpara	kwh	20	1.00	20.00
TOTAL					8086.92

Son: Ocho mil ochenta y seis 92/100 dólares americanos



CAPÍTULO

9



CONCLUSIONES

- La caracterización física, química y bacteriológica de aguas residuales de la ciudad de Gonzanamá, así como la relación DBO_5/DQO ha permitido determinar que su composición corresponde a la de un agua biodegradable y de origen doméstico, siendo tratable por métodos naturales.
- Los resultados de los ensayos de suelos in-situ y laboratorio muestran la presencia de arcillas de baja permeabilidad en la zona de estudio, adecuada para realizar procesos de depuración mediante humedales de flujo superficial.
- La selección de la tecnología de depuración de aguas residuales apropiada para la ciudad de Gonzanamá ha sido escogida en función de parámetros ambientales, características propias de la zona, características del agua residual y del suelo, resultando en la selección de un humedal artificial de flujo superficial.
- Después de los cálculos realizados para el diseño de la planta de tratamiento de humedales de flujo superficial se ha establecido que la remoción teórica de SST es de 60% al 90%, para DBO de 60 al 81%, para nitrógeno total > 80%, para fósforo < 20% y más del 99% de coliformes fecales.
- En el presupuesto referencial de la obra y en el costo de operación y mantenimiento anual se observa que el tratamiento natural por humedales de flujo superficial resulta más económico que los tratamientos convencionales, ya que no necesita de mayor infraestructura civil ni uso de equipos para la operación.
- La aplicación de métodos naturales de tratamiento de aguas residuales garantiza la sostenibilidad y eficiencia en la depuración de las aguas residuales domésticas, por sus bajos costos de construcción, operación y mantenimiento, comparados con los sistemas convencionales de tratamiento.
- Después de realizada la evaluación de los impactos positivos y negativos que se pudieran dar en el proyecto en cuestión utilizando la matriz de Leopold, se ha determinado que la mayor cantidad de impactos negativos se producen en la etapa de construcción en los parámetros ambientales suelo, aire, flora y fauna. Sin embargo, es importante recalcar el impacto positivo que genera sobre la



población la implantación de un sistema de depuración que contribuye al mejoramiento del saneamiento básico, y a potenciar la producción agrícola por la posible reutilización del efluente para riego.

- La participación en el proyecto de Aguas residuales SENACYT-UTPL, nos ha dado la oportunidad a los pasantes de involucrarnos en la investigación de alternativas que sean de bajos costos para las poblaciones menos favorecidas de la provincia. Además, se ha logrado desarrollar la capacidad de trabajo en equipo obteniendo mejores resultados.



REFERENCIAS

1. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (ATSDR). 2004. Reseña Toxicológica del Cobre (en inglés). Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU., Servicio de Salud Pública. Recuperado de http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs132.html.
2. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (ATSDR). 2007. Reseña Toxicológica del Plomo (versión actualizada) (en inglés). Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU., Servicio de Salud Pública. Recuperado en enero de 2009 de http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts13.html.
3. Alarcón B. Yngrid, Alva H. Jorge. (1999). Ensayos de Permeabilidad en materiales de baja permeabilidad compactados. Huánuco- Perú. Recuperado en Septiembre de 2009 de http://www.cismid.uni.edu.pe/descargas/a_labgeo/labgeo15_a.pdf.
4. Alloway B. J.(1995). Chapter 3: The origin of the heavy metals in soils. E In: Alloway, B. J.(ed). Heavy metals in soils. Academic and Professional, Londón. 2nd. Edition. Pp. 38-57. Aparicio. M. J., (1989). Fundamentos de la hidrología de superficie (1ra ed.). México: Limusa Noriega.
5. 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/geologiaygeotecnia/Permeabilidad%20en%20Suelos.pdf>.
6. APHA. (1995). Standard methods. 19th Edition. American Public Health Association, Washington, DC.
7. Barajas L. María Guadalupe. (2002). Eliminación biológica de nutrientes en un reactor biológico secuencial.- Caracterización y estimulación de las fuentes de carbono del agua residual urbana. Tesis UPC. Barcelona. Recuperada en Junio de 2009 de <http://www.tdx.cat/TDX-0725105-161032/>.
8. 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.
9. Brady N.C. (1974). *The Nature and Properties of Soil* (8va ed.). Nueva York: MacMillan Publishing Co.
 10. Cheng Liu, Jack B. Evett. (2000). *Soil Properties, Testing, Measurement and Evaluation*, Fourth edition. New York: Prentice Hall. Chapter 18.
 11. Chiroque S. Tania. (2003). *Análisis de información meteorológica y zonificación climática de la provincia de Loja*. Tesis Hidrología UTPL.
 12. Clair N., Sawyer., McCarthy., Parkin, Gene F. (2001). *Química para ingeniería ambiental*. Colombia. 4ta. Edición: Mc Graw-Hill.
 13. Collado L. Ramón. (1992). *Depuración de aguas residuales en pequeñas comunidades*. Madrid: Colegio de ingenieros de caminos, canales y puertos.
 14. Crites R., Tchobanoglous. G. (2000). *Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados*. Tomo 2. Santafé de Bogotá: Mc Graw Hill.
 15. Droste. W. J., Sons. (1997). *Theory and practice of water and wastewater treatment*. Segunda Edición. New York: Wiley.
 16. 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%F3n_de_IA.pdf.
 17. 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 http://objetos.univalle.edu.co/files/Modelo_conceptual_de_seleccion_de_tecnologia_para_control_de_contaminacion.pdf
 18. Hernández L. Aurelio, Galán M. Pedro. (2004). *Manual de depuración Uralita: Sistemas de depuración de aguas residuales en núcleos de hasta 20.000 habitantes*. Tercera edición. Madrid: Paraninfo.
 19. Ibáñez Carlos N., Palomeque Shirley D., Fontúrbel R. Francisco. (2004). *Elementos principales del suelo. geodinámica y dinámica de los principales componentes del*



