



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

“ESTUDIO Y SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS APLICADAS A LAS CABECERAS CANTONALES CON POBLACIONES MENORES A 5000 HABITANTES MEDIANTE MÉTODOS NATURALES DE LA PROVINCIA DE LOJA”

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

AUTOR:

CARLOS FELIPE MERINO GONZÁLEZ

DIRECTORA:

ING. MÓNICA CISNEROS ABAD

LOJA – ECUADOR

2010

CERTIFICACIÓN

Ingeniera:

Mónica Cisneros Abad

DOCENTE DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

Certifica:

Haber dirigido, revisado y aprobado la tesis de grado previa a la obtención del título de Ingeniero Civil, presentado por el señor egresado Carlos Felipe Merino González, titulado: **“ESTUDIO Y SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS APLICADAS A LAS CABECERAS CANTONALES CON POBLACIONES MENORES A 5000 HABITANTES MEDIANTE MÉTODOS NATURALES DE LA PROVINCIA DE LOJA”**, la misma que tiene suficiente validez técnica, así como el cumplimiento de la reglamentación requerida por parte de la Escuela de Ingeniería Civil; por lo que se autoriza su presentación.

.....
Ing. Mónica Cisneros Abad

DIRECTORA DE TESIS

Loja, marzo del 2010

AUTORÍA

La responsabilidad del análisis, cálculos y resultados así como conclusiones y recomendaciones que se presenta en el presente trabajo de tesis es exclusiva del autor.

CESIÓN DE DERECHOS

Yo, Carlos Felipe Merino González declaro ser autor del presente trabajo y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posible reclamo o acciones legales.

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

Loja, marzo del 2010

Carlos Felipe Merino González

Autor

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Técnica Particular de Loja, a los docentes de nuestra querida Facultad de Ingeniería Civil, quienes han hecho posible que llegue a formarme moralmente y científicamente como un verdaderos profesional, con el fin de aplicar los conocimientos adquiridos ante la sociedad.

Expreso mi agradecimiento y reconocimiento a la Ing. Mónica Cisneros Abad, Directora de tesis, a todos quienes conforman la Unidad Civil Geominera por sus acertados consejos y sugerencias, que han brindado durante el desarrollo del presente Proyecto de Tesis.

A mis padres Fanny y Francisco por su apoyo incondicional durante todas las etapas de mi vida.

A mis hermanos Luis Alberto, Miguel Ángel, Fanny Verónica, Francisco David, María Magdalena y Ruth Victoria quienes han sido un apoyo más en el transcurso de mi vida.

EL AUTOR

DEDICATORIA

A Dios, a mis queridos padres Felipe Francisco y Fanny Teresa, pilares fundamentales en mi vida que con sus sabios consejos y experiencias supieron guiarme por el buen camino del respeto, humildad y ética ante la sociedad. A mis hermanos: Luis Alberto, Miguel Ángel, Fanny Verónica, Francisco David, María Magdalena y Ruth Victoria, con quienes compartí mi niñez y juventud, gracias a ustedes porque fueron mi gran impulso para llegar a esta etapa de mi vida. A mis profesores y compañeros que compartimos experiencias maravillosas en las aulas de la universidad, y, a toda mi familia.

Carlos Felipe Merino González

CONTENIDO

CERTIFICACIÓN.....	ii
AUTORÍA.....	ii
CESIÓN DE DERECHOS.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
DEDICATORIA.....	v

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN.....	2
----------------------	---

CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. MÉTODOS NATURALES PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	6
2.1.1. Definición.....	6
2.1.2. Tratamientos mediante aplicación directa en el terreno.....	6
2.1.2.1. Infiltración Rápida (IR).....	6
2.1.2.1.1. <i>Ventajas (IR)</i>	7
2.1.2.1.2. <i>Desventajas (IR)</i>	8
2.1.2.2. Infiltración Lenta (IL).....	8
2.1.2.2.1. <i>Ventajas (IL)</i>	9
2.1.2.2.2. <i>Desventajas (IL)</i>	10
2.1.2.3. Escorrentía Superficial (ES).....	10
2.1.2.3.1. <i>Ventajas (ES)</i>	11
2.1.2.3.2. <i>Desventajas (ES)</i>	11
2.1.3. Métodos acuáticos.....	11
2.1.3.1. Humedales de Flujo Libre o Superficial (HFL).....	12
2.1.3.1.1. <i>Ventajas (HFL)</i>	13
2.1.3.1.2. <i>Desventajas (HFL)</i>	13
2.1.3.2. Humedales de Flujo Subsuperficial (HSS).....	13
2.1.3.2.1. <i>Ventajas (HSS)</i>	14
2.1.3.2.2. <i>Desventajas (HSS)</i>	14
2.2. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL.....	15
2.2.1. Definición.....	15
2.2.2. Caudal del agua residual.....	15
2.2.3. Temperatura del agua residual.....	16
2.2.4. Composición del agua residual.....	16

2.2.4.1. Características físicas – químicas	17
2.2.4.1.1. pH.....	17
2.2.4.1.2. Sólidos totales.....	17
2.2.4.1.2.1. Sólidos disueltos	17
2.2.4.1.2.2. Sólidos en suspensión	18
2.2.4.1.3. Nitrógeno	18
2.2.4.1.3.1. Nitrógeno orgánico.....	18
2.2.4.1.3.2. Nitrógeno amoniacal	18
2.2.4.1.3.3. Nitrógeno del nitrato.....	18
2.2.4.1.3.4. Nitrógeno del nitrito	19
2.2.4.1.4. Cloruro	19
2.2.4.1.5. Fósforo.....	19
2.2.4.1.5.1. Fósforo orgánico	19
2.2.4.1.5.2. Fósforo inorgánico	19
2.2.4.1.6. Alcalinidad.....	19
2.2.4.1.7. Grasas	19
2.2.4.1.8. Carbono orgánico total (COT)	20
2.2.4.1.9. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).....	20
2.2.4.1.10. Demanda química de oxígeno (DQO)	20
2.2.4.1.11. Boro	20
2.2.4.2. Características Bacteriológicas	20
2.2.4.2.1. Coliformes totales	20
2.2.4.2.2. Coliformes fecales.....	20
2.2.4.2.3. <i>Escherichia coli</i>	21
2.2.4.3. Características de los metales pesados	21
2.2.4.3.1. Cobre.....	21
2.2.4.3.2. Hierro.....	21
2.2.4.3.3. Plomo.....	21
2.2.4.3.4. Manganeso	22
2.2.4.3.5. Mercurio.....	22
2.2.4.3.6. Zinc.....	22
2.2.4.4. Características de los pesticidas	22
2.2.5. Análisis estadísticos.....	22
2.2.5.1. Media aritmética.....	23
Ecu. 1. Media aritmética	23
2.2.5.2. Desviación estándar.....	23

2.2.5.3. <i>Rechazo de datos</i>	23
2.2.5.4. <i>Media ponderada</i>	23
2.2.6. Relación de biodegradabilidad	24
2.3.2. Características del terreno	25
2.3.2.1. Pendiente y topografía	25
2.3.3. Características físicas, químicas e hidráulicas del suelo	25
2.3.3.1. Características físicas	25
2.3.3.1.1. Textura.....	25
2.3.3.1.2. Estructura	26
2.3.3.1.3. Profundidad.....	26
2.3.3.2. Características químicas	26
2.3.3.3. Características hidráulicas	27
2.3.3.3.1. Permeabilidad	27
2.3.3.3.2. Nivel freático	28
2.4. CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS	28
2.4.1. Definición	28
2.4.2. Características climatológicas	28
2.4.2.1. Precipitación (mm/mes)	28
2.4.2.2. Temperatura (°C)	29
2.4.2.3. Viento (m/s).....	29
2.4.2.4. Evapotranspiración (mm/mes)	29
2.4.3. Procesamiento de información meteorológica.....	29
2.4.3.1. Información disponible	29
2.4.3.2. Análisis de datos.....	30
2.4.3.2.1. Lluvia media.....	30
2.4.3.2.2. Temperatura	30
2.4.3.2.2.1. Procedimiento de cálculo	30
2.4.3.2.2.2. Regresión lineal	30
2.4.3.2.3. Evapotranspiración Potencial Método de Thornthwaite	31
2.4.3.2.3.1. Procedimiento de cálculo	32
2.4.3.2.4. Balance hídrico	33
2.4.3.2.5. Métodos de zonificación.....	33
2.4.3.2.5.1. Zonificación climática de Thornthwaite	33
2.5. IMPACTO AMBIENTAL	34
2.5.1. Definición	34
2.5.2. Características del método Leopold	35

2.5.3. Área de influencia	36
2.5.4. Acciones y factores ambientales que afectan en la construcción y operación de las plantas de tratamiento.....	37
2.5.5. Medidas de mitigación que se deben tomar en cuenta en la ejecución del proyecto.....	38
2.6. SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS.....	39
2.6.1. Criterios de selección de los tratamientos naturales	39
2.6.2. Matrices de selección.....	45
2.6.2.1. Consideraciones preliminares	45
2.6.2.2. Factores demográficos.....	45
2.6.2.3. Características del terreno	47
2.6.2.4. Características del terreno	48
2.6.2.5. Características del terreno	49
2.6.2.6. Características del terreno	51
2.6.2.7. Aspectos tecnológicos	52
2.6.2.8. Costos.....	58
2.6.3. Período de diseño de las depuradoras.....	59
2.6.4. Matriz de selección final.....	59

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	63
3.1.1. Caracterización del agua residual	63
3.2.1.1. Parámetros físicos, químicos y bacteriológicos.....	64
3.1.1.2. Parámetros de los metales pesados	69
3.1.1.3. Parámetro de los pesticidas	71
3.1.2. Caracterización del suelo	71
3.1.2.1. Características del terreno	71
3.2.2.2. Perfil estratigráfico	73
3.2.2.3. Características químicas.....	76
3.2.2.3. Características hidráulicas	80
3.2.3. Características Climatológicas	81
3.2.4. Impacto ambiental.....	86
3.2. RESUMEN DE LOS ANÁLISIS DE DATOS PARA LA SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA EN CADA ZONA DE ESTUDIO	89
3.2. 1. Ciudad de Zapotillo	89
3.1.2. Ciudad de Olmedo	92
3.1.3. Ciudad de Celica.....	95

3.1.4. Ciudad de Gonzanamá	97
3.1.5. Ciudad de Pindal.....	100

CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	104
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	106

ANEXOS

ANEXO 1	109
ANEXO 2.....	121
ANEXO 3.....	126

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS

Figura 2.1. Esquema de la trayectoria hidráulica de aplicación para IR	7
Figura 2.2. Esquema de la trayectoria hidráulica de aplicación para IL.....	9
Figura 2.3. Esquema de la trayectoria superficial y subterránea del sistema de IL	10
Figura 2.4. Esquema del sistema de escorrentía superficial	11
Figura 2.5. Esquema de un humedal superficial	13
Figura 2.6. Esquema de un humedal de flujo subsuperficial	14
Figura 2.7. Origen del agua residual en un medio urbano.....	15
Figura 2.8. Flujograma del proceso de selección de tecnologías naturales.....	44

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE RESULTADOS

Figura 3.1. PH.....	64
Figura 3.2. Sólidos totales	64
Figura 3.3. Sólidos disueltos	65
Figura 3.4. Sólidos en suspensión	65
Figura 3.5. Nitrógeno orgánico.....	66
Figura 3.6. Nitrógeno amoniacal	66
Figura 3.6. Nitrógeno de nitrato	66
Figura 3.8. Nitrógeno de nitrito.....	66
Figura 3.9. Cloruro	67
Figura 3.10. Fósforo orgánico	67
Figura 3.11. Fósforo inorgánico	67
Figura 3.12. Alcalinidad	67
Figura 3.13. Grasas	68

Figura 3.14. Carbono orgánico total.....	68
Figura 3.15. Demanda bioquímica de oxígeno.....	68
Figura 3.16. Demanda química de oxígeno	68
Figura 3.17. Boro	69
Figura 3.18. Coliformes totales	69
Figura 3.19. Coliformes fecales	69
Figura 3.20. Escherichia coli	69
Figura 3.21. Cobre	70
Figura 3.22. Hierro	70
Figura 3.23. Plomo	70
Figura 3.24. Manganeso	70
Figura 3.25. Mercurio.....	71
Figura 3.26. Zinc.....	71
Figura 3.27. Perfil estratigráfico de Zapotillo	73
Figura 3.28. Perfil estratigráfico de Olmedo	74
Figura 3.29. Perfil estratigráfico de Celica.....	75
Figura 3.30. Perfil estratigráfico de Gonzanamá	75
Figura 3.31. Perfil estratigráfico de Pindal.....	76
Figura 3.32. Variaciones del pH.....	77
Figura 3.33. Materia orgánica	77
Figura 3.34. Nitrógeno total.....	78
Figura 3.35. Fósforo.....	78
Figura 3.36. Potasio.....	78
Figura 3.37. Calcio.....	78
Figura 3.38. Magnesio	79
Figura 3.39. Hierro	79
Figura 3.40. Manganeso	79
Figura 3.41. Cobre	79
Figura 3.42. Zinc.....	80
Figura 3.43. Boro	80
Figura 3.44. Conductividad eléctrica.....	80
Figura 3.45. Capacidad de intercambio de cationes	80
Figura 3.46. Precipitación media mensual	81
Figura 3.47. Variación de temperatura media mensual	82
Figura 3.48. Vientos.....	83
Figura 3.49. Variación de evapotranspiración media mensual	84

Figura 3.50. Balance hídrico de las cabeceras cantonales de estudio	85
Figura 3.51. Caudal registrado en ciudad de Zapotillo	90
Figura 3.52. Temperatura del caudal registrado en ciudad de Zapotillo	90
Figura 3.53. Sumatoria total de cada tratamiento natural.....	92
Figura 3.54. Caudal registrado en ciudad de Olmedo	93
Figura 3.55. Temperatura del caudal registrado en ciudad de Olmedo	93
Figura 3.56. Sumatoria total de cada tratamiento natural.....	94
Figura 3.57. Caudal registrado en ciudad de Celica.....	95
Figura 3.58. Temperatura del caudal registrado en ciudad de Celica.....	95
Figura 3.59. Sumatoria total de cada tratamiento natural.....	97
Figura 3.60. Caudal registrado en ciudad de Gonzanamá	98
Figura 3.61. Temperatura del caudal registrado en ciudad de Gonzanamá	98
Figura 3.62. Sumatoria total de cada tratamiento.....	100
Figura 3.63. Caudal registrado en ciudad de Pindal.....	101
Figura 3.64. Temperatura del caudal registrado en ciudad de Pindal.....	101
Figura 3.65. Sumatoria total de cada tratamiento.....	102

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS

Tabla 2.1. Características físicas, químicas, metales pesados, bacteriológicos y pesticidas.....	16
Tabla 2.2. Peso asignado para la media ponderada	24
Tabla 2.4. Descripción de la topografía según la pendiente del terreno.	25
Tabla 2.5. Descripción de los suelos según su textura.....	26
Tabla 2.6. Interpretación de los rangos del pH (Sierra).	26
Tabla 2.7. Interpretación de los rangos de concentraciones de los componentes químicos del suelo (Sierra).	27
Tabla 2.8. Interpretación de los rango de la conductividad eléctrica (Sierra).....	27
Tabla 2.9. Interpretación de los rango de capacidad de intercambio catiónico.....	27
Tabla 2.10. Clase de permeabilidad para suelos no saturados.	28
Tabla 2.11. Procedimiento de Regresión Lineal.....	31
Tabla 2.12. Valores de Ka (Constante que depende de la latitud y el mes del año)....	32
Tabla 2.13. Tipos climáticos definidos por Thornthwaite en función de la humedad y de la eficacia térmica.	34
Tabla 2.14. Caracterización climática de las zonas de estudio	35
Tabla 2.15. Descripción de las acciones.....	37

Tabla 2.16. Descripción de los factores	37
Tabla 2.17. Criterios de selección	40
Tabla 2.18. Periodo de diseño de las plantas depuradoras.....	59

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE RESULTADOS

Tabla 3.1. Resume la media aritmética, la desviación estándar y el intervalo de variación de cada uno de los parámetros físicos-químicos, bacteriológicos, metales pesados y pesticidas organoclorados y organofosforados del agua residual.	63
Tabla 3.2. Pendiente del terreno donde se realizó el estudio para los sistemas de tratamiento natural.....	71
Tabla 3.3. Tipo del suelo donde se realizó el estudio para los sistemas de depuración.	72
Tabla 3.4. Resultados de los ensayos de las características químicas del suelo.	76
Tabla 3.5. Resumen de la permeabilidad del suelo.....	80
Tabla 3.6. Precipitaciones medias mensuales.	81
Tabla 3.7. Temperaturas medias mensuales.	82
Tabla 3.8. Vientos medios mensuales.	82
Tabla 3.9. Evapotranspiración media mensual.....	84
Tabla 3.10. Balance hídrico en las cabeceras cantonales de estudio.	84
Tabla 3.11. Zonificación Climática de Thornthwaite.	86

ÍNDICE DE MATRICES

CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS

Matriz 2.1. Cobertura de agua potable.....	45
Matriz 2.2. Existencia y tipo de alcantarillado.....	46
Matriz 2.3. Población	47
Matriz 2.4. Características del terreno	48
Matriz 2.5. Características del agua residual	49
Matriz 2.6. Características del suelo	50
Matriz 2.7. Características climáticas.....	51
Matriz 2.8. Eficiencia de las unidades de pre-tratamiento	52
Matriz 2.9. Remoción de los parámetros básicos.....	53
Matriz 2.10. Impacto ambiental sobre el entorno.....	55
Matriz 2.11. Tecnologías de tratamiento y su necesidad de obra civil.....	56
Matriz 2.12. Operación y mantenimiento para cada tecnología de tratamiento	57
Matriz 2.13. Costos de construcción de obra civil para los tratamientos naturales	58
Matriz 2.14. Costos mensuales de operación & mantenimiento para los tratamientos naturales.....	59

Matriz 2.15. Matriz de selección final	60
--	----

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE RESULTADOS

Matriz 3.1. Identificación y valoración de impactos ambientales para métodos acuáticos (humedales de flujo superficial y subsuperficial)	87
Matriz 3.2. Identificación y valoración de impactos ambientales para métodos de infiltración en el terreno (Infiltración Rápida, Lenta y Escorrentía Superficial).	88
Matriz 3.1. Matriz de selección final para la ciudad de Zapotillo	90
Matriz 3.2. Matriz de selección final para la ciudad de Olmedo	93
Matriz 3.3. Matriz de selección final para la ciudad de Celica	96
Matriz 3.4. Matriz de selección final para la ciudad de Gonzanamá	98
Matriz 3.5. Matriz de selección final para la ciudad de Pindal	101

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecu. 1. Media aritmética	23
Ecu. 2. Desviación estándar	23
Ecu. 3. Media ponderada	23
Ecu. 4. Relación de biodegradabilidad	24
Ecu. 5. Inverse Distance Weight	30
Ecu. 6. Regresión lineal	31
Ecu. 7. Evapotranspiración Potencial método de Thornthwaite	32
Ecu. 8. Índice de humedad.	33

ESTUDIO Y SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS APLICADAS A LAS CABECERAS CANTONALES CON POBLACIONES MENORES A 5000 HABITANTES MEDIANTE MÉTODOS NATURALES DE LA PROVINCIA DE LOJA

Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, Ecuador

RESUMEN

Los diferentes factores demográficos, características del terreno, del suelo, de las aguas residuales y climatológicas, que presentan las pequeñas y mediana poblaciones en la Provincia de Loja representó un reto a la hora de seleccionar tecnologías para el tratamiento de aguas residuales domésticas, para ello, se desarrolló herramientas que faciliten la toma de decisiones para la implementación de estos sistemas. En este estudio esta propuesto una guía de selección de tecnología de depuraciones de aguas residuales por métodos naturales.

En la Provincia de Loja al igual que en otras provincias del Ecuador, los cuerpos hídricos son receptores de todo tipo de vertidos de aguas residuales los cuales disminuyen su calidad y ponen en riesgo la salud de los habitantes.

“En la actualidad existen numerosas alternativas de tratamiento para aguas residuales, sin embargo el desconocimiento sobre el funcionamiento, operación y mantenimiento de estas tecnologías, además de la baja adaptación al medio y la baja capacidad local para su sostenimiento y manejo conducen a la implementación de sistemas inoperantes y su correspondiente abandono” (Moreno Merino, 2003).

“Debido a los costes de instalación y mantenimiento para plantas convencionales, estos sistemas no son viables para pequeñas poblaciones y por tanto deben adoptarse otros sistemas de depuración que necesiten menores inversiones y mantenimiento y cuyo coste sea asumible por estas comunidades” (Moreno Merino, 2003).

La búsqueda de soluciones sostenibles debe ser el resultado de la integración de aspectos tecnológicos, sociales y ambientales propios de cada población. En esta búsqueda se debe hacer, en la medida de lo posible, uso de la capacidad de depuración del medio natural y del potencial de re uso del agua residual. (Metcalf & Eddy, 1995).

“Esta capacidad de depuración natural se presenta en los sistemas de tratamiento del agua residual por métodos naturales, donde la interacción entre sus componentes naturales: agua, suelo, plantas, microorganismos y atmósfera, es utilizada para alcanzar los objetivos de tratamiento” (Metcalf & Eddy, 1995).

“Los métodos naturales se presentan como una opción tecnológica sostenible para las pequeñas y medianas comunidades dada su alta eficiencia, bajos costos de operación y mantenimiento y fácil construcción. Además, el aprovechamiento de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales, no solo representa una fuente de agua, sino también una fuente potencial de entrada de nutrientes, con beneficios económicos y ambientales, convirtiéndose de este modo en una alternativa que toma fuerza a nivel mundial y que es conveniente considerar” (Moreno Merino, 2003).

“La selección de alternativas de tratamiento por métodos naturales depende entonces de los objetivos finales de tratamiento y de las posibilidades de reuso. La disponibilidad de terreno, las características del sitio, la topografía y las condiciones ambientales son criterios claves de selección de estos sistemas” (Helmer y Hespanhol, 1987).

El presente proyecto fue elaborado mediante un convenio con la Secretaria Nacional de Ciencia y Tecnología (SENACYT) y la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL). Por lo tanto, la SENACYT aportó la situación económica del proyecto y la UTPL lo elaboró.

RESULTADOS Y VARIABLES

Como resultado de la investigación realizada, en la Tabla 1 se muestran los criterios y variables que se tienen en cuenta en la elaboración de la guía de selección de tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales domésticas por métodos naturales.

Tabla 1. Criterios de selección

Criterios de selección	Variables
Factores Demográficos	Población (rangos para calificación) Existencia y tipo de Alcantarillado Existencia de Agua Potable
Características del terreno	Superficie necesaria Profundidad del nivel freático Pendiente Topografía
Objetivos de Tratamiento	Expectativas de calidad del efluente Nivel de Tratamiento
Características del Agua residual	Origen Composición Caudal Temperatura
Características del Suelo	Tipo Textura Velocidad de infiltración Permeabilidad
Características climatológicas	Precipitación

	Temperatura Evapotranspiración Viento
Aspectos Tecnológicos	Impacto Ambiental (aire, suelo, agua, salud) Eficiencia del tratamiento Facilidad de operación y Mantenimiento
Costes	Operación y Mantenimiento Construcción

Fuente: Guía de para la selección de tecnologías, 2010.

– **Guía de selección**

El esquema general de la guía de selección se desarrolla en un diagrama de bloques constituidos por 13 pasos secuenciales. La selección que se realiza en cada fase, está sustentada en las matrices de decisión que contienen soluciones sostenibles en función del parámetro que se esté evaluando. (Ver Figura 1).

En los dos primeros Pasos 1 y 2 de la guía de selección se verifica si la comunidad cuenta con la infraestructura necesaria de abastecimiento de agua potable y alcantarillado sanitario, con el fin de determinar la factibilidad de implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales por métodos naturales.

Posteriormente, en el Paso 3 se lleva cabo la relación de la población que debe ser menor a 5000 hab. Caso contrario, se buscará otra alternativa de tratamiento.

Adicionalmente, se evalúa la composición del agua residual doméstica de acuerdo a los parámetros de sólidos en suspensión, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, nitrógeno total, fósforo total y coliformes fecales. Entonces, en el Paso 4 se toma en consideración el nivel de tratamiento por las tecnologías, para esto es necesario tener claro el objetivo de tratamiento. Las tecnologías de tratamiento naturales alcanzan una elevada remoción de nutrientes. Por lo tanto, el agua residual a tratar debe ser biodegradable.

En el Paso 5 de la guía de selección se evalúa la información del terreno como es la superficie necesaria, profundidad del nivel freático y pendiente del terreno que está en función de cada tecnología. La superficie necesaria depende además del volumen del agua residual generado, de otros factores como son la temperatura en los sistemas de tratamiento natural.

En el siguiente paso de la guía de selección, Paso 6, se introduce información relacionada con el tipo de suelo, textura, velocidad de infiltración y permeabilidad. Estas características del suelo son fundamentales para garantizar el buen funcionamiento de los sistemas teniendo en cuenta que cada tecnología obedece a unas condiciones específicas para cada uno de estos parámetros.

Dado que los sistemas de tratamiento naturales dependen de las condiciones climáticas para alcanzar altas eficiencias en el tratamiento, en el Paso 7 de la guía de selección se consideran parámetros tales como: temperatura, evapotranspiración, viento y precipitación de la localidad.

Posteriormente, en el Paso 8 se lleva a cabo los porcentajes de remoción de cada tipo de tratamiento natural, es posible seleccionar una tecnología en función de estos parámetros como son los sólidos en suspensión, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, nitrógeno total, fósforo total y coliformes fecales. Los parámetros de remoción del agua residual son primordiales para garantizar el buen funcionamiento de los sistemas teniendo en cuenta que cada tecnología obedece a unas condiciones específicas para cada uno de estos parámetros.

En el Paso 9 se introduce información relacionada con el impacto ambiental, para evitar impactos ambientales elevados, se debe considerar los factores tales como: físicas, químicas, biológicas y culturales.

Cuando se han obtenido soluciones sostenibles en cuando a los aspectos tecnológicos considerados en la guía de selección, se analizan la necesidad de obra civil, operación, mantenimiento en los Pasos 10 y 11.

En el Paso 12, se analiza los costos de de construcción de la obra civil; y O&M, el motivo fundamental es para encontrar una o más soluciones sostenibles y aceptadas por la comunidad.

Finalmente se realizó la matriz de selección final en el Paso 13. En este ítem se evalúa cada matriz de selección brindándole una valoración a misma. A final se realizó una sumatoria total para cada tipo de tratamiento, el que tiene más puntos será el método natural seleccionado.

CONCLUSIONES

- Se identificaron 8 factores básicos que influyen en el proceso de selección de tecnología para sistemas de tratamiento naturales son: factores demográficos, características del terreno, objetivo de tratamiento, características del agua residual, características del suelo, características climatológicas, aspectos tecnológicos y costos.
- Los cuatro criterios claves en la selección de tecnología de sistema de tratamiento natural son las características del terreno, agua residual, del suelo y climatológicas.
- La disponibilidad de área es una variable limitante en la selección de tecnologías de tratamiento naturales ya que determina la factibilidad de implementación de un sistema de tratamiento.
- La guía de selección para sistemas de tratamiento naturales con enfoque tecnológico es una contribución en el proceso de construcción de un sistema experto para la selección de tecnología en el control de la contaminación por aguas residuales domésticas. Esta se desarrolló en 13 pasos como fueron: infraestructura del agua potable, infraestructura del alcantarillado sanitario, población, relación de biodegradabilidad, información del terreno, suelo, climatológico, porcentaje de remoción, impacto ambiental, necesidad de obra civil, operación y mantenimiento, costos de construcción de la obra civil; y O&M y matriz de selección final.



CAPÍTULO

1

INTRODUCCIÓN



En la provincia de Loja al igual que en otras provincias del Ecuador, los cuerpos hídricos son receptores de todo tipo de vertidos de aguas residuales los cuales disminuyen su calidad y ponen en riesgo la salud de los habitantes.

“En la actualidad existen numerosas alternativas de tratamiento para aguas residuales, sin embargo el desconocimiento sobre el funcionamiento, operación y mantenimiento de estas tecnologías, además de la baja adaptación al medio y la baja capacidad local para su sostenimiento y manejo conducen a la implementación de sistemas inoperantes y su correspondiente abandono” (Moreno Merino, 2003).

“Debido a los costes de instalación y mantenimiento para plantas convencionales, estos sistemas no son viables para pequeñas poblaciones y por tanto deben adoptarse otros sistemas de depuración que necesiten menores inversiones y mantenimiento y cuyo coste sea asumible por estas comunidades” (Moreno Merino, 2003).

La búsqueda de soluciones sostenibles debe ser el resultado de la integración de aspectos tecnológicos, sociales y ambientales propios de cada población. En esta búsqueda se debe hacer, en la medida de lo posible, uso de la capacidad de depuración del medio natural y del potencial de re uso del agua residual. (Metcalf & Eddy, 1995).

“Esta capacidad de depuración natural se presenta en los sistemas de tratamiento del agua residual por métodos naturales, donde la interacción entre sus componentes naturales: agua, suelo, plantas, microorganismos y atmósfera, es utilizada para alcanzar los objetivos de tratamiento” (Metcalf & Eddy, 1995).

“Los métodos naturales se presentan como una opción tecnológica sostenible para las pequeñas y medianas comunidades dada su alta eficiencia, bajos costos de operación y mantenimiento y fácil construcción. Además, el aprovechamiento de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales, no solo representa una fuente de agua, sino también una fuente potencial de entrada de nutrientes, con beneficios económicos y ambientales, convirtiéndose de este modo en una alternativa que toma fuerza a nivel mundial y que es conveniente considerar” (Moreno Merino, 2003).

“La selección de alternativas de tratamiento por métodos naturales depende entonces de los objetivos finales de tratamiento y de las posibilidades de reuso. La disponibilidad de terreno, las características del sitio, la topografía y las condiciones ambientales son criterios claves de selección de estos sistemas” (Helmer y Hespanhol, 1987).

El presente proyecto fue elaborado mediante un convenio con la Secretaria Nacional de Ciencia y Tecnología (SENACYT) y la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL). Por lo tanto, la SENACYT aportó la situación económica del proyecto y la UTPL lo elaboró.



Entonces, el objetivo fundamental fue **elaborar una guía de selección de tecnologías de depuración de aguas residuales por métodos naturales para poblaciones menores a 5000 habitantes.**

Ahora bien, para desarrollar el texto denominado **estudio y selección de tecnologías de tratamiento de aguas residuales domésticas aplicadas a las cabeceras cantonales con poblaciones menores a 5000 habitantes mediante métodos naturales de la Provincia de Loja**, se ha estructurado en tres capítulos donde se incluyen en forma detallada las definiciones, análisis de datos, y resultados de los eventos para la elaboración de la guía.

De acuerdo al análisis de los factores demográficos se obtuvo una zona de estudio como es: Celica con una población actual de 4220 habitantes, Zapotillo con 1960 habitantes, Gonzanamá con 1539 habitantes, Pindal con 1354 habitantes y Olmedo con 799 habitantes.

En el capítulo 1, se llevo a cabo una visión global del presente proyecto de tesis.

En el segundo capítulo denominado materiales y métodos se describen los aspectos de mayor relevancia tales como: métodos naturales para tratamiento de aguas residuales, caracterización del agua residual, caracterización del suelo, características climatológicas, impacto ambiental y selección de tecnologías.

El objetivo de los métodos naturales para tratamiento de aguas residuales es describir las interrelaciones que ocurren entre los métodos. Los métodos naturales de depuración, abarcan tecnologías en las que el tratamiento principal es proporcionado por componentes del medio natural, distinguiéndose dos grupos: Tecnologías naturales utilizándolo al suelo como medio depurador y las Tecnologías acuáticas que se basan en la depuración por medio de plantas principalmente y microorganismos. Dentro de las primeras tenemos: Infiltración rápida, Infiltración lenta, Escorrentía superficial; y, en las segundas tenemos los Humedales de flujo superficial y de flujo subsuperficial.

Posteriormente, se realizó la caracterización del agua residual. La cual, se describen los aspectos de mayor relevancia que intervienen en el agua contaminada tales como: definición del origen del agua residual en un medio urbano, así como, la definición del caudal y la temperatura, además se realizó enunciados de la composición del agua residual.

Adicionalmente, se describió el análisis estadístico para caracterización física, química y biológica del agua residual. Y por último, se determinó la relación biodegradabilidad de la misma.

Posteriormente, se llevo a cabo la caracterización del suelo, componente fundamental para la depuración del agua residual. El contenido comienza con una explicación de los aspectos de mayor relevancia como las características del terreno y características físicas, químicas e hidráulicas del suelo.

En el siguiente ítem, denominado características climatológicas se describen los conceptos de mayor relevancia tales como: precipitación, temperatura, viento y evapotranspiración.



Seguidamente se describió el análisis de datos para determinar el balance hídrico y el método de zonificación por Thornthwaite.

Posteriormente, se llevo a cabo el estudio del impacto ambiental por el método de Leopold. Donde se determinó las acciones y los factores ambientales de mayor relevancia que afectan en la construcción, operación, mantenimiento y abandono de la tecnología de tratamiento. Para tal efecto, se exponen la identificación y valoración de los impactos ambientales de las tecnologías naturales y acuáticas. Este ítem finaliza con medidas de mitigación que se deben tomar en cuenta en la ejecución del proyecto.

A continuación, el objetivo de la selección de tecnologías es elaborar una guía que incluye aspectos generales de depuración de aguas residuales mediante métodos naturales aplicables a comunidades urbanas y rurales con poblaciones pequeñas donde sus vertidos sean estrictamente domésticos, además se describen los criterios de selección de los tratamientos naturales y sus matrices.

Posteriormente, en el capítulo 3 se describen los resultados tales como: caracterización del agua residual, caracterización del suelo, características climatológicas, impacto ambiental.

Adicionalmente, se desarrolló el análisis de resultados en la zona de estudio como es Zapotillo, Olmedo, Celica, Gonzanamá y Pindal. Además, además se elaboro una selección de tecnología de tratamiento natural para cada zona de estudio.



CAPÍTULO

2

MATERIALES Y MÉTODOS



2.1. MÉTODOS NATURALES PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

2.1.1. Definición

“Los métodos de tratamiento mediante aplicación del agua sobre el terreno se emplean para la eliminación de las sustancias contaminantes del agua. Por lo tanto, el medio ambiente natural, cuando interaccionan el agua, el suelo, la vegetación y los microorganismos, se producen procesos físicos, químicos y biológico en el medio receptor” (Moreno Merino, 2003, pág. 13).

Los procedimientos naturales se caracterizan como una alternativa de bajo coste, escasa necesidad del personal de operación y mantenimiento. Además, tiene menor impacto sobre el medio ambiente comparado con los sistemas convencionales.

Las sustancias contaminantes del agua residual, deben ser eliminadas previamente al tratamiento natural, caso contrario, se corre el riesgo de envenenamiento del sistema.

Entre los métodos de tratamiento en el terreno se incluye habitualmente los siguientes tipos:

- Infiltración rápida.
- Infiltración lenta.
- Escorrentía superficial.

Los métodos acuáticos se basan en mantener un flujo continuo durante todo el año, dependiendo principalmente del clima. La depuración del agua residual se ejerce mediante el proceso de plantas emergentes y la actividad microbológica.

- Humedales de flujo superficial
- Humedales de flujo subsuperficial

Uno de los objetivos de la depuración de aguas residuales es su potencial de reúso, principalmente para impulsar la producción agrícola y mejorar las condiciones económicas de las personas de las pequeñas localidades.

2.1.2. Tratamientos mediante aplicación directa en el terreno

“Estos métodos cumplen dos características principales: es el medio receptor de las aguas residuales y es el agente activo en el proceso de eliminación de nutrientes tanto en la superficie del terreno como en su interior” (Moreno Merino, 2003, pág. 13).

2.1.2.1. Infiltración Rápida (IR)

En la Figura 2.1 muestra el esquema de la trayectoria hidráulica para IR. En este tipo de sistema el agua residual se distribuirá por tuberías perforadas que funcionen por gravedad, asegurando una repartición uniforme por cada balsa. Entonces, *“los sistemas de IR 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 la superficie necesaria es relativamente pequeña con una carga hidráulica elevada. El tratamiento se realiza en el suelo sin la intervención de plantas”* (Metcalf & Eddy, 1995, pág. 1056). Por lo tanto, 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. Además, es fácil de operar y necesita menos áreas que otros métodos de aplicación sobre el suelo.

Las pérdidas por evapotranspiración son pequeñas por lo que prácticamente toda el agua tratada se convierte en agua subterránea. Es un sistema de recarga y posible protección contra intrusiones salinas en los acuíferos. Su principal limitación es el peligro de contaminación de las aguas subterráneas en caso de una operación y mantenimiento deficiente.

Para evitar contaminación de las aguas subterráneas debe cumplir las siguientes características: (Moreno Merino, 2003, pág. 16).

- Pendiente del 3 al 10% para evitar remociones excesivas de terreno
- Nivel freático a una profundidad mínima de 3m
- Permeabilidad del suelo rápida.
- Área de terreno por habitante necesaria por la tecnología: 2 a 20 m²/hab.

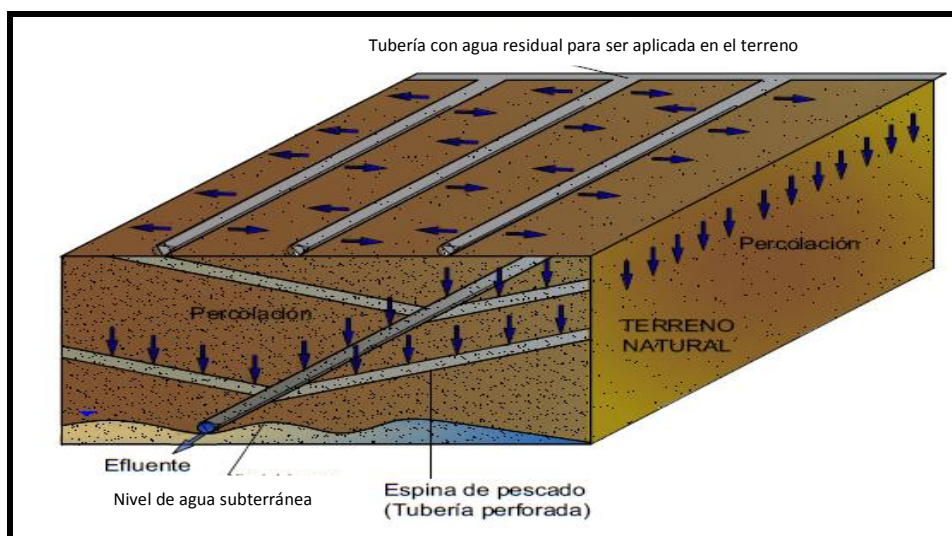


Figura 2.1. Esquema de la trayectoria hidráulica de aplicación para IR
Fuente: Guía de para la selección de tecnologías, 2010.

2.1.2.1.1. Ventajas (IR)

Las ventajas de este tipo de tratamiento son las siguientes:

“Se obtiene rendimientos altos de depuración, reutilización del agua depurada, bajo costo de operación y mantenimiento de las instalaciones, no precisa el empleo de aditivos y un mantenimiento de personal poco especializado” Metcalf & Eddy, 1995, pág. 1050.



Mientras que Moreno Merino (2003) señaló las siguientes ventajas *“reducciones medias de DBO5 y sólidos en suspensión alrededor del 90%, elevada eliminación de patógenos, eliminación del fósforo, reducción considerable de nitrógeno y metales pesados, no existen limitaciones climáticas, las pendientes no es un factor crítico y sin embargo pendientes muy grandes obligan a gran movimiento de tierras”* (pág. 17)

Además, Romero estableció *“que se obtiene una reducción producción de fangos, estabilidad frente a variación de temperatura, agua tratada apta para riego y una aceptación por parte de la sociedad del reciclaje completo del agua residual.* (Rojas 1999, pág. 893).

2.1.2.1.2. Desventajas (IR)

Las desventajas son:

“Colmatación rápida del lecho filtrante y un mantenimiento periódico de la superficie de aplicación” Metcalf & Eddy, 1995, pág. 1051.

“No es un buen sistema para la eliminación de contaminantes procedente de la actividad industrial” (Romero, 1999, pág.894).

“Disposición del terreno suficiente formado por materiales de permeabilidad alta y no son operativos cuando existen pendientes de más de 20%” (Moreno Merino, 2003, pág. 16).

2.1.2.2. Infiltración Lenta (IL)

El proceso de infiltración lenta tal como se observa en la Figura 2.2 consiste en la aplicación de un caudal controlado del agua residual sobre la superficie del suelo con cubierta vegetal para lograr tanto el crecimiento de la vegetación existente y el grado necesario de tratamiento del agua contaminada. Una vez aplicada el agua, está se penetra por la superficie de terreno o percola vertical y horizontalmente en el terreno, además puede consumirse por evapotranspiración.

“El sistema de irrigación con agua residual o sistema de irrigación de cultivos tiene como objetivo principal la reutilización del agua residual mediante la producción de cosechas o por riego de espacios verde” (Metcalf & Eddy, 1995, pág. 1056). Por lo tanto, la cubierta vegetal debe ser maíz, césped o guadua.

Para estos tipos de tratamiento se considerar lo siguiente: (Ramón Collado, 1992, pág. 71)

- Pendiente del 5 al 20%
- Nivel freático de 1 a 1.5 m
- Permeabilidad del suelo lenta o moderadamente rápida.
- Área de terreno necesaria para la tecnología: 8 - 20 m²/hab.

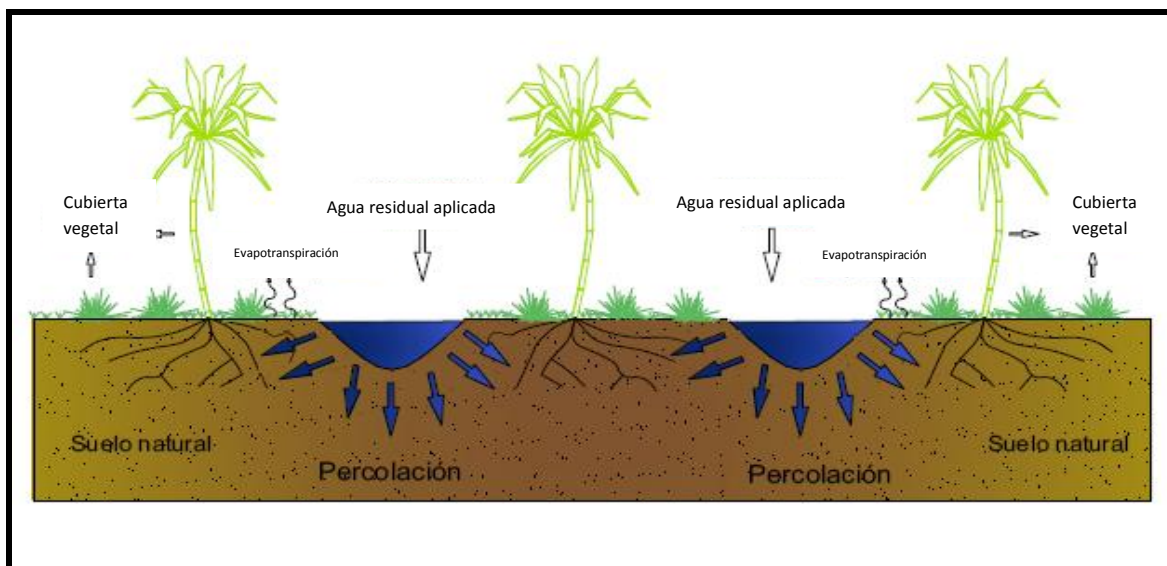


Figura 2.2. Esquema de la trayectoria hidráulica de aplicación para IL
Fuente: Guía de para la selección de tecnologías, 2010.

En la Figura 2.3 se observa el esquema de la trayectoria superficial del agua residual, el cual debe estar a una pendiente del 5 al 20 %, además la altura del nivel freático de ser mayor 1 m. Caso contrario, podría existir el contaminación de las aguas subterráneas. Se realiza sobre suelos de permeabilidad lenta o moderadamente rápida, por lo que la superficie necesaria es relativamente elevada. El tratamiento se realiza en el suelo con la intervención de planta o cubierta vegetal.

2.1.2.2.1. Ventajas (IL)

Las ventajas de este tipo de tratamiento son las siguientes:

“Se puede usar en terrenos irregulares, con pendiente de hasta 10%, se aplica en terrenos donde el nivel freático se encuentre entre 1.0 y 1.5 m de profundidad, y se puede usar en suelos fácilmente erosionados y de moderada permeabilidad” (Mujeriego, 1990, pág. 145)

“Usualmente no es necesario el control aguas abajo, reduce el impacto ambiental en los causes naturales, no precisa personal especializado para el control de la depuradora y no produce fangos” (Droste, 1997, pág. 15).

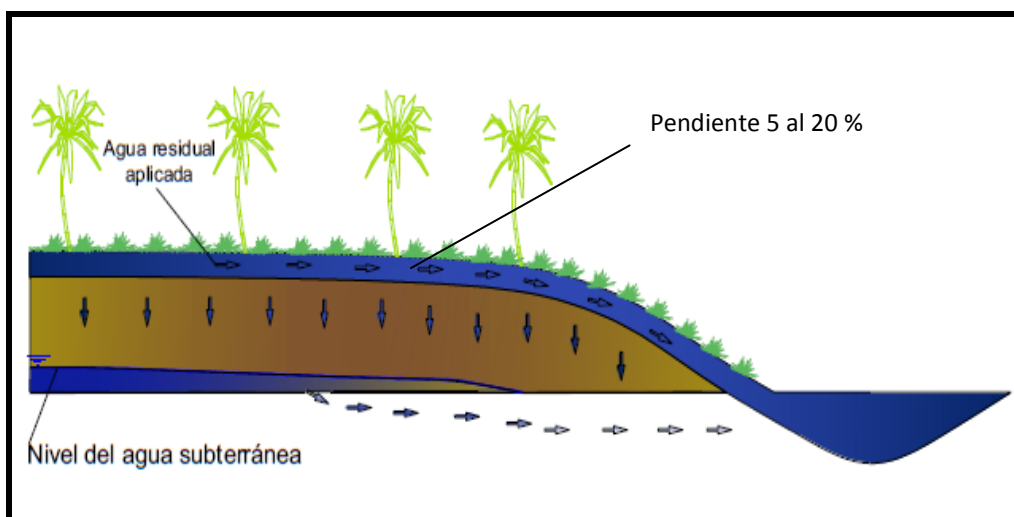


Figura 2.3. Esquema de la trayectoria superficial y subterránea del sistema de IL
Fuente: Guía de para la selección de tecnologías, 2010.

2.1.2.2.2. Desventajas (IL)

Mientras las desventajas son:

“Aumento considerable de la humedad en el terreno, requieren de mucha atención del controlador para evitar atascamiento de agua en los surcos, riesgo de contaminación del acuífero cuando el nivel freático sea alto” (Metcalf & Eddy, 1995, pág. 1060)

“Puede producir molestias como mal olor, moscas y mosquitos y se aplican en aguas residuales no industriales (por los tóxicos) y sin contaminantes nocivos para los cultivos” (Romero, 1999, pág.899).

2.1.2.3. Escorrentía Superficial (ES)

En la Figura 2.4 se detalla el esquema del sistema de escorrentía superficial. Entones, *“Los sistemas de escorrentía superficial consiste en la utilización de los suelos o estratos relativamente impermeables, y requieren cobertura vegetal como césped para controlar la erosión del suelo. El agua se distribuye en la parte superior del terreno con cubierta vegetal y una pendiente del 3 al 8 %, de modo que pueda fluir el agua residual en la superficie hasta un canal de recolección del agua situada en el extremo de la pendiente” (Metcalf & Eddy, 1995, pág. 1059).* Por lo tanto, este sistema es viable, de bajo coste, eficiente para tratamientos de aguas residuales domesticas con materia orgánica degradable.

Para la instalación de este tratamiento debe cumplir lo siguiente: (Moreno Merino, 2003, pág. 17)

- Pendientes del orden del 3 al 8%.
- Profundidad del nivel freático no crítica.
- Suelos con permeabilidad lenta tales como arcillas y limos arcillosos.

- Área requerida por la tecnología de 2,5 - 6 m²/hab.

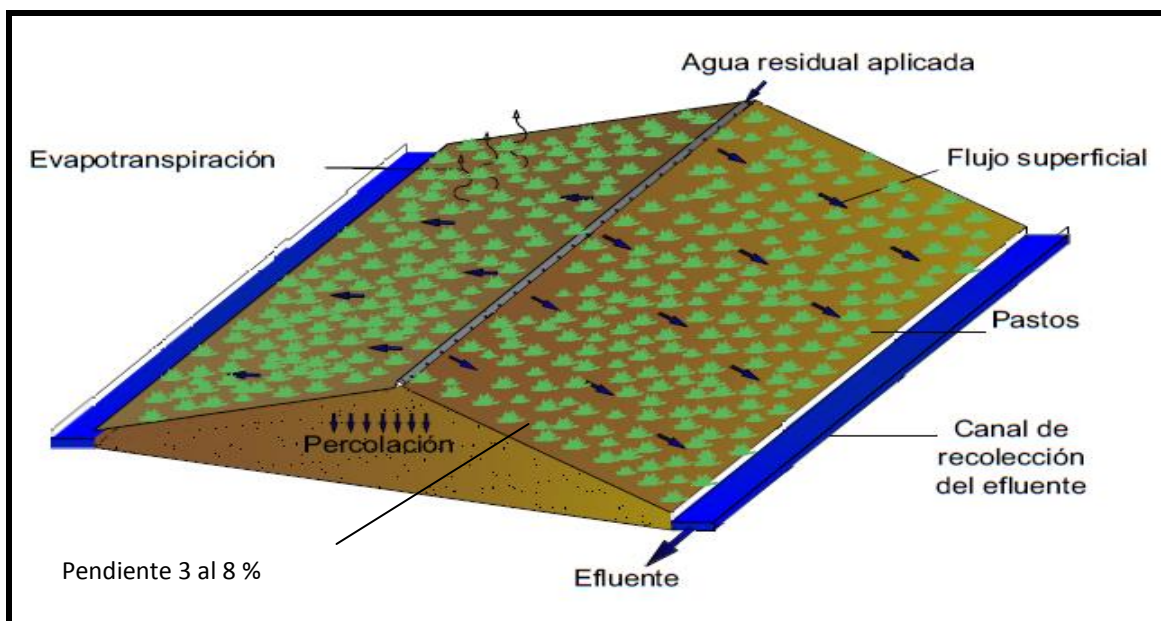


Figura 2.4. Esquema del sistema de escorrentía superficial
Fuente: Guía de para la selección de tecnologías, 2010.

2.1.2.3.1. Ventajas (ES)

Las ventajas de este tipo de tratamiento son las siguientes: (Guía de para la selección de tecnologías, 2010)

“Bajo costo de instalación y mantenimiento, ofrece menores demandas energéticas, utiliza la vegetación y el suelo como medios de depuración y suelos de permeabilidad baja (arcillas y limos)” (Rivas Mijares, 1978, pág. 29).

“El líquido proveniente de la depuración puede ser reutilizado para el riego y son efectivos en la remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), sólidos suspendidos totales (SST), nitrógeno y compuestos orgánicos” (Metcalf & Eddy, 1995, pág. 1063).

2.1.2.3.2. Desventajas (ES)

Mientras las desventajas son: (Guía de para la selección de tecnologías, 2010)

“Pendientes superiores a 8% tienen un riesgo grande de causar surcos y erosión, las precipitaciones continuas reducen el rendimiento, provocando encharcamientos y saturaciones del suelos y son menos eficientes en la remoción de fósforo, metales pesados y organismos patógenos” (Metcalf & Eddy, 1995, pág. 1064).

2.1.3. Métodos acuáticos

Los métodos acuáticos tienen dos 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.
- Lograr un nivel de tratamiento consistente con un bajo consumo de energía y bajo mantenimiento.

2.1.3.1. Humedales de Flujo Libre o Superficial (HFL)

“Los humedales de flujo libre son estanques o balsas de agua con cubierta vegetal, la misma que está inundada hasta una profundidad de 10 a 45 cm” (Romero, 1999, pág. 893).

En la Figura 2.5 muestra el esquema de un humedal superficial. Entonces, este tipo de sistema consiste en la utilización de suelos arcillosos de baja permeabilidad con una capa de grava o arena colocada en la parte superior del suelo natural, y requieren una cobertura vegetal de cañas o juncos que sirve para la depuración del agua. Además, el nivel del agua se halla sobre la superficie del suelo, o sea existe un espejo de agua.

Para evitar contaminación en este tipo de tratamiento natural debe cumplir las siguientes características: (Moreno Merino, 2003, pág. 19)

- Suelos arcillosos de baja permeabilidad.
- Vegetación inundada hasta una profundidad de 10 a 60 cm.
- La vegetación puede ser cañas o juncos.
- Pendiente del terreno < 5 %
- La profundidad del nivel freático no es un limitante.
- Área requerida por el tratamiento: 2,5 a 9 m²/hab.

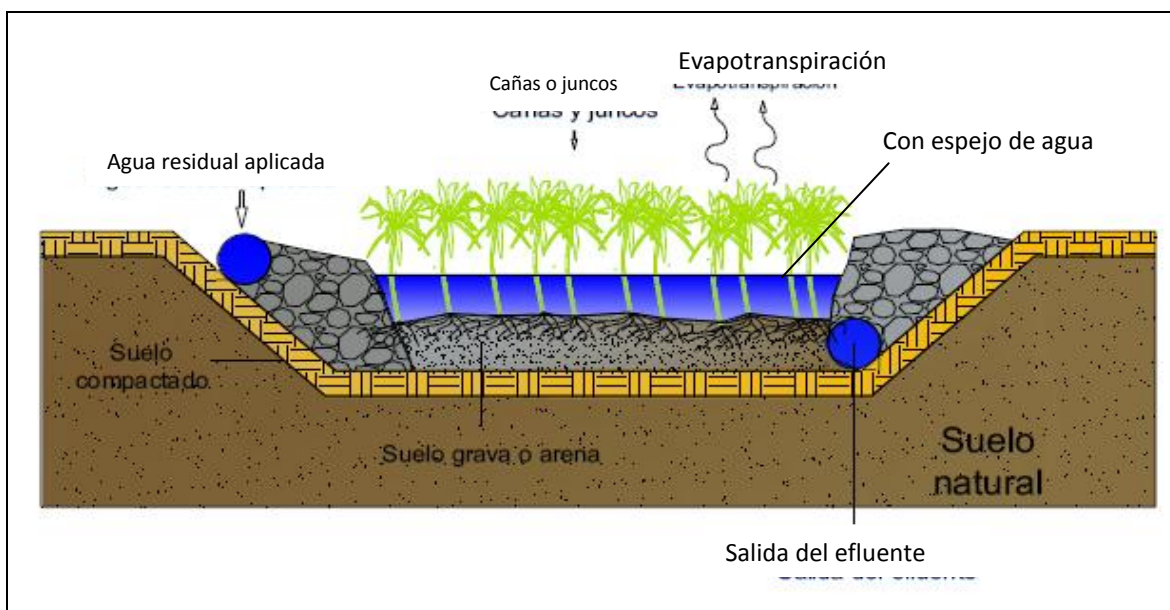




Figura 2.5. Esquema de un humedal superficial
Fuente: Guía de para la selección de tecnologías, 2010.

2.1.3.1.1. Ventajas (HFL)

Las ventajas de este tipo de tratamiento son las siguientes: (Uralita, 2004, pág. 218)

- *Proporcionan tratamiento efectivo y minimizan la necesidad de equipos mecánicos, electricidad y monitoreo permanente.*
- *Adecuado para el tratamiento de aguas residuales de pequeñas poblaciones*
- *Menor coste en la construcción, operación y mantenimiento.*
- *Soportan variaciones de caudal eficientemente.*
- *Proporcionan una adición valiosa al "espacio verde" de la comunidad, e incluye la incorporación de hábitat de vida silvestre.*
- *No producen lodos residuales.*
- *Facilitan la reutilización del agua.*

2.1.3.1.2. Desventajas (HFL)

Mientras las desventajas son:

"Las necesidades de terreno pueden ser grandes, especialmente si se requiere la remoción de nitrógeno o fósforo, en climas fríos las bajas temperaturas durante el invierno reducen la tasa de remoción de DBO y de las reacciones biológicas responsables de la nitrificación y desnitrificación" (Uralita, 2004, pág. 220)

"Aumento de tamaño del humedal, proliferación de mosquitos y otros insectos y limitación de pendiente del terreno inferior al 5%" (Moreno Merino, 2003, pág. 20)

2.1.3.2. Humedales de Flujo Subsuperficial (HSS)

En la Figura 2.6 muestra el esquema de un humedal de flujo subsuperficial. *"en este tipo de tratamiento se filtra el agua residual por debajo de la superficie, mediante un medio poroso sembrado de plantas emergentes de cañas o juncos. Por lo tanto, se utiliza grava gruesa y arena colocada en la parte superior del suelo natural"* (Romero, 1999, pág. 898). Los humedales de flujo subsuperficial tienen menores requerimientos de área y carecen de problemas de olores y de mosquitos. Como desventaja, se tiene un costo mayor por el medio granular y riesgo de taponamiento.

Para la instalación de este sistema es necesario verificar lo siguiente: (Romero, 1999, pág. 895)

- Suelos arcillosos relativamente impermeable

- La profundidad del lecho va desde 0.5 a 0.9 m
- Pendiente del terreno < 5%.
- La profundidad del nivel freático no es un limitante.
- Área requerida por el tratamiento: 1,5 - 7 m²/hab.

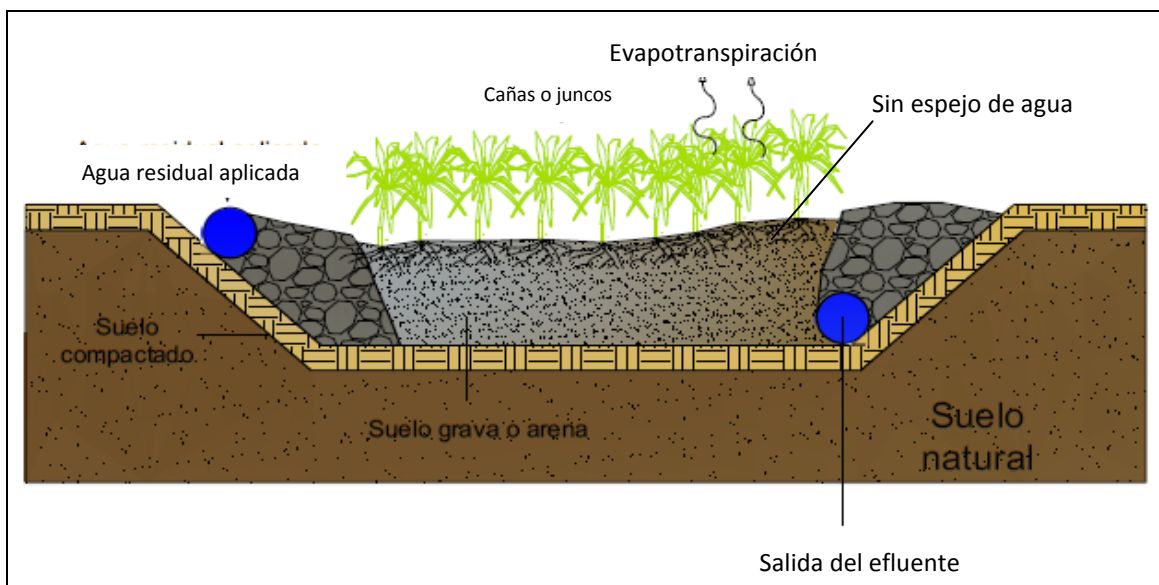


Figura 2.6. Esquema de un humedal de flujo subsuperficial

Fuente: Guía de para la selección de tecnologías, 2010.

2.1.3.2.1. Ventajas (HSS)

Las ventajas de este tipo de tratamiento son las siguientes:

“Alto rendimiento para la remoción de MO, DBO, DQO, SST, N, P y metales pesados, integración en el medio y requieren menos superficie que los humedales de flujo libre” (Romero, 1999, pág. 895)

“Poco o nulo consumo energético, bajo coste de operación y mantenimiento y no existe producción de lodos” (Uralita, 2004, pág. 287)

2.1.3.2.2. Desventajas (HSS)

Mientras las desventajas son: (Uralita, 2004, pág. 289)

- *No recomendable en zonas con climatología extrema.*
- *Limitación de pendiente del terreno inferior al 5%.*
- *Operación eficiente hasta que se desarrolle la vegetación (3-6 meses).*
- *Exigentes cuidados durante el proceso de construcción, errores conllevan deficientes procesos de tratamiento y a altas inversiones de reconstrucción.*



A continuación, se conoció los fundamentos principales de la caracterización del agua residual, caracterización del suelo, características climatológicas, impacto ambiental y selección de tecnologías. De acuerdo a estos principios teóricos se llegó a obtener un método de tratamiento natural.

2.2. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL

2.2.1. Definición

“Una agua residual urbana puede definirse como un residuo líquido recogido mediante la red de alcantarillado” (Mujeriego, 1990, pág. 145). En la Figura 2.7 se detalla el origen del agua residual en un medio urbano. La mayor fuente de contaminación que fluye por las alcantarillas tiene su origen en los excrementos humanos, desperdicios de cocinas, lavados domésticos y aguas industriales. Por otra parte, las aguas pluviales o lavados de calles que drenan desde la zona urbana aportan también una carga importante de contaminación. Entonces, conocer el origen y el grado de contaminación del agua es importante para el desarrollo de la infraestructura de la planta de tratamiento, así como la protección del medio ambiente.

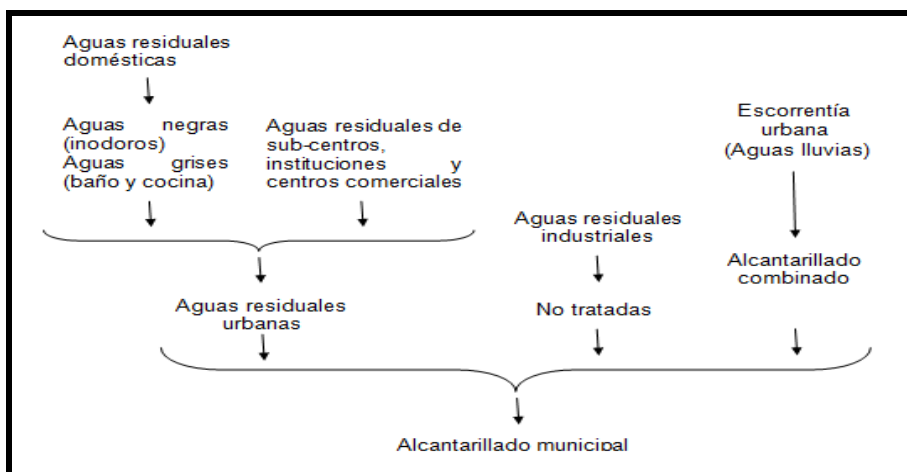


Figura 2.7. Origen del agua residual en un medio urbano

Fuente: Mujeriego, 1990, pág. 147

Sin embargo, conocer el caudal, la temperatura y composición del agua residual, es importante al momento de seleccionar la tecnología de tratamiento de aguas residuales en cada zona de estudio.

2.2.2. Caudal del agua residual

El caudal del agua residual está en función del nivel de vida de la población, hábitos en el uso del agua, dotación de agua potable, el tipo o sistema de alcantarillado usado, el régimen de operación de las industrias servidas, el clima, etc. Por lo tanto, es un parámetro importante a la hora de proyectar las instalaciones de planta tratamiento.



2.2.3. Temperatura del agua residual

“Cuando la temperatura es menor a 5°C la digestión metanogénica es muy lenta, y a temperatura de 5°C la bacteria autotrófica nitrificante deja de operar. La temperatura óptima para la actividad bacteriana es de 25°C a 35°C. La digestión aeróbica y la nitrificación se suspenden cuando la temperatura alcanza los 50°C” (Romero, 1999, pág. 70). Por lo tanto, La temperatura es un parámetro muy importante, debido al cambio brusco que puede conducir a un fuerte aumento de mortalidad de la vida acuática. Además, las temperaturas elevadas pueden dar lugar una indeseada proliferación de las plantas acuáticas y hongos.

2.2.4. Composición del agua residual

El factor que más influye sobre el proceso de depuración del agua residual es su composición, lo que conlleva, a realizar un estudio concreto de las características físicas, químicas, biológicas presentes. La Tabla 2.1 muestra los principales contaminantes que se pueden encontrar en el agua residual.

“Las partículas contaminantes presentes en el agua pueden estar en forma disuelta, de partículas decantables o en un estado físico intermedio denominado coloidal o en suspensión” (Romero, 1999, pág. 71). Además, la mayor parte de los compuestos presentes en el agua residual están constituidos por materia orgánica e inorgánica, nutrientes y microorganismos.

“Las sustancias orgánicas de una agua residual urbana están compuestas por material fecal” (Droste, 1997, pág. 15). “Además, también contiene hidratos de carbono (celulosa, almidón y azúcares), grasas y jabones (sales metálicas de los ácidos grasos), detergentes sintéticos, proteínas y sus productos de descomposición (urea, glicina y cisteína) así como hidróxido de amonio y sales amoniacaes procedentes de la descomposición de complejos orgánicos nitrogenados” (Rivas Mijares, 1978, pág. 23).

Por la gran diversidad que presentan las aguas residuales se hace necesario realizar un estudio concreto de caracterización, en especial cuando en esta investigación se desea definir estrategias de tratamiento y aplicación de tecnologías adecuadas que aseguren la conformidad con la normativa de calidad ambiental y efluente: recurso agua. Criterios de calidad admisible para agua de uso agrícola y límites máximos permisibles para descarga de cuerpos receptores de agua dulce.

Tabla 2.1. Características físicas, químicas, metales pesados, bacteriológicos y pesticidas.

Físico - Químicas	Bacteriológicas	Metales pesados	Pesticidas
pH	Coliformes Totales	Cobre	Aldrin
Sólidos Totales	Coliformes Fecales	Hierro	Alfa HCH
Sólidos Disueltos	E. Coli	Plomo	Beta HCH
Sólidos en Suspensión		Manganeso	Delta HCH
Nitrógeno Orgánico		Mercurio	HCH
Nitrógeno amoniacal		Zinc	Beta endosulfan
Nitrógeno del Nitrato			Dieldrin
Nitrógeno del Nitrito			Endrin
Cloruro			Mixer
Fósforo orgánico			2-4 DDE
Fosforo Inorgánico			2-4 DDT
Alcalinidad			4-4 DDE



Grasas			4-4 DDT
Carbono Orgánico total			GAMA HCH
DBO			PERMETRINAS II
DQO			ALFA ENDOSULFAN
Boro			Azinfos etil
			Ethion
			Pirazofos
			Pirimifos metil

Fuente: Instituto de Química Aplicada IQA de la UTPL. 2009

2.2.4.1. Características físicas – químicas

A continuación se describen brevemente los constituyentes físicos y químicos de las aguas residuales. Entonces, las propiedades físicas es el contenido total de los sólidos en sus diferentes variantes de materias flotantes, sustancias coloidales y productos disueltos. Mientras, que las químicas tienen gran importancia debido a que se interrelacionan con cada parámetro del agua contaminada.

2.2.4.1.1. pH

“El pH es un término de uso general para expresar la magnitud de acidez o alcalinidad, cuando tenemos pH mayores a siete se origina una alcalinidad del medio y si son inferiores a siete se produce una acidificación. El pH neutro en una agua se da cuando está en siete unidades” (Jiménez Cisneros, 2001, pág. 133). Por lo tanto, las aguas con pH menor a seis, en el tratamiento biológico, favorecen el crecimiento de hongos sobre las bacterias. A pH bajo el poder bactericida del cloro es mayor; a pH alto la forma predominante del nitrógeno amoniacal es la forma gaseosa no iónica, la cual es tóxica, pero también removible mediante arrastre con aire.

2.2.4.1.2. Sólidos totales

“Los sólidos totales se originan al caer la lluvia arrastrada por las partículas y fluidos expuestas en la superficie” (Seoáñez Mariano, 2004, pág. 67). Por lo tanto, el contenido de los sólidos totales de una agua residual, afecta directamente la cantidad de lodo que se produce en sistema de tratamiento. Se considera como sólidos totales de un agua el residuo de evaporación y secado a 103 a 105°C.

2.2.4.1.2.1. Sólidos disueltos

“Los sólidos disueltos se originan por las excretas humanas, residuos domésticos como: agua de cocina (sales, detergentes y grasas, etc.), agua de baño (detergentes, etc.), arrastre de lluvia, residuos industriales, aguas de limpieza y lavado público” (Seoáñez Mariano, 2004, pág. 68). Entonces, los sólidos disueltos representan la materia soluble y coloidal del agua residual, el cual requiere usualmente, para su remoción, oxidación biológica y sedimentación.



2.2.4.1.2.2. Sólidos en suspensión

Los sólidos en suspensión son partículas, como trozo de vegetales, animales, basuras, etc., y aquellas otras que también son visibles y tienen la posibilidad de ser separadas del líquido por medios físicos, como rejillas, arcillas, arenas, etc.

2.2.4.1.3. Nitrógeno

El nitrógeno es un nutriente esencial para el crecimiento de protistas y plantas. Las formas de interés en aguas residuales son las de nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitrógeno de nitratos y nitritos. Se denomina nitrógeno total Kjeldhal (NTK), al nitrógeno orgánico más el nitrógeno amoniacal.

“Los datos del nitrógeno son necesarios para evaluar la tratabilidad de las aguas residuales por tratamientos biológicos; cuando se exige un control de eutrofización de las fuentes receptoras, la remoción de nitrógeno en el agua residual, puede ser una condición de tratamiento. En otros casos, un agua residual con contenido insuficiente de nitrógeno puede requerir la adición de nitrógeno para su adecuada biodescomposición” (Romero, 1999, pág. 61). Entonces, el ciclo del nitrógeno en aguas residuales frescas es el nitrógeno orgánico; las bacterias rápidamente descomponen el nitrógeno orgánico en nitrógeno amoniacal y, si el medio es aerobio, en nitratos y nitritos.

2.2.4.1.3.1. Nitrógeno orgánico

“El nitrógeno orgánico se encuentra en las proteínas, los péptidos (componentes de las proteínas), ácidos nucleicos, urea y varios compuestos orgánicos. Además, está presente en desechos domésticos, excretas humanas y agrícolas” (Jiménez Cisneros, 2001, pág. 133).

2.2.4.1.3.2. Nitrógeno amoniacal

“Se presenta amoniaco en forma natural en aguas superficiales y residuales. Por lo cual, se produce por desaminación de compuestos orgánicos nitrogenados y por hidrólisis de la urea” (Jiménez Cisneros, 2001, pág. 67). Por lo tanto, si el contenido de nitrógeno amoniacal es reducido en el agua residual, se la puede utilizar para riego, pues se transforma de nitratos (abonos).

2.2.4.1.3.3. Nitrógeno del nitrato

“Los nitratos son muy escasos en aguas residuales. Es un elemento esencial para los organismos autótrofos fotosintéticos y se los considera, con frecuencia, como un nutriente limitantes del crecimiento” (Jiménez Cisneros, 2001, pág. 68). Además, pueden ser utilizados por algas y otros organismos acuáticos para formar proteínas y, por ello, puede necesitarse la remoción de nitrógeno para prevenir dichos crecimientos.



2.2.4.1.3.4. Nitrógeno del nitrito

“Los nitritos, generalmente, están en los cuerpos de agua residual, pero en algunos acuíferos alcanzan grandes concentraciones” (Jiménez Cisneros, 2001, pág. 68).

2.2.4.1.4. Cloruro

“El cloruro proviene de la presencia de las excretas humanas, principalmente de la orina” (Metcalf & Eddy, 1995, pág. 96). Por lo tanto, son comunes en las aguas residuales. Si el contenido del cloruro es alto puede causar problemas de calidad de agua para riego.

2.2.4.1.5. Fósforo

El fósforo es esencial para el crecimiento de protistas y plantas. Es apto para el metabolismo biológico (Romero, 1999, pág. 58). El fósforo proviene de los detergentes, fertilizantes y descargas industriales.

2.2.4.1.5.1. Fósforo orgánico

“El fósforo orgánico se debe a los vertidos de residuos de alimentos, presencia de fertilizantes o abonos” (Jiménez Cisneros, 2001, pág. 70).

2.2.4.1.5.2. Fósforo inorgánico

El fósforo inorgánico es el resultado de la degradación metabólica de las proteínas y la eliminación de los fosfatos presentes en la orina.

2.2.4.1.6. Alcalinidad

“La presencia de alcalinidad del agua residual está provocada por el hidroxilo, carbonatos y bicarbonatos de elementos tales como calcio, magnesio, sodio, potasio o amoníaco” (Metcalf & Eddy, 1995, pág. 97). Por lo tanto, su capacidad de neutralizar ácidos y prevenir cambios bruscos de pH lo hace importante en el tratamiento químico de las aguas residuales, en los procesos de remoción biológica de nutrientes, en la remoción de amoníaco y tratamientos anaerobios.

2.2.4.1.7. Grasas

La presencia de los lípidos como aceites y grasas en las aguas residuales proviene principalmente de la cocina, además es insoluble en el agua. Por lo cual, causa problemas de mantenimiento e interfieren con la actividad biológica, pues son difíciles de biodegradar. Las grasas pueden tratarse en el tratamiento biológico.



2.2.4.1.8. Carbono orgánico total (COT)

“El Carbono Orgánico Total está presente en el uso de los fertilizantes, residuos de alimentos y es un nutriente necesario para el desarrollo de la flora acuática” (Metcalf & Eddy, 1995, pág. 93).

2.2.4.1.9. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

Este parámetro es importante en el tratamiento de las aguas residuales, porque se utiliza para *“determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia de oxígeno, dimensionar las instalaciones de tratamiento de aguas residuales, medir la eficacia de algunos procesos de tratamiento y para fijar las cargas orgánicas permisibles en fuentes receptoras”* (Metcalf & Eddy, 1995, pág. 80). Entonces, la DBO es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para oxidar la materia orgánica biodegradable en condiciones aerobias.

2.2.4.1.10. Demanda química de oxígeno (DQO)

“La demanda química de oxígeno se usa para medir el oxígeno equivalente a la materia orgánica oxidable químicamente mediante un agente químico oxidante fuerte” (Metcalf & Eddy, 1995, pág. 93). Por lo tanto, es útil como parámetro de concentración orgánica en aguas contaminadas, es tóxica para la vida biológica.

2.2.4.1.11. Boro

“La presencia del boro en el agua residual se debe más a factores naturales que a descargas antropogénicas, aunque se encuentra en algunos detergentes, sobre todo en las industrias” (Jiménez Cisneros, 2001, pág. 55).

2.2.4.2. Características Bacteriológicas

Los parámetros bacteriológicos del agua residual son importantes para el control de enfermedades causadas por organismos patógenos de origen humano.

2.2.4.2.1. Coliformes totales

“Los Coliformes totales incluyen una amplia variedad de bacilos aerobios y anaerobios facultativos, gramnegativos y no esporulantes capaces de proliferar en presencia de concentraciones relativas altas de sales biliares dementando la lactosa y produciendo ácido” (OMS, 2006, pág. 232). Por lo tanto, están presentes tanto en aguas residuales como en aguas naturales. Algunas de estas bacterias se excretan en las heces de personas y animales, pero muchos Coliformes son heterótrofos y capaces de multiplicarse en suelos y medios acuáticos.

2.2.4.2.2. Coliformes fecales



“Para tener un indicador exclusivamente entérico, se estableció un indicador biológico denominado Coliformes fecales. Para detectarlos en laboratorios se realizan siembras en medios nutritivos específicos y al cabo de un tiempo determinado se cuenta el número determinado de colonias formadas (técnica del filtro de membrana) o se observa el efecto de gas consecuencia del proceso de fermentación de la lactosa (técnica de flujo múltiple)” (Metcalf & Eddy 1996, pág. 8).

2.2.4.2.3. Escherichia coli

“La Escherichia coli se encuentra en concentraciones muy grandes en las heces humanas y animales” (OMS, 2006, pág. 233).

2.2.4.3. Características de los metales pesados

Entre los metales pesados se incluyen cobre, hierro, plomo, manganeso, mercurio y zinc.

“Los metales que se presentan en forma insoluble son fácilmente eliminados por sedimentación primaria (aproximadamente entre el 36% y 62%). En cambio, las sustancias solubles son difíciles de remover y requieren etapas específicas de tratamiento, aunque son parcialmente eliminados durante el tratamiento secundario de tipo biológico cuando están en bajas concentraciones” (Jiménez Cisneros, 2001, pág. 49). Los metales pesados en altas concentraciones, son tóxicos, aunque algunos de ellos como el cobre y zinc, son esenciales para los organismos vivos. El hierro, plomo, manganeso y mercurio son tóxicos y reciben gran atención por ser elementos que se magnifican biológicamente en el medio natural.

2.2.4.3.1. Cobre

“Varios compuestos orgánico de cobre son usados como insecticidas, fungicidas, pigmentos, catalizadores y como reactivos analíticos” (Jiménez Cisneros, 2001, pág. 56). Además, puede ocurrir al respirar aire, tomar agua, comer alimentos, mediante el agua potable puede tener niveles altos de cobre, si su casa tiene cañerías de cobre y agua con alta acidez.

2.2.4.3.2. 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, pág. 78).

2.2.4.3.3. Plomo

OMS, (2006). Señaló que “Puede ocurrir plomo comiendo alimentos o tomando agua que contiene plomo. Se encuentra en el agua de grifo, porque rara vez se produce la disolución de



fuentes naturales. En otros casos, proviene de las instalaciones de fontanería doméstica que contienen plomo en las tuberías” (pág. 312).

2.2.4.3.4. Manganeso

“El manganeso se produce al ingerir alimentos o suplementos dietéticos que contienen manganeso. Los vegetarianos que consumen alimentos ricos en manganeso tales como granos, habichuelas y nueces, como también las personas que toman mucho té” (OMS, 2006, pág. 315).

2.2.4.3.5. Mercurio

El mercurio puede ocurrir al consumir pescados o mariscos contaminados con metilmercurio, por liberación de mercurio durante tratamientos médicos o dentales.

2.2.4.3.6. Zinc

“El zinc se produce al ingerir pequeñas cantidades presentes en los alimentos y el agua potable en forma de sales o complejos orgánicos, al consumir demasiados suplementos dietéticos que contienen zinc” (OMS, 2006, p. 362).

2.2.4.4. Características de los pesticidas

“Con el término pesticida se detalla las diferentes sustancias que puede utilizarse para controlar plagas que ataque tanto a los cultivos, al ganado, o durante el transporte y almacenamiento de productos” (Stopford, 1990, p. 11).

“Los organoclorados son pesticidas que presentan cloro en su composición y su estructura química pertenece a los hidrocarburos clorados. Estos plaguicidas organoclorados son los compuestos que más persisten el ambiente. Mientras los organofosforados se descomponen con mayor facilidad y son menos persistentes en el ambiente” (OMS, 2006, p. 150).

2.2.5. Análisis estadísticos

Las características y costumbres de una comunidad a otra varían a través del tiempo, debido a los hábitos nutricionales y de vida, diferencias en clima y consumo de agua. Entonces, la variabilidad de los flujos del agua residual, en cantidad y en composición, obliga a determinar las características estadísticas para predecir o evaluar los valores máximos, mínimos y promedios. Por lo tanto, el análisis estadístico de los diferentes parámetros de volumen, masa y calidad del agua sirve para elegir valores de diseño. Por ejemplo, los gráficos sobre el papel de probabilidad permiten cuantificar el valor promedio, de la mediana y de la desviación estándar del conjunto de datos. Por otra parte, permiten desechar valores extremos máximos o mínimos que, de otra manera, desviarán el valor promedio.



2.2.5.1. Media aritmética

Una media es un punto de tendencia central, o sea del valor hacia el cual tiende 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. Por lo tanto, es un valor importante para evaluar y definir los datos variabilidad en cada hora de muestreo.

$$\text{Media Aritmética} = \frac{\text{suma de todos los valores de la muestra}}{\text{número de todos los valores en la muestra}}$$

Ecu. 1. Media aritmética

2.2.5.2. Desviación estándar

“La desviación estándar se emplea como una medida para comparar la dispersión, variabilidad o carencia de homogeneidad de dos o más conjuntos de observaciones” (Et - Al, 2004, p. 112). Por lo tanto, la desviación estándar define el ancho o dispersión a cada lado del promedio. La cual, depende del valor de cada dato y, por tanto, está influida por lo valores extremo.

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

Ecu. 2. Desviación estándar

Donde:

s	es la desviación estándar muestral.
X	es el punto medio de la clase.
\bar{X}	es la media aritmética
n	es el número total de observaciones en la muestra

2.2.5.3. Rechazo de datos

“Para rechazar un dato con un nivel de confianza mayor al 95%, debe exceder tres veces la desviación estándar de la diferencia entre el promedio del arreglo y el valor cuestionable” (Romero, 1999, p. 112).

2.2.5.4. Media ponderada

La media ponderada durante esta fase de estudio del agua residual, permite calcular y conocer el promedio que toma importancia en cada valor con respecto al total.

$$\bar{X}_p = \frac{\sum(p_a * \bar{X})}{\sum p_a}$$

Ecu. 3. Media ponderada

Donde:

X_p	Símbolo para la media ponderada
p_a	Peso asignado en cada zona de estudio



\bar{X} Media aritmética

La Tabla 2.2 indica el peso asignado en cada zona de estudio, la cual, se la obtuvo con respecto a la población actual de cada ciudad. Entonces, para la ciudad de Olmedo se tiene el mayor peso de 0.23, porque posee el menor conjunto poblacional; mientras que en la ciudad de Celica, con mayor conjunto poblacional se obtiene el menor peso asignado para la media ponderada, con un valor de 0.14.

Tabla 2.2. Peso asignado para la media ponderada

Cantón en estudio	Población actual	Peso asignado en cada zona de estudio
Celica	4220	0.14
Gonzanamá	1539	0.21
Olmedo	799	0.23
Zapotillo	1960	0.20
Pindal	1354	0.22
Total		1

Fuente: Romero. 1999. pág. 103.

2.2.6. Relación de biodegradabilidad

El objetivo de la caracterización del agua residual a tratar es identificar las fracciones orgánicas con diferentes tasas de biodegradabilidad. Por lo tanto, la ecuación 1.1 sirve para determinar el coeficiente de biodegradabilidad del agua residual.

Mientras que en la Tabla 1.3 se resumen los casos típicos de biodegradabilidad del agua residual, mediante un coeficiente se hará la relación de biodegradabilidad y se determina el tipo de efluente.

$$K = \frac{DQO}{DBO_5}$$

Ecu..4. Relación de biodegradabilidad



2.3.2. Características del terreno

2.3.2.1. Pendiente y topografía

En la siguiente Tabla se obtuvo la descripción topográfica de acuerdo al Autor: Jairo Romero, y se estableció una puntuación de la pendiente del terreno mediante los resultados del proyecto en cada zona e estudio.

Para realizar la implantación de los sistemas de tratamiento natural se analizó la pendiente del terreno, la cual se encarga de mostrar las declividades de los mismos, proporcionando una importante información previa a la selección teniendo en cuenta que relieves planos y suavemente ondulados facilitan el movimiento de tierra, siendo por tanto propicios para aquellos tipos de tratamiento que requieren el uso de grandes áreas.

Tabla 2.4. Descripción de la topografía según la pendiente del terreno.

Pendiente de terreno	Topográfica
< 5 %	Suave
5 - 10 %	Moderado
10 - 20 %	Pronunciado
> 20 %	Muy Pronunciado

Fuente: Romero, 1999, pág. 893

2.3.3. Características físicas, químicas e hidráulicas del suelo

2.3.3.1. Características físicas

Las características físicas influyen sobre las propiedades hidráulicas del suelo. Además, genera un efecto de filtrado mecánico del agua residual. A continuación se describirán los parámetros físicos del suelo.

2.3.3.1.1. Textura

En la tabla siguiente se incluye las clases de textura establecidas para describir los tipos de suelos. Por lo tanto, de la textura depende la capacidad de drenaje y de retención de agua del suelo; suelos de textura gruesa, es decir, suelos arenosos, pueden aceptar gran cantidad de agua sin retenerla por mucho tiempo; suelos de textura media son generalmente más adecuados para sistemas de tasa lenta y suelos de textura fina no drenan y retienen gran cantidad de agua durante períodos extensos.



Tabla 2.5. Descripción de los suelos según su textura.

Tipo de suelo	Textura
Arenoso	Gruesa
Margoso	Media
Arcilloso, impermeable	Fina

Fuente: Romero, 1999, pág. 915

2.3.3.1.2. Estructura

“La estructura de un suelo depende de las partículas de los agregados. Un suelo adecuado para la construcción de un sistema de tratamiento natural depende de la estructura y de la textura del suelo” (Moreno Merino, 2003, pág. 47 - 48).

2.3.3.1.3. Profundidad

La profundidad del suelo tiene como finalidad eliminar los componentes no deseados del agua residual. Además, determina el tiempo de retención del agua en el suelo.

2.3.3.2. Características químicas

“Las características químicas influirán básicamente en la retención y eliminación de ciertos contaminantes del agua” (Moreno Merino, 2003, pág. 50). Por lo tanto, conocer las propiedades químicas del suelo antes de diseñar las instalaciones, es importante porque se puede observar los cambios químicos que ocurren durante la etapa de construcción y operación de la planta de tratamiento.

Los parámetros químicos del suelo como la capacidad de intercambio catiónico, el pH, la conductividad eléctrica, el porcentaje de sodio intercambiable y el contenido de materia orgánica son importantes durante el proceso de depuración. Por lo tanto, la capacidad de intercambio catiónico ocupado por el sodio, el calcio y el potasio, y el porcentaje de sodio intercambiable, son claves para mantener la permeabilidad del suelo. Mientras que el pH afecta a la actividad biológica y química del agua residual. En las tablas siguientes se observan los criterios de interpretación de las características químicas del suelo.

Tabla 2.6. Interpretación de los rangos del pH (Sierra).

pH (Adimensional)	
Acido	5.5
Ligeramente acido	5.6 - 6.4
Prácticamente Neutro	6.5 - 7.5
Ligeramente alcalino	7.6 - 8.0
Alcalino	8.1



Fuente: Laboratorio de Suelos de la Agencia Ecuatoriana de aseguramiento de la calidad del Agro AGROCALIDAD - estación Tumbaco.

Tabla 2.7. Interpretación de los rangos de concentraciones de los componentes químicos del suelo (Sierra).

Concentración	Materia Orgánica	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Hierro	Manganeso	Cobre	Zinc	Boro
	%	%	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 la Agencia Ecuatoriana de aseguramiento de la calidad del Agro AGROCALIDAD - estación Tumbaco AGROCALIDAD.

Tabla 2.8. Interpretación de los rango de la conductividad eléctrica (Sierra).

C. E (dS/m)	
No salinos	<2
Ligeramente Salinos	2-3
Salinos	3- 4
Muy Salinos	4 - 8

Fuente: Laboratorio de Suelos de la Agencia Ecuatoriana de aseguramiento de la calidad del Agro AGROCALIDAD - estación Tumbaco AGROCALIDAD.

Tabla 2.9. Interpretación de los rango de capacidad de intercambio catiónico

CIC (Meq/100)	
Absorción Limitada	1-10
Absorción moderada	12-20
Adsorción alta	6.5-7.5

Fuente: Rojas Jairo (1999)

2.3.3.3. Características hidráulicas

2.3.3.3.1. Permeabilidad

“Los espacios vacíos o poros entre partículas del suelo permiten que el agua fluya a través de ella” (Braja Das, 2006. pág. 20). Por lo tanto, es importante conocer cuánta agua fluye a través del suelo en un tiempo unitario. Este conocimiento se requiere para determinar la cantidad de infiltración en cada zona de estudio. La clase de permeabilidad para suelos no saturados se define, generalmente, como indica en la Tabla 2.10.



Tabla 2.10. Clase de permeabilidad para suelos no saturados.

Permeabilidad (mm/h)	Clase
< 5,0	Baja
5.0 – 51	Moderada
> 51	Alta

Fuente:
pág. 917

Romero, 1999,

2.3.3.3.2. Nivel freático

“A mayores profundidades, en presencia de cantidades adecuadas de agua, todos los vacíos se llenan para producir una zona de saturación, cuyo nivel es el nivel freático” (Stanley E. Manahan, 2007. pág. 269). Por lo tanto, conocer la profundidad del nivel freático en las dos estaciones del año tanto en invierno y verano es un factor importante para determinar la extensión en que los contaminantes del agua residual y los productos químicos peligrosos del subsuelo pueden ser transportados por el agua.

2.4. CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS

2.4.1. Definición

La climatología está compuesta por diferentes variables, las cuales se relacionan entre sí por medio de los procesos hidrológicos. En general, se entiende por proceso a una serie de acciones que producen un cambio o desarrollo en un sistema y para el caso particular de la Hidrología, los procesos están asociados con aquellos fenómenos que intervienen tanto en el movimiento del agua como en los cambios que sufre ésta en sus características físicas, químicas y biológicas al desplazarse por diversos medios.

2.4.2. Características climatológicas

El estudio climatológico determina el clima y sus variaciones a lo largo del tiempo. Los parámetros más importantes son: la precipitación, la evaporación, la temperatura y los vientos, ya que éstos ejercen influencia sobre la evapotranspiración.

2.4.2.1. Precipitación (mm/mes)

“La precipitación es la caída de la lluvia sobre el suelo mediante en estado líquido o sólido” (Bermúdez, Rubio, Cuadrat. 1992. pág. 281). Entonces, estudiar los sitios con elevada frecuencia de precipitaciones ocasionará una saturación en los suelos donde serán colocadas las plantas depuradoras.



2.4.2.2. Temperatura (°C)

“La temperatura es el elemento climático que indica el grado de calor o frío en la atmósfera” (Molina, 1989, pág. 7). Por lo tanto, los efectos de la temperatura sobre la tierra se producen los diferentes factores como insolación, latitud, altitud, relieve, etc. Los datos de temperatura son de vital importancia, ya que interfieren en las reacciones bioquímicas de la planta de tratamiento.

2.4.2.3. Viento (m/s)

“El viento son estratos de aire, entonces, los estratos de aire saturados son sustituidos por uno con menor contenido de vapor de agua” (Monsalve, 1999, pág. 159).

Estudiar la velocidad, intensidad y dirección de los vientos de un local donde se pretende ubicar una planta de tratamiento es de gran importancia durante el proceso de funcionamiento, porque generalmente van a generar malos olores, por lo gases producidos; por tanto es recomendable ubicarlos en sitios retirados de las zonas residenciales y en lugares donde las corrientes no afecten a la ciudad.

2.4.2.4. Evapotranspiración (mm/mes)

Necesaria para realizar el balance hídrico, aunque se pueden emplear métodos basados en formulaciones empíricas, el más común en nuestro país es el de Thornthwaite.

2.4.3. Procesamiento de información meteorológica

2.4.3.1. Información disponible

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación meteorológica se obtuvo la siguiente información:

1. Datos anuales de precipitaciones, temperaturas y vientos fueron proporcionados por PREDESUR con información de las estaciones de los años 1968, 1969, 1970 y 1971.
2. La Universidad Técnica Particular de Loja – UTPL, suministro información digital de precipitación, temperatura y viento de los años 1984 a 1999.



2.4.3.2. Análisis de datos

2.4.3.2.1. Lluvia media

“Para realizar cálculos ingenieriles, es importante conocer la lluvia media, porque la lluvia que cae en un sitio dado difiere de la que cae en los alrededores aunque sea en sitios cercanos”

(Aparicio, 1992, pág. 140). Para determinar las precipitaciones se utilizó el siguiente método:

$$Pm_x = \frac{\frac{Pm_a}{da^2} + \frac{Pm_b}{db^2} + \frac{Pm_c}{dc^2} + \frac{Pm_d}{dd^2}}{\frac{1}{da^2} + \frac{1}{db^2} + \frac{1}{dc^2} + \frac{1}{dd^2}} \quad \text{Ecu. 5. Inverse Distance Weight}$$

Donde:

Pm_x = es la precipitación en el mes faltante en la estación.

Pm_i = precipitaciones en el mes buscado en estación a, b, c, d, etc.

d_i = distancia con la información completa.

2.4.3.2.2. Temperatura

2.4.3.2.2.1. Procedimiento de cálculo

- Se debe obtener tres estaciones que rodeen al sitio donde no existan datos.
- El análisis se realizó para cada mes de las tres estaciones durante el año.
- Se debe calcular con el método de mínimos cuadrados tal como indica la tabla.
- Finalmente con la ecuación de regresión lineal se obtiene la generación de los datos en el sitio especificado.

2.4.3.2.2.2. Regresión lineal



La regresión lineal es la relación entre los valores de la variable independiente (estación base “X”) y los de la dependiente (estación a extenderse “Y”), y se expresa mediante la siguiente fórmula.

$$y = bo + (b1 * X_4)$$

Ecu. 6. Regresión lineal

Donde: bo y b1 son coeficientes de la ecuación que pueden ser encontrados numéricamente aplicando el concepto de los mínimos cuadrados:

Tabla 2.11. Procedimiento de Regresión Lineal.

	PROMEDIO DEL MES EN ANÁLISIS(Y)	ELEVACIÓN DE LA ESTACIÓN(X)	Y ²	X ²	X*Y
EST. 1	Y ₁	X ₁	Y ₁ ²	X ₁ ²	Y ₁ * X ₁
EST. 2	Y ₂	X ₂	Y ₂ ²	X ₂ ²	Y ₂ * X ₂
EST. 3	Y ₃	X ₃	Y ₃ ²	X ₃ ²	Y ₃ * X ₃
SUMA	Y _T = (Y ₁ + Y ₂ + Y ₃)	X _T =(X ₁ + X ₂ + X ₃)	Y _T ² = (Y ₁ ² + Y ₂ ² + Y ₃ ²)	Y _T ² = (X ₁ ² + X ₂ ² + X ₃ ²)	(X*Y) _T = (Y ₁ * X ₁ + Y ₂ * X ₂ + Y ₃ * X ₃)

	PROMEDIO DEL MES EN ANÁLISIS(Y)	ELEVACIÓN DE LA ESTACIÓN(X)
EST. EN ANÁLISIS	-	X ₄

$$SCX = X_T^2 - (X_T)^2/3$$

$$SCXY = (X * Y)_T - \frac{(X_T * Y_T)}{3}$$

$$y_c = \frac{Y_T}{N} \quad x_c = \frac{X_T}{N} \quad b1 = \frac{SCXY}{SCX} \quad bo = y_c - (b1 * x_c)$$

2.4.3.2.3. Evapotranspiración Potencial Método de Thornthwaite



Molina (1989) señaló que “la evapotranspiración potencial es la sumatoria del agua perdida en la atmósfera por transpiración y por evapotranspiración vegetal” (pág. 96).

Durante el proceso de cálculo de la evapotranspiración potencial se la realizó con las siguientes fórmulas y la tabla expuesta a continuación:

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

Ecu. 7. Evapotranspiración Potencial método de Thornthwaite.

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

$$Vj = 1.6Ka * \left(\frac{10Tj}{I}\right)^a$$

Donde:

iJ: Uso consuntivo en cada mes (cm)

Tj: Temperatura media en el mes (°C)

Ka: Constante que depende de la latitud y el mes del año.

a, I: Constantes.

De acuerdo a la latitud de las ciudades de estudio, se encuentran aproximadamente en cuatro grados (4°), por lo tanto, la Tabla 2.12 muestra los valores Ka en función de la latitud durante cada mes del año.

Tabla 2.12. Valores de Ka (Constante que depende de la latitud y el mes del año).

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

Fuente: (Aparicio, 1992, pág. 57)

2.4.3.2.3.1. Procedimiento de cálculo

- Se ingresa a la tabla de (Ka), con la latitud de cuatro grados, para determinar la latitud aproximada, es necesario realizar una interpolación.



- Seguidamente se debe realizar los cálculos de j_i , I , a , V_j mediante el método de Thornthwaite.
- Se presenta el resumen de resultados.

2.4.3.2.4. Balance hídrico

La evapotranspiración potencial de un sitio, donde se tiene registro de precipitaciones permite establecer su balance hídrico. Entonces, se obtiene el “exceso” de agua y el “déficit” de humedad.

2.4.3.2.5. Métodos de zonificación

La metodología elegida debe elaborarse en función de la información disponible y de los resultados obtenidos en las tablas expuestas anteriormente. Además, se realizó la zonificación climática por el método de **THORNTHWAITE**.

La zonificación climática es un proceso y herramienta de apoyo al ordenamiento territorial o ambiental dentro de cada zona de estudio. Por lo tanto, se constituye una herramienta fundamental y de apoyo a la gestión ambiental para la selección de la tecnología de depuración de aguas residuales domésticas, que ayuda a la definición e identificación de espacios homogéneos y permite orientar la ubicación y los diferentes tipos de actividades para la descontaminación de las aguas.

2.4.3.2.5.1. Zonificación climática de Thornthwaite

“El método de zonificación de Thornthwaite permite conocer los tipos de clima reflejado en la Tabla 2.13 y está en función del momento del año con exceso o déficit de agua y de la concentración estacional de la eficacia térmica. Además, contiene cuatro criterios básicos; variaciones de humedad, índice global de humedad, eficiencia térmica y concentración estival de la eficiencia térmica” (Bermúdez, Rubio, Cuadrat. 1992. pág. 352).

El índice de humedad es el déficit de agua que no excede en más de un 60 % en un período de lluvias, y se calculó con la siguiente fórmula.

$$lm = \frac{100s - 60d}{n}$$

Ecu. 8. Índice de humedad.



Donde

s = excedente anual de agua,

d = deficiencia anual del agua,

n = evapotranspiración anual potencial, o necesidad de agua.

Tabla 2.13. Tipos climáticos definidos por Thornthwaite en función de la humedad y de la eficacia térmica.

a) En función de la humedad		
Tipo de clima		Índice de humedad
A	Perhúmedo	> 100
B ₄	Húmedo	80 a 100
B ₃	Húmedo	60 a 80
B ₂	Húmedo	40 a 60
B ₁	Húmedo	20 a 40
C ₂	Subhúmedo húmedo	0 a 20
C ₁	Subhúmedo seco	833 a 0
D	Semiárido	867 a 833
E	Árido	8100 a 867
b) En función de la eficacia térmica		
Tipo de clima		ETP (cm)
A'	Megatérmico	> 100
B' ₄	Mesotérmico	80 a 100
B' ₃	Mesotérmico	60 a 80
B' ₂	Mesotérmico	40 a 60
B' ₁	Mesotérmico	20 a 40
C' ₂	Microtérmico	0 a 20
C' ₁	Microtérmico	833 a 0
D'	Tundra	867 a 833
E'	Hielo	8100 a 867

Fuente: Bermúdez, Rubio, Cuadrat. 1992. pág. 352.

2.5. IMPACTO AMBIENTAL

2.5.1. Definición

El estudio ambiental es un proceso de estudio sistemático que predice las consecuencias ambientales. Su objetivo consiste en asegurar que se prevea e identifique los riesgos potenciales, así como financiar e incorporar dentro del plan de desarrollo del proyecto las medidas necesarias para evitar, mitigar o compensar daños ambientales.



Por lo tanto, el estudio de impacto ambiental es un instrumento importante 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.

Para determinar el impacto ambiental que produce la ejecución de este tipo de proyectos se ha elegido el método de Leopold, ya que es un método muy utilizado para determinar la magnitud e importancia de los impactos ambientales tanto positiva como negativamente.

2.5.2. Características del método Leopold

El modelo propuesto por Leopold 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

“Los valores de magnitud que se miden tienen un rango de 1 al 10, donde el 1 representa la magnitud de menor impacto y el 10 corresponde a magnitud de mayor 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 toma a la importancia como absoluto o positivo. A partir de estos procedimientos se ha calculado los promedios positivos y negativos así como la agregación de los impactos, y se cuantifica la acción más beneficiosa y la más dañina” (Martínez, Delgado. 1998. pág. 412).

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 2.14 asignados por Leopold para mayor facilidad de valoración.

Tabla 2.14. Caracterización climática de las zonas de estudio

Magnitud			Importancia		
Calificación	Intensidad	Afectación	Calificación	Duración	Influencia
1	Baja	Baja	1	Temporal	Puntual
2	Baja	Media	2	Media	Puntual
3	Baja	Alta	3	Permanente	Puntual
4	Media	Baja	4	Temporal	Local
5	Media	Media	5	Media	Local
6	Media	Alta	6	Permanente	Local
7	Alta	Baja	7	Temporal	Regional
8	Alta	Media	8	Media	Regional
9	Alta	Alta	9	Permanente	Regional
10	Muy Alta	Alta	10	Permanente	Nacional

Fuente: Martínez, Delgado. 1998. pág. 414.



2.5.3. Área de influencia

a) Medio Físico

- **Caracterización de la zona.-** Es el conocimiento del área donde será implantada la planta de tratamiento obteniendo las características topográficas del terreno, características del suelo y tipo de vegetación.
- **Clima.-** Se analiza las estaciones climáticas: verano e invierno. Así como las características de temperatura, viento y evapotranspiración.
- **Calidad del aire.-** Debido a la ausencia de industrias en cada zona de estudio, se concluye que no existen gases tóxicos al ambiente.
- **Ruido.-** Si la circulación de vehículos es constante, en la planta de tratamiento se considerará la cantidad de ruido en cada zona de estudio.

b) Medio Biótico

- **Flora.-** Los productos que se siembran en las zonas de estudio son esencialmente guineo, maíz, frejol y a menor escala las hortalizas, frutas y otros productos que sirven para consumo interno de cada ciudad.
- **Fauna.-** La población de cada ciudad generalmente 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.

c) Factores culturales

- **Paisaje.-** Durante la construcción de la planta de tratamiento se deberá tomar en cuenta las medidas necesarias para tratar de no afectar a este factor. Una vez que termine la construcción del proyecto, se mejora la imagen del sector de manera que contribuya con la estética del lugar.
- **Empleo.-** Este aspecto es importante en aspecto económico de la sociedad, ya que la ejecución de estos proyectos incrementa la tasa de empleo en las comunidades.



2.5.4. Acciones y factores ambientales que afectan en la construcción y operación de las plantas de tratamiento

Acciones que se tomaran en cuenta en la etapa de construcción y operación de las plantas de tratamiento

Para el método de Leopold es necesario que se identifiquen las acciones que podrían ser llevadas a cabo en la ejecución de la planta de tratamiento y que pueden afectar al medio ambiente. Se detallan en la Tabla 2.15:

Tabla 2.15. Descripción de las acciones

<u>DISEÑO</u>	Levantamiento topográfico
<u>CONSTRUCCIÓN</u>	Desborde y limpieza Excavación a maquinaria Desalojo del material Transporte del material Ruido y vibraciones Construcción de obras de concreto Implantación de vegetación en balsas
<u>OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO</u>	Inadecuado mantenimiento del sistema Fallas operacionales en el sistema Integración del usuario Mantenimiento adecuado del sistema Reutilización del efluente
<u>ABANDONO</u>	Cambio de paisaje Desarrollo de la zona

Fuente: Matínez, Delgado. 1998. pág. 415.

Factores ambientales que pueden ser afectados

De acuerdo a las características de la zona de estudio para la planta de tratamiento se debe considerar los siguientes factores ambientales que pueden ser afectados en la ejecución del proyecto. Se detalla en la Tabla 2.16.

Tabla 2.16. Descripción de los factores

<u>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y</u>	Tierra	Suelos Geomorfología
---	---------------	-------------------------



<u>QUÍMICAS</u>		Contaminación del suelo
	Agua	Contaminación del agua Recarga cuerpo receptor y riego
	Aire	Contaminación del aire Generación de olores Proliferación de vectores Polvo, Ruido
<u>CONDICIONES BIOLÓGICAS</u>	Flora	Árboles Arbustos Hierbas Cultivos
	Fauna	Pájaros (aves) Animales terrestres
<u>FACTORES CULTURALES</u>	Uso territorial	Paisaje Agricultura Ganadería
	Nivel cultural	Empleo Servicio básico

Fuente: Matínez, Delgado. 1998. pág. 416.

2.5.5. Medidas de mitigación que se deben tomar en cuenta en la ejecución del proyecto

- **Construcción**

- Los materiales de construcción y los residuos producidos durante esta fase deben ser colocados en lugares donde no produzcan ningún impacto, ya sea paisajístico o cualquier otro tipo.
- La pérdida de calidad del aire por la presencia de partículas en suspensión como consecuencia del viento y los movimientos de tierras se puede mitigar esparciendo agua sobre superficie del terreno.
- Al finalizar las obras deben retirarse todos los residuos producidos.



- Para evitar el impacto paisajístico, es necesario conseguir que las instalaciones respeten la mayor parte de los árboles existentes y cuando se concluyan las obras se siembre vegetación en los terrenos.

- **Operación y Mantenimiento**

- Evitar la colmatación del lecho de infiltración debido a la deposición de las partículas en suspensión del agua residual vertida.
- Se debe controlar la proliferación de insectos y mosquitos, cumpliendo con las operaciones de mantenimiento según se establece en el ítem 3, para evitar efectos adversos en la salud de los pobladores.

- **Abandono**

- Una vez finalizado el periodo de vida útil de la planta, en el suelo quedarán retenidos toda una serie de compuestos aportados por el agua residual urbana, éstos pueden variar las condiciones físico-químicas del suelo al dejar de verter el agua residual, así, como también puede afectar a las aguas subterráneas. Para evitar estos problemas, es necesario realizar muestreos periódicos, los cuales dependerán del tipo de tratamiento, del tipo de suelo y del comportamiento de los contaminantes.
- Si el terreno va ser utilizado como parcela agrícola es necesario hacer un análisis del suelo para definir las condiciones en las que se encuentra. Si no se lo va a utilizar con fines agrícolas se debe sembrar vegetación.

2.6. SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS

2.6.1. Criterios de selección de los tratamientos naturales

La selección de un tratamiento de aguas residuales, depende de criterios que sirven para realizar un análisis comparativo entre las diferentes alternativas, a fin de llegar a la elección de la más conveniente para una localidad, dependiendo de sus características particulares. Para ello debe estudiarse el afluente a ser depurado, el nivel de calidad que se desea en el agua tratada de acuerdo al objetivo del tratamiento, las características de terreno, factores ambientales, costos construcción, operación y mantenimiento.



En este apartado como resultado de la investigación, se presenta un estudio comparativo entre las diferentes alternativas de tratamientos naturales de aguas residuales domésticas para comunidades menores a 5000 habitantes, en base a ocho criterios de selección que se presentan en la Tabla 2.17, con la información requerida en cada uno de ellos.

Tabla 2.17. Criterios de selección

Criterios de selección	Variables
Factores Demográficos	Población (rangos para calificación) Existencia y tipo de Alcantarillado Existencia de Agua Potable
Características del terreno	Superficie necesaria Profundidad del nivel freático Pendiente Topografía
Objetivos de Tratamiento	Expectativas de calidad del efluente Nivel de Tratamiento
Características del Agua residual	Origen Composición Caudal Temperatura
Características del Suelo	Tipo Textura Velocidad de infiltración Permeabilidad
Características climatológicas	Precipitación Temperatura Evapotranspiración Viento
Aspectos Tecnológicos	Impacto Ambiental (aire, suelo, agua, salud) Eficiencia del tratamiento Facilidad de operación y Mantenimiento
Costes	Operación y Mantenimiento Construcción

Fuente: El Autor

Los criterios de selección, han sido escogidos como los más usuales e importantes que no pueden excluirse del proceso, en base al estudio desarrollado por diferentes autores como son: Seoáñez Mariano, Moreno Merino, Metcalf & Eddy, Ramón Collado, Ruiz Alberto y Romero; que han trabajado en el campo de la selección de tecnologías, a factores como el objetivo final del tratamiento, aspectos



sociales, económicos, sostenibilidad, impacto en la salud y medio ambiente, características particulares de cada tecnología, requerimientos de construcción, operación y mantenimiento. De tal manera, que la selección de la tecnología sea un proceso simple, amigable y facilite la toma de decisiones, de acuerdo a las condiciones que las pequeñas poblaciones posean.

– **Guía de selección**

El esquema general de la guía de selección se desarrolla en un diagrama de bloques constituidos por 13 pasos secuenciales. La selección que se realiza en cada fase, está sustentada en las matrices de decisión que contienen soluciones sostenibles en función del parámetro que se esté evaluando. (Ver Figura 2.8).

En los dos primeros Pasos 1 y 2 de la guía de selección se verifica si la comunidad cuenta con la infraestructura necesaria de abastecimiento de agua potable y alcantarillado sanitario, con el fin de determinar la factibilidad de implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales por métodos naturales.

Posteriormente, en el Paso 3 se lleva cabo la relación de la población que debe ser menor a 5000 hab. Caso contrario, se buscará otra alternativa de tratamiento.

Adicionalmente, se evalúa la composición del agua residual doméstica de acuerdo a los parámetros de sólidos en suspensión, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, nitrógeno total, fósforo total y coliformes fecales. Entonces, en el Paso 4 se toma en consideración el nivel de tratamiento por las tecnologías, para esto es necesario tener claro el objetivo de tratamiento. Las tecnologías de tratamiento naturales alcanzan una elevada remoción de nutrientes. Por lo tanto, el agua residual a tratar debe ser biodegradable.

En el Paso 5 de la guía de selección se evalúa la información del terreno como es la superficie necesaria, profundidad del nivel freático y pendiente del terreno que está en función de cada tecnología. La superficie necesaria depende además del volumen del agua residual generado, de otros factores como son la temperatura en los sistemas de tratamiento natural.

En el siguiente paso de la guía de selección, Paso 6, se introduce información relacionada con el tipo de suelo, textura, velocidad de infiltración y permeabilidad. Estas características del suelo son fundamentales para garantizar el buen funcionamiento de los sistemas teniendo en cuenta que cada tecnología obedece a unas condiciones específicas para cada uno de estos parámetros.

Dado que los sistemas de tratamiento naturales dependen de las condiciones climáticas para alcanzar altas eficiencias en el tratamiento, en el Paso 7 de la guía de selección se consideran parámetros tales como: temperatura, evapotranspiración, viento y precipitación de la localidad.

Posteriormente, en el Paso 8 se lleva a cabo los porcentajes de remoción de cada tipo de tratamiento natural, es posible seleccionar una tecnología en función de estos parámetros como son



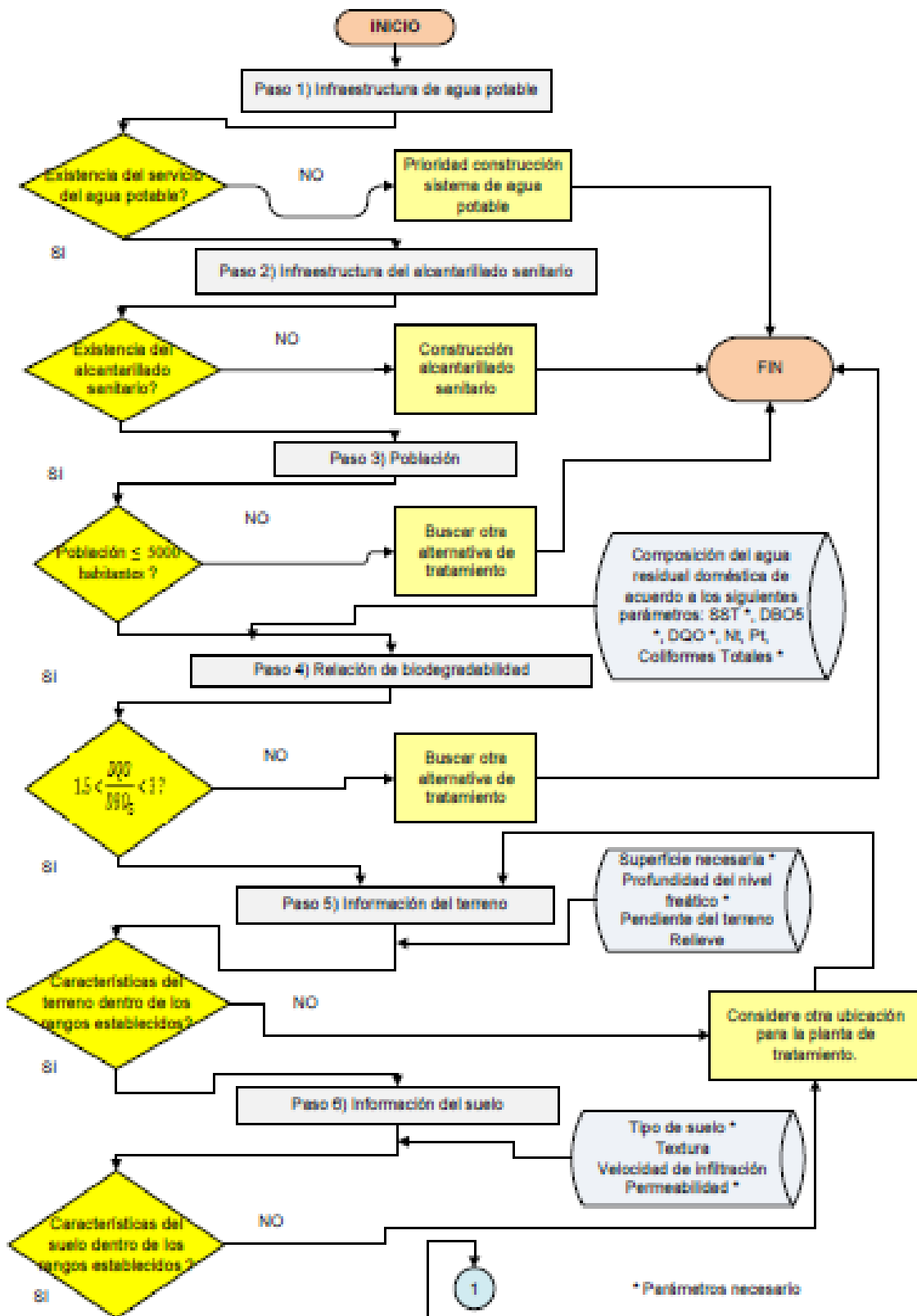
los sólidos en suspensión, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, nitrógeno total, fósforo total y coliformes fecales. Los parámetros de remoción del agua residual son primordiales para garantizar el buen funcionamiento de los sistemas teniendo en cuenta que cada tecnología obedece a unas condiciones específicas para cada uno de estos parámetros.

En el Paso 9 se introduce información relacionada con el impacto ambiental, para evitar impactos ambientales elevados, se debe considerar los factores tales como: físicas, químicas, biológicas y culturales.

Cuando se han obtenido soluciones sostenibles en cuando a los aspectos tecnológicos considerados en la guía de selección, se analizan la necesidad de obra civil, operación, mantenimiento en los Pasos 10 y 11.

En el Paso 12, se analiza los costos de de construcción de la obra civil; y O&M, el motivo fundamental es para encontrar una o más soluciones sostenibles y aceptadas por la comunidad.

Finalmente se realizó la matriz de selección final en el Paso 13. En este ítem se evalúa cada matriz de selección brindándole una valoración a misma. A final se realizó una sumatoria total para cada tipo de tratamiento, el que tiene más puntos será el método natural seleccionado.



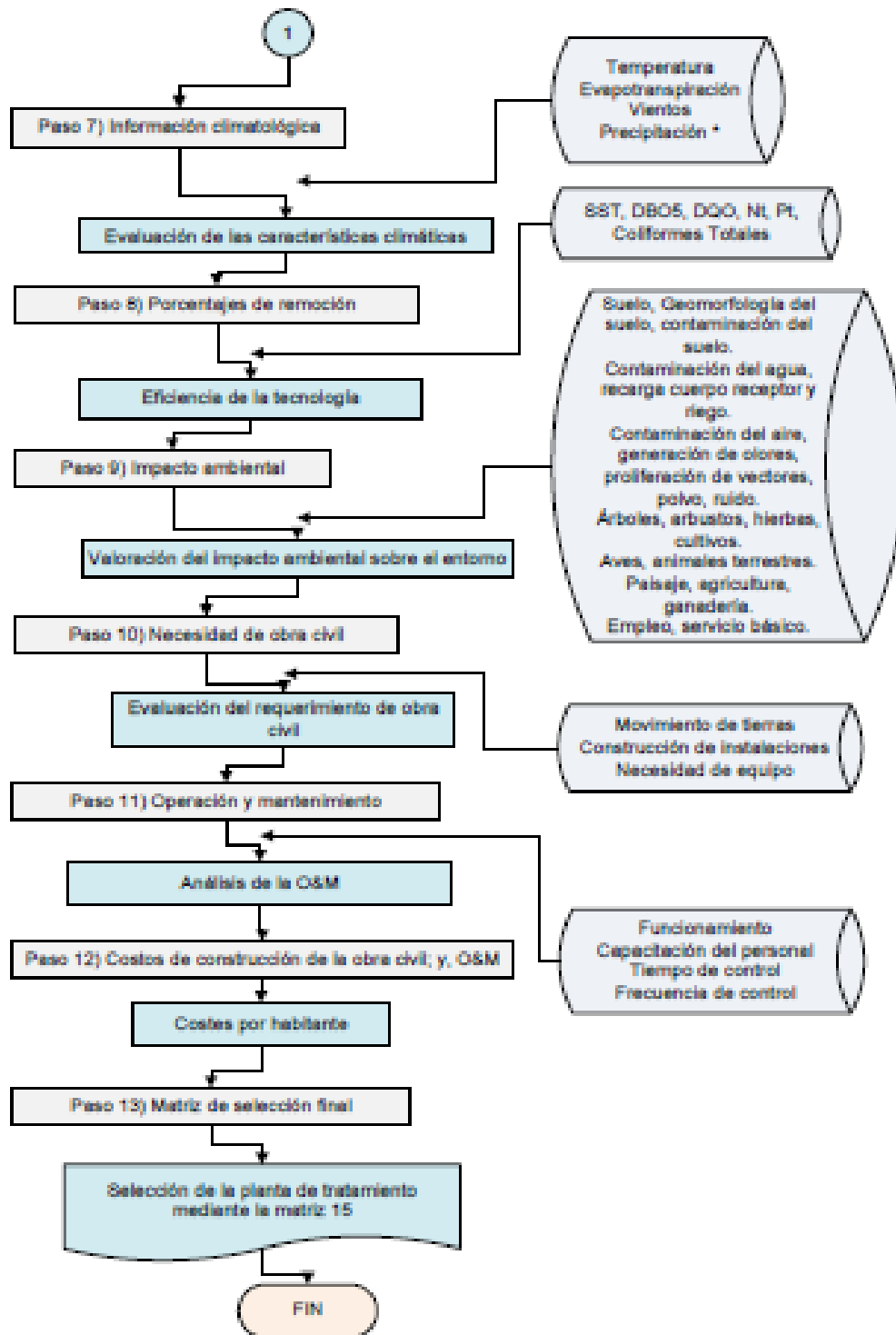


Figura 2.8. Flujograma del proceso de selección de tecnologías naturales
Fuente: El Autor



2.6.2. Matrices de selección

2.6.2.1. Consideraciones preliminares

En esta fase se presentan las matrices de selección para la comparación entre sí de las alternativas, aplicándose una matriz para cada uno de los criterios de selección. La ponderación en éstas matrices se realizará, utilizando una valoración de 1 a 5, que contemplan las situaciones extremas más aptas y no aptas respectivamente. Para finalmente, seleccionarse el tratamiento que más alta puntuación alcance.

La valoración de cada variable evaluada en las matrices de selección, está argumentada en los resultados de los estudios realizados en esta investigación, diseños reales de cada tecnología, y a su vez, sustentados en los valores sugeridos en la literatura.

2.6.2.2. Factores demográficos

La primera etapa en la selección de una tecnología de tratamiento de aguas residuales, verifica la factibilidad de implementación de este sistema en la comunidad, comprobando en primera instancia, la existencia de abastecimiento de agua potable, existencia y tipo de alcantarillado, y los requerimientos de población.

– **Existencia de Servicio de Agua Potable**

La Matriz 2.1 evalúa la existencia de agua potable en la comunidad donde se seleccionará la tecnología de tratamiento de aguas residuales. Siendo inherentemente preferible que la misma cuente con este servicio. Además debemos considerar, que una población que no esté dotada de agua potable difícilmente podrá priorizar la proyección un sistema de depuración de aguas residuales.

Matriz 2.1. Cobertura de agua potable

SERVICIO DE AGUAS POTABLE	TECNOLOGÍA				
	Infiltración rápida IR	Infiltración lenta IL	Escorrentía superficial ES	Humedales de flujo Superficial HFL	Humedales de flujo Subsuperficial HSS
Tiene servicio	A	A	A	A	A
No tiene Servicio	Na	Na	Na	Na	Na
Cobertura Parcial	Mo	Mo	Mo	Mo	Mo

Fuente: El Autor

La valoración de cada ítem de la Matriz 2.1, está en función de la cobertura del sistema de agua potable en el sector de estudio, para lo cual se usará la calificación siguiente para cada uno.

	Apto (A)	Moderado (Mo)	No apto (Na)
PUNTUACIÓN	5	3	1



– Existencia y Tipo de Alcantarillado

La necesidad inherente de planear un sistema de tratamiento de aguas residuales, es que la población cuente con un sistema de alcantarillado que evacue todas las aguas residuales y la lleve a un punto de descarga donde se pueda depurarlas.

Ahora bien, es preferible que la comunidad cuente con un sistema de alcantarillado sanitario separado, que solo transporte las aguas residuales urbanas. Pero si bien es cierto, muchas de nuestras ciudades todavía cuentan con un alcantarillado mixto, o en el peor de los casos combinado, lo cual se vería reflejado en un aumento de caudal por aguas servidas + aguas lluvias que sobredimensionarían la depuradora implicando mayores costos de construcción y mantenimiento. Entonces, se sugiere que siempre se construya los alcantarillados separados.

Matriz 2.2. Existencia y tipo de alcantarillado

ALCANTARILLADO	TECNOLOGÍA				
	Infiltración rápida IR	Infiltración lenta IL	Escorrentía superficial ES	Humedales de flujo Superficial HFL	Humedales de flujo Subsuperficial HSS
Alcantarillado separado	S	S	S	S	S
Alcantarillado Mixto	N	N	N	N	N
Alcantarillado Combinado	C	C	C	C	C

Fuente: El Autor

La estimación de cada variable de la Matriz 2.2, dependerá del tipo de sistema de alcantarillado con el que cuente la zona de estudio, para lo cual se usará la calificación siguiente:

	Simple (S)	Normal (N)	Complejo (C)
PUNTAJACIÓN	5	3	1

– Población Recomendada

La población es uno de los factores que delimitan la selección de una tecnología de depuración de aguas residuales, debido a que no todos los tratamientos son adecuados para todas las poblaciones. Para nuestro estudio, se ha definido una población menor a 5000 habitantes para comparar las cinco tecnologías propuestas.



En la Matriz 2.3, se presentan los tratamientos más adecuados para cada intervalo de población. Por tanto se deberá preseleccionar todas las tecnologías que se adapten al número de habitantes de su comunidad, dándole la valoración que se muestra en la tabla de puntuación.

Es importante mencionar que todos los tratamientos propuestos, producto de esta investigación, son aplicables a comunidades menores a 5000 habitantes.

Matriz 2.3. Población

NÚMERO DE HABITANTES	TECNOLOGÍA				
	Infiltración rápida IR	Infiltración lenta IL	Escorrentía superficial ES	Humedales de flujo Superficial HFL	Humedales de flujo Subsuperficial HSS
500	A	A	A	A	A
1000	A	A	A	A	A
1500	A	A	A	A	A
2000	A	A	A	A	A
2500	A	A	A	A	A
3000	A	A	Mo	A	A
4000	Mo	Mo	Mo	A	A
5000	Mo	Mo	Mo	A	A

Fuente: El Autor

Dependiendo del número de habitantes que tenga la comunidad se le asignará la puntuación de acuerdo a lo que se detalla a continuación:

	Apto (A)	Moderado (Mo)	No Apto (Na)
PUNTUACIÓN	5	3	1

2.6.2.3. Características del terreno

Las características generales del terreno, tales como área disponible para la tecnología, y profundidad del nivel freático, son consideradas las principales variables de decisión, limitando la implementación de un sistema natural de tratamiento de aguas residuales. Además, el peso aplicado a este apartado también depende de las características físicas como pendiente y topografía, para evitar un incremento en los costes de construcción, operación y mantenimiento.

- La superficie de terreno necesaria en m²/hab, es el área necesaria para implantar una tecnología natural de tratamiento de aguas residuales. Se la determina con la siguiente ecuación:

$$\text{Superficie necesaria (m}^2 \text{ / hab)} = \frac{\text{Área disponible tratamiento (m}^2 \text{)}}{\text{Número de habitantes (hab)}}$$



- La profundidad a la que se encuentre el nivel freático es un factor importante y delimitante en la selección un tratamiento natural de depuración, porque de ello dependerá que no se contaminen las aguas subterráneas con el agua residual a ser tratada.
- La topografía y pendiente del terreno, son dos parámetros que se deben considerar a la hora de escoger el sitio para implantar el sistema de depuración de aguas residuales, porque condicionan la posible erosión y la velocidad con la que el agua fluirá en el terreno. En la Tabla 2.4 puede encontrar la descripción topográfica según la pendiente del terreno.

Matriz 2.4. Características del terreno

VARIABLE	TECNOLOGÍA				
	Infiltración rápida IR	Infiltración lenta IL	Escorrentía superficial ES	Humedales de flujo Superficial HFL	Humedales de flujo Subsuperficial HSS
Superficie necesaria (m^2/hab)	2 - 20	8 – 20	2.5 -6	2.5 - 9	1.5 – 7
Profundidad del nivel freático (m)	> 3.0	1 – 1.5	No crítico	No crítico	No crítico
Pendiente de terreno (%)	3 - 10	5 – 20	3 – 8	< 5	< 5
Relieve (<i>Adimensional</i>)	Moderado	Pronunciado	Moderado	Suave	Suave

Fuente: El Autor

La mayor valoración de cada una de las variables de las características del terreno designado para la construcción de la depuradora, se le asignará a la que más se adapte a las condiciones de la zona de estudio. Así, secuencialmente se tiene:

	Apto	Moderado	No apto
PUNTUACIÓN	5	3	1

2.6.2.4. Características del terreno

La caracterización de las aguas residuales consiste en conocer su composición, definiendo las concentraciones de los diferentes contaminantes y por consiguiente el origen del agua residual de la localidad.



- El origen del agua residual puede ser industrial y doméstico o una combinación de los dos, definida por las actividades a las que cada población se dedique. Esta investigación está encaminada a trabajar con aguas residuales puramente domésticas.
- El volumen del afluente por unidad de tiempo que llega a la depuradora, conocido como caudal, es un dato fundamental para diseñar y proyectar el sistema. El caudal está en función del nivel de vida de la población, hábitos en el uso del agua, dotación de agua potable, existencia de redes diferentes de alcantarillado, etc. Por tanto, es necesario que se conozca el caudal, emprendiendo campañas de aforo o calculándolo de forma teórica.
- La temperatura del agua residual es un parámetro importante, porque condiciona el desarrollo de una fauna bacteriana y una flora autóctona, ejerciendo una acción amortiguadora frente a la temperatura ambiente, tanto en verano como en invierno en cualquier tipo de tratamiento biológico.

En la Matriz 2.5 se presentan las características del agua residual referentes a origen, caudal y temperatura.

Matriz 2.5. Características del agua residual

VARIABLES	TECNOLOGÍA				
	Infiltración rápida IR	Infiltración lenta IL	Escorrentía superficial ES	Humedales de flujo Superficial HFL	Humedales de flujo Subsuperficial HSS
Origen (Adimensional)	Doméstico	Doméstico	Doméstico	Doméstico	Doméstico
Caudal (L/s)	6 - 9	2 - 6	6 - 14	7 - 10	4 - 7
Temperatura de agua residual (°C)	28 - 33	17 - 26	18 - 22	17 - 21	22 - 26

Fuente: El Autor

Para asignar la puntuación a cada variable, se considera el mayor valor para la tecnología cuyas características se adaptan al agua residual del sector en estudio.

	Apto	Moderado	No apto
PUNTUACIÓN	5	3	1

2.6.2.5. Características del terreno



El tipo de suelo, textura, velocidad de infiltración, y grado de permeabilidad, se evalúan en una siguiente etapa de este proceso de selección. Estos parámetros se han escogido para evaluar si el suelo destinado al tratamiento, cumple con las condiciones que cada tecnología demanda para su óptimo funcionamiento. En la Matriz 2.6 se pueden encontrar las características específicas.

- El tipo de suelo se define en función de las características físicas como granulometría, límites de Atterberg y contenido de humedad que posee un suelo, a través de la clasificación por los métodos SUCS “Sistema Unificado de Clasificación de Suelos” y ASHTO “American Association of State and Transportation Officials”.
- La textura del suelo está relacionada con el tamaño de las partículas del suelo, siendo importante porque determina dos propiedades fundamentales del suelo como depurador: la capacidad de drenaje y retención del agua en el suelo. En la Tabla 2.5 puede encontrar la descripción de los suelos según su textura.
- La velocidad de infiltración es el flujo de agua máximo que puede absorber un suelo a través de su superficie cuando ésta se mantiene en contacto con el agua. Condiciona la selección de un tratamiento de infiltración directa sobre el terreno o la utilización de otros métodos naturales.
- La permeabilidad depende del tamaño de los poros y su conectividad determinando si el suelo posee una alta, moderada o baja permeabilidad. En la Tabla 2.10 puede encontrar la clase de permeabilidad para suelos no saturados.

Matriz 2.6. Características del suelo

VARIABLE	TECNOLOGÍA				
	Infiltración rápida IR	Infiltración lenta IL	Escorrentía superficial ES	Humedales de flujo Superficial HFL	Humedales de flujo Subsuperficial HSS
Tipo de suelo (Adimensional)	Arenoso	Margoso	Limosos y arcillosos	Arcillosos impermeable	Arcillosos impermeable
Textura (Adimensional)	Gruesa	Media	Fina	Fina	Fina
Velocidad de infiltración (mm/h)	> 51	5 - 51	< 5	< 5	< 5
Permeabilidad (Adimensional)	Permeabilidad alta	Permeabilidad moderada	Permeabilidad baja	Permeabilidad baja	Permeabilidad baja

Fuente: El Autor

En la Matriz 2.6 podrá encontrar las características que el suelo debe cumplir por cada tecnología, usted podrá dar un valor de 5 puntos a la tecnología que más se adapte a sus condiciones en función



de cada variable, 3 puntos a aquella que se adapte sin ser un valor óptimo y 1 punto a la que quede fuera de sus requerimientos.

	Apto	Moderado	No apto
PUNTUACIÓN	5	3	1

2.6.2.6. Características del terreno

En la Matriz 2.7 muestra los intervalos de las condiciones climáticas para cada sistema de tratamiento.

- La temperatura ambiente influirá directamente en las reacciones bioquímicas, crecimiento de los microorganismos y en la adaptación de la vegetación que se vaya a implementar de ser necesario.
- La evapotranspiración es el proceso que se realiza por transpiración de las plantas y evaporación del agua por efectos de la temperatura.
- Los vientos son de gran importancia durante el proceso de funcionamiento de los plantas de tratamiento, porque influyen en el arrastre de malos olores, por lo gases producidos y además, contribuyen a la oxigenación de las capas superficiales.
- Las precipitaciones de altas frecuencias ocasionarán una excesiva saturación en los suelos, alterando la tasa de aplicación de la red de alcantarillado. Por lo tanto, es conveniente considerar la precipitación media más alta del mes de invierno.

Matriz 2.7. Características climáticas

VARIABLE	TECNOLOGÍA				
	Infiltración rápida IR	Infiltración lenta IL	Escurrentía superficial ES	Humedales de flujo Superficial HFL	Humedales de flujo Subsuperficial HSS
Temperatura (°C)	26 – 28	23- 24	18- 20	17 – 18	24 – 25
Evapotranspiración (mm/mes)	130- 15	94- 100	60 – 63	39 – 67	100 – 109
Vientos (m/s)	3 – 6	4.2 - 4.9	4 – 5	1 – 3	3 – 4
Precipitación (mm/mes)	22 – 267	45 - 218	64 - 325	73 - 224	61 – 313

Fuente: El Autor



La puntuación asignada a cada ítem de esta matriz está en función de las características climáticas específicas de cada lugar. Asignándole, la mayor puntuación a la que más se ajuste a su caso con la valoración siguiente:

	Apto	Moderado	No apto
PUNTUACIÓN	5	3	1

2.6.2.7. Aspectos tecnológicos

– **Eficiencia de los sistemas de tratamiento**

La eficiencia de un tratamiento se mide en función de las condiciones establecidas por la Legislación Ambiental que regula la calidad que debe tener un efluente de un sistema de tratamiento, previa descarga en un cuerpo receptor de agua dulce o su reutilización para uso agrícola.

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales con aplicación en el terreno como IR, IL, ES, HFL y HSS, alcanzan los niveles más altos de rendimientos en la depuración, debiendo indicar la necesidad de un pre-tratamiento.

– **Pre-tratamiento**

El pre-tratamiento básico de las aguas residuales es un proceso mecánico, que consta de:

- Rejillas, para detener los desechos de mayor tamaño como palos, piedras, trapos, etc.
- Desarenador para remover las arenas, tierras, virutas, etc.
- Desengrasador para eliminar los aceites y las grasas presentes en el agua residual.
- En la Matriz 2.8 se presentan los rangos de remoción de cada una de las unidades de pre-tratamiento.

Matriz 2.8. Eficiencia de las unidades de pre-tratamiento

VARIABLE	PRE-TRATAMIENTO
Remoción de SST (%)	5 – 10
Remoción de DBO (%)	3 – 5
Grasas (%)	95 - 100

Fuente: El Autor

– **Tecnologías de depuración natural de aguas residuales**

En la Matriz 2.9 se resumen los porcentajes de remoción que alcanzan el pre-tratamiento + el tratamiento, es decir, nos permiten establecer la eficiencia total de la planta depuradora, en función de lo cual estableceremos si cumplimos con la normativa para el vertimiento al cauce natural o con fines de reuso para riego.



Matriz 2.9. Remoción de los parámetros básicos

VARIABLE	TECNOLOGÍA				
	Infiltración rápida IR	Infiltración lenta IL	Escorrentía superficial ES	Humedales de flujo Superficial HFL	Humedales de flujo Subsuperficial HSS
Remoción de SST (%)	92 - 95	95 - 99	95 - 99	60 - 98	60 - 98
Remoción de DBO (%)	80 - 95	95 - 99	80 - 99	60 - 98	60 - 98
Remoción de DQO (%)	70 - 98	70 - 98	90 - 95	55 - 80	55 - 80
Remoción nitrógeno Total (%)	30 - 95	80 - 98	40 - 95	>80	>80
Remoción de fósforo total (%)	25 - 40	90 - 98	85 - 95	20 - 60	20 - 60
Remoción de coliformes fecales (%)	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9

Fuente: El Autor

La puntuación de cada variable de esta matriz, depende del porcentaje de remoción que se necesite en función de la Normativa del Ministerio de medio Ambiente del Ecuador para cada indicador de contaminación. La valoración estará en función de la tabla siguiente:

	> 90	50-90	<50
PUNTUACIÓN	5	3	1

– **Impacto Ambiental**

Los proyectos de tratamiento de aguas residuales se deben diseñar y construir con el propósito de conservar el medio ambiente y proteger la salud de los habitantes de una determinada región. Por ello, la implantación de una planta de tratamiento requiere un estudio ambiental donde se analice cada uno de los factores (agua, aire, suelo, salud, etc.) que se verán afectados con esta infraestructura sanitaria y se diseñe el plan de mitigación correspondiente. Adicionalmente, se debe hacer una buena operación y mantenimiento de la planta de tal forma que garantice su funcionamiento óptimo y como consecuencia no produzca contaminación.

- El suelo como medio depurador elimina los contaminantes del agua residual. Sin embargo, la descontaminación del agua por métodos naturales, puede producir efectos o impactos indeseables sobre el suelo, que deben ser analizados y mitigados de ser necesario, lo cual va a ser valorado en función de la afectación.



- El aire es uno de los medios que puede ser contaminado por la presencia de una planta de tratamiento que no funcione adecuadamente, al producirse malos olores generan una contaminación ambiental ocasionando efectos sobre la salud humana como irritaciones oculares, dolores de cabeza y dificultades respiratorias. Entonces, para evitar efectos relacionados con la salud es recomendable ubicar el sistema de tratamiento en sitios retirados y en lugares donde las corrientes de los vientos no afecten esta situación, y, que se debe cumplir con el mantenimiento correspondiente de acuerdo a lo que se recomienda en el manual de O&P.
- El funcionamiento inadecuado de una planta de tratamiento generan inconvenientes en el proceso de depuración como atascamiento del agua residual, malos olores, etc. Debido a estas causas puede existir una producción de mosquitos, moscas, bichos, etc. que son portadores de enfermedades para el hombre.
- Las aguas residuales domésticas tienen un alto grado de contaminación de nutrientes y pesticidas, que son depurados de acuerdo a las características del suelo y el tipo de vegetación, con el fin de mantener la calidad del agua subterránea. Caso contrario, si el diseño del sistema natural no es eficiente se correrá el riesgo de contaminación de las mismas.
- La integración con el entorno, evalúa la parte estética y el carácter paisajístico de la planta, que no debe afectar el entorno natural sino más bien producir un efecto agradable para el ser humano. Por lo que al momento de implantarla se debe tener especial cuidado de no afectar el paisaje, y, en caso de hacerlo tomar las medidas correctoras.
- Cuando existe proliferación de mosquitos, éstos son portadores de virus mortales para el hombre y de fácil contagio por lo que se pueden producir epidemias en la población, por lo tanto, es necesario evaluar dichos efectos para la correspondiente mitigación.

En la Matriz 2.10 se presenta la incidencia de las tecnologías de depuración en los principales factores que se verán afectados con el diseño y construcción de ésta, los cuales han sido valorados en función de la afectación de cada uno al medio.



Matriz 2.10. Impacto ambiental sobre el entorno

VARIABLE	TECNOLOGÍA				
	Infiltración rápida IR	Infiltración lenta IL	Escorrentía superficial ES	Humedales de flujo Superficial HFL	Humedales de flujo Subsuperficial HSS
Suelo	A	A	A	Me	Me
Geomorfología del suelo	A	A	A	Me	Me
Contaminación del suelo	A	A	A	Me	Me
Contaminación de agua	Me	Me	Me	B	B
Recarga cuerpo receptor y riego	A	A	A	A	A
Contaminación del aire	Me	Me	Me	Me	Me
Generación de olores	Me	Me	Me	A	A
Proliferación de vectores	Me	Me	Me	A	A
Polvo	Me	Me	Me	A	A
Ruido	B	B	B	B	B
Árboles	Me	Me	Me	A	A
Arbustos	Me	Me	Me	A	A
Hierbas	Me	Me	Me	A	A
Cultivos	Me	Me	Me	A	A
Pájaros (aves)	Me	Me	Me	A	A
Animales terrestres	Me	Me	Me	A	A
Paisaje	Me	Me	Me	A	A
Agricultura	A	A	A	A	A
Ganadería	A	A	A	A	A
Empleo	Me	Me	Me	Me	Me
Servicio básico	Me	Me	Me	Me	Me

Fuente: El Autor

Para la valoración de este criterio de selección se deberá tener conocimiento del entorno del sitio de implantación de la depuradora, dando la calificación en función de los indicadores de contaminación para cada variable, según la tabla que a continuación se presenta:

	Alto (A)	Medio (Me)	Bajo (B)
PUNTUACIÓN	1	3	5

– **Requerimiento De Obra Civil**

Los sistemas de tratamiento naturales comparados con los sistemas convencionales de tratamiento de aguas residuales son los que menor requerimiento de obra civil necesitan. En la Matriz 2.11 se presentan las variables escogidas para valorar este parámetro, tales como: movimiento de tierra, construcción de instalaciones, necesidad de equipo.



- El movimiento de tierras en la construcción de un sistema de tratamiento de aguas residuales, se ve influenciada por las características del terreno tales como pendiente y topografía. Por lo tanto se debe respetar en lo posible los intervalos de pendientes para cada sistema de tratamiento, evitando elevar los costos por excesivos movimientos de tierras.
- En lo referente a la construcción de las instalaciones, la aplicación de los tratamientos naturales, evita costos elevados en su construcción. Por tanto, la obra civil se ve reflejada usualmente en el pre-tratamiento.
- La ventaja de los sistemas naturales se basa en no recurrir a equipos especiales para ninguna fase del tratamiento, utilizándose únicamente herramienta manual durante el mantenimiento.

Matriz 2.11. Tecnologías de tratamiento y su necesidad de obra civil

VARIABLE	TECNOLOGÍA				
	Infiltración rápida IR	Infiltración lenta IL	Escorrentía superficial ES	Humedales de flujo Superficial HFL	Humedales de flujo Subsuperficial HSS
Movimiento de tierra (Adimensional)	N	N	P	P	P
Construcción de instalaciones (Adimensional)	P	P	P	P	P
Necesidad de equipo (Adimensional)	P	P	P	P	P

Fuente: El Autor

La valoración de cada variable está en función del requerimiento que se tenga que hacer en función de la adecuación del sitio donde se implantará la depuradora, para lo cual se usará la calificación siguiente:

	Poco (P)	Normal (N)	Mucho (M)
PUNTUACIÓN	5	3	1

– **Operación y mantenimiento (O&M)**

Bajo este criterio se agrupan conceptos relacionados con el funcionamiento de la planta de depuración para garantizar que la depuradora cumpla con su tiempo de vida útil y lo haga en óptimas condiciones.



En la Matriz 2.12 se presenta para cada tecnología, dependiendo de su facilidad de operación y mantenimiento una tabla en la que se indica la puntuación asignada, si el proceso es muy simple, simple o complejo, o, si se necesita de poco o mucho control en los mismos. De esta manera podremos obtener la valoración más alta para el tratamiento que mayor simplicidad represente con respecto al resto.

- La simplicidad en el funcionamiento de los tratamientos naturales en el terreno es una ventaja sobre los sistemas convencionales, porque el tratamiento sigue un proceso natural sin mayor intervención de un operario permanente.
- La O&P de una planta depuradora de aguas residuales por métodos naturales no implica contratación de personal calificado. Sin embargo es necesario, capacitar al personal que se hará cargo de controlar la planta para que su funcionamiento sea ideal.
- El tiempo de control es el lapso necesario para supervisar los procesos de funcionamiento de la planta, para prevenir daños en el sistema y en las unidades como: rejillas, desarenador, desengrasador y campo de tratamiento natural de las aguas.
- La frecuencia de control se refiere a las veces repetitivas que el personal de operación y mantenimiento tendrá que realizar la limpieza de las unidades de la planta.

Matriz 2.12. Operación y mantenimiento para cada tecnología de tratamiento

VARIABLE	TECNOLOGÍA				
	Infiltración rápida IR	Infiltración lenta IL	Escorrentía superficial ES	Humedales de flujo Superficial HFL	Humedales de flujo Subsuperficial HSS
Funcionamiento (Adimensional)	S	S	MS	C	C
Capacitación del personal (Adimensional)	S	S	C	S	S
Tiempo de control (Adimensional)	P	P	P	P	P
Frecuencia de control (Adimensional)	P	P	P	N	N

Fuente: El Autor

En esta matriz se valoran las variables que nos permiten determinar la facilidad del proceso de operación y mantenimiento, en función de lo cual se pone la calificación de cada tecnología, de acuerdo a la tabla siguiente:

	Muy Simple (MS)	Simple (S)	Complejo (C)
PUNTUACIÓN	5	3	1



	Poco (P)	Normal (N)	Mucho (M)
PUNTUACIÓN	5	3	1

2.6.2.8. Costos

– Costos de construcción de la obra Civil

En la Matriz 2.13 se detalla los costos por habitante de cada sistema de tratamiento. Los mismos que establecen los gastos de construcción y puesta en marcha de la depuradora, incluye materiales, mano de obra, equipo menor y transporte.

Matriz 2.13. Costos de construcción de obra civil para los tratamientos naturales

VARIABLE	TECNOLOGÍA				
	Infiltración rápida IR	Infiltración lenta IL	Escorrentía superficial ES	Humedales de flujo Superficial HFL	Humedales de flujo Subsuperficial HSS
Coste por habitante (USD/hab)	35.25	28.72	16.27	29.60	46.50

Fuente: El Autor

Para la puntuación de este apartado, se considera el coste por habitante para cada tecnología. Este valor es referencial, ya que puede variar porque depende de las condiciones propias de cada zona. Sin embargo, para seleccionar la tecnología es una variable importante que debe ser tomada en cuenta, en función de las valoraciones siguientes:

	MUY ECONÓMICO (ME)	ECONÓMICO (E)	POCO ECONÓMICO (PE)
PUNTUACIÓN	5	3	1

– Costos de Operación y mantenimiento O&P

Los costos de O&P dependen de muchas variables como el tipo de tratamiento, tamaño de la misma, necesidad de personal, frecuencia de mantenimiento, necesidad de sustancias químicas y del programa de capacitación.

Los sistemas naturales de tratamiento son los de menor costo porque no requieren de equipos ni de reactivos químicos en el proceso, siendo directamente la interacción de los suelos, las plantas y los microorganismos los autores de la depuración.



En la Matriz 2.14 se presentan los costos de O&P para las tecnologías propuestas en la presente guía.

Matriz 2.14. Costos mensuales de operación & mantenimiento para los tratamientos naturales

VARIABLE	TECNOLOGÍA				
	Infiltración rápida IR	Infiltración lenta IL	Escorrentía superficial ES	Humedales de flujo Superficial HFL	Humedales de flujo Subsuperficial HSS
Coste por habitante (USD/hab/año)	3.68	5.35	1.57	2.05	2.50

Fuente: El Autor

Para valoración de los costos de operación y mantenimiento se deberá considerar el coste por habitante anual que se presenta para cada tecnología. Sin embargo, es una referencia a la hora de seleccionar la tecnología más económica con el puntaje siguiente:

	MUY ECONÓMICO (ME)	ECONÓMICO (E)	POCO ECONÓMICO (PE)
PUNTUACIÓN	5	3	1

2.6.3. Período de diseño de las depuradoras

El periodo de diseño de una depuradora es el tiempo de vida útil para el cual se proyecta un determinado sistema de tratamiento, y, en el cual garantizamos que su funcionamiento va a ser óptimo.

Para los sistemas de tratamiento naturales, se han definido diferentes periodos de diseño en función de las características propias de cada tecnología.

Tabla 2.18. Periodo de diseño de las plantas depuradoras

VARIABLE	TECNOLOGÍA				
	Infiltración rápida IR	Infiltración lenta IL	Escorrentía superficial ES	Humedales de flujo Superficial HFL	Humedales de flujo Subsuperficial HSS
Vida útil (años)	10	10	10	20	20

Fuente: El Autor

2.6.4. Matriz de selección final

En este apartado se presenta la matriz de selección final con cada una de las variables analizadas en las matrices de selección, descritas anteriormente.



La asignación de la respectiva puntuación se debe hacer razonada y objetivamente, como se indica preliminarmente en el apartado 6.2.2. Garantizando que la tecnología seleccionada sea la que más se adapte a las condiciones demográficas, características naturales de terreno, suelo, agua, climatología, costes, operación y mantenimiento.

La tecnología natural de tratamiento de aguas residuales seleccionada para su comunidad, será la que luego de proceder a sumar cada columna, obtenga la mayor valoración.

Matriz 2.15. Matriz de selección final

Criterios	Variable	TECNOLOGÍA				
		Infiltración rápida IR	Infiltración lenta IL	Escorrentía superficial ES	Humedales de flujo Superficial HFL	Humedales de Flujo Subsuperficial HSS
Servicio de agua potable	Tiene servicio					
	No tiene servicio					
	Cobertura Parcial					
Existencia y tipo de alcantarillado	Alcantarillado separado					
	Alcantarillado Mixto					
	Alcantarillado Combinado					
Población	Población					
Características del terreno	Superficie necesaria					
	Profundidad del nivel freático					
	Pendiente de terreno					
	Relieve					
Características del agua residual	Origen					
	Caudal					
	Temperatura de agua residual					
Características del suelo	Tipo de suelo					
	Textura					
	Velocidad de infiltración					
	Permeabilidad					
Características climáticas	Temperatura					
	Evapotranspiración					
	Vientos					
	Precipitación					
Remoción de los parámetros básicos	Remoción de sólidos en suspensión					
	Remoción de DBO					
	Remoción de DQO					
	Remoción nitrógeno Total					
	Remoción de fósforo total					
	Remoción de coliformes fecales					
Impacto ambiental sobre el entorno	Suelo					
	Geomorfología del suelo					
	Contaminación del suelo					



	Contaminación de agua					
	Recarga cuerpo receptor y riego					
	Contaminación del aire					
	Generación de olores					
	Proliferación de vectores					
	Polvo					
Impacto ambiental sobre el entorno	Ruido					
	Árboles					
	Arbustos					
	Hierbas					
	Cultivos					
	Pájaros (aves)					
	Animales terrestres					
	Paisaje					
	Agricultura					
	Ganadería					
	Empleo					
	Servicio básico					
Tecnología de tratamiento y su necesidad de obra civil	Movimiento de tierra					
	Construcción de instalaciones					
	Necesidad de equipo					
O&M para cada tecnología de tratamiento	Funcionamiento					
	Capacitación del personal					
	Tiempo de control					
	Frecuencia de control					
Costos de construcción	Costo por habitante de la obra civil					
Costos mensual de O&M	Costo por habitante anual de O&M					
SUMATORIA TOTAL						

Fuente: El Autor



CAPÍTULO

3

ANÁLISIS DE
RESULTADOS



El objetivo de este capítulo es analizar e interpretar los resultados de la caracterización del agua residual, caracterización del suelo, características climatológicas, impacto ambiental; y, por último realice una evaluación para la selección de la tecnología de acuerdo a los parámetros de cada ítem.

3.1. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

3.1.1. Caracterización del agua residual

En la Tabla siguiente se presentan los valores del análisis estadístico. Entonces, las columnas contienen los parámetros del agua residual y en las filas se detalla la media aritmética, la desviación estándar y el intervalo del agua residual.

Tabla 3.1. Resume la media aritmética, la desviación estándar y el intervalo de variación de cada uno de los parámetros físicos-químicos, bacteriológicos, metales pesados y pesticidas organoclorados y organofosforados del agua residual.

Parámetros físico-químicas					
Parámetro	Media	Desviación estándar	Intervalo		
pH	7,1	0,2	7,0	a	7,3
Sólidos Totales	526,9	195,0	484,8	a	581,4
Sólidos Disueltos	231,9	94,7	217,2	a	263,3
Sólidos en Suspensión	78,8	22,9	69,4	a	96,7
Nitrógeno Orgánico	15,1	2,0	11,0	a	21,7
Nitrógeno amoniacal	18,2	7,6	13,6	a	28,8
Nitrógeno del Nitrato	2,3	0,8	2,08	a	2,6
Nitrógeno del Nitrito	0,12	0,03	0,07	a	0,19
Cloruro	34,5	6,1	29,7	a	42,9
Fósforo orgánico	0,68	0,1	0,5	a	0,9
Fosforo Inorgánico	3,0	1,1	2,4	a	3,9
Alcalinidad	218,7	108,4	196,4	a	265,1
Grasas	47,9	7,9	40,7	a	52,6
Carbono Orgánico total	145,9	35,8	119,3	a	168,6
DBO	165,8	43,1	134,5	a	196,2
DQO	359,9	84,0	294,5	a	410,6
Boro	0,8	0,04	0,7	a	1,0
Bacteriológicos					
Coliformes Totales	5.7E+07	6.6E+06	5.2E+07	a	6.3E+07
Coliformes Fecales	2.3E+07	4.9E+06	2.1E+07	a	2.5E+07
E. Coli	3.7E+07	8.0E+06	3.5E+07	a	4.2E+07
Metales pesados					
Cobre	2.4E-02	2.3E-02	2.1E-02	a	2.8E-02
Hierro	6.8E-01	2.3E-01	6.1E-01	a	7.7E-01
Plomo	1.5E-02	3.0E-02	1.2E-02	a	1.8E-02
Manganeso	6.1E-02	1.8E-02	5.6E-02	a	6.5E-02
Mercurio	1.0E-02	3.4E-02	8.8E-02	a	1.2E-02
Zinc	5.9E-01	8.2E-01	3.6E-01	a	8.0E-01



Pesticidas organoclorados					
Metoxicloro	1.E-03	2.E-03	7.E-05	a	3.E-03
Mixer	9.E-04	6.E-04	1.E-05	a	2.E-03
2-4 DDE	2.E-03	1.E-03	7.E-05	a	1.E-02
2-4 DDT	6.E-04	6.E-04	2.E-05	a	3.E-03
4-4 DDE	2.E-03	1.E-03	2.E-03	a	2.E-03
4-4 DDT	1.E-03	2.E-03	4.E-04	a	3.E-03
GAMA HCH	5.E-03	2.E-03	3.E-03	a	8.E-03
PERMETRINAS II	1.E-04	1.E-04	1.E-04	a	2.E-04
ALFA ENDOSULFAN	4.E-05	2.E-05	2.E-05	a	4.E-05
Pesticidas organofosforados					
Azinfos etil	1.E-02	1.E-02	1.E-03	a	2.E-02
Azinfos metil	2.E-02	2.E-02	1.E-02	a	3.E-02
Carbofenotion	2.E-03	2.E-03	9.E-04	a	3.E-03
Clorpirifos	1.E-03	3.E-03	3.E-05	a	8.E-03
Clorpirifos metil	4.E-03	4.E-03	8.E-04	a	9.E-03
Ethion	1.E-03	1.E-03	1.E-04	a	2.E-03
Pirazofos	3.E-02	3.E-02	1.E-02	a	7.E-02
Pirimifos metil	2.E-04	1.E-04	1.E-04	a	6.E-04
Tetraclorvinfos	1.E-03	1.E-03	1.E-04	a	4.E-03

Fuente: El Autor