- suelo. PDF. Publicaciones integrales. La Paz. ISBN 99905-0-450-4. Recuperado de http://cabierta.uchile.cl/revista/31/mantenedor/sub/educacion_3.pdf
20. Instituto Nacional de Estadística y Censo INEC. Fascículo Cantonal: Gonzanamá. (2001). Recuperado en Febrero de 2009 de: http://www.inec.gov.ec/web/guest/publicaciones/anuarios/cen_nac/fas_can.
21. Joan García y Angélica Corzo. Guía práctica de diseño. construcción y explotación de sistemas de humedales de flujo subsuperficial. Recuperado en noviembre de 2009 de http://biblioteca.universia.net/html_bura/ficha/params/id/49025877.html.
22. Kabata Pendias. (2000). Trace elements in soil and plants. Third Edition. CRC Press,- Boca Raton, USA.
23. Lara Jaime. (1999). Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales. Barcelona: UPC. Recuperado en Diciembre de 2009 de <http://sites.google.com/site/humedalesartificiales/home>.
24. Metcalf & Eddy. (1995). Ingeniería de aguas residuales tratamiento. vertido y reutilización. Volumen I. Madrid. España: Mc Graw Hill.
25. Metcalf & Eddy. (1996). Ingeniería de aguas residuales tratamiento. vertido y reutilización. 3ª Ed. México: McGraw-Hill.
26. 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.
27. Norma de Calidad Ambiental de descarga de Efluentes: Recurso Agua. 2002. Recuperado de <http://www.ambiente.gov.ec/docs/LIBRO%20VI%20Anexo%201.pdf>.
28. 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).
29. 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.
30. Oñate Valdivieso Fernando. Apuntes de Hidrología. Facultad de Ingeniería Civil de la UTPL.
31. OPS/OMS y CENAGUA .(1999). Estudios técnicos de sustitución aplicables al saneamiento de aguas servidas de pequeñas comunidades. Sistemas de tratamiento



- de aguas servidas por medio de humedales artificiales. Santa Fe de Bogotá. Colombia.
32. 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.
 33. Romero Rojas Jairo Alberto. (2000). Tratamiento de aguas residuales. teoría y principios de diseño. Primera edición. Santafé de Bogotá: Editorial escuela colombiana de ingeniería.
 34. Seoáñez Calvo Mariano. (2004). Depuración de las aguas residuales por tecnologías ecológicas de bajo costo. Madrid. España: Mundi-Prensa.
 35. Sérgio Rolim Mendonca (2000). Sistemas de lagunas de estabilización. Cómo utilizar aguas residuales tratadas en sistemas de regadío. Bogotá: Editorial Nomos S.A.
 36. Veenstra S., Alaerts J., Bijlsma M. Selección de tecnologías. Capítulo 3. Recuperado en junio de 2009 de <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsacd/scan/033446/033446-03.pdf>.
 37. Villón Béjar Máximo. (2002). Hidrología. Instituto tecnológico de Costa Rica. Segunda Edición. Editorial Villón.
 38. Zambrano Xavier y Saltos Xavier. (2004). Diseño del Sistema de Tratamiento para la Depuración de las Aguas Residuales Domésticas de la Población San Eloy en la Provincia de Manabí por medio de un Sistema de Tratamiento Natural compuesto por un Humedal Artificial de Flujo Libre. Tesis ESPOL. Recuperado en julio de 2009 de <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/6032???help.index???>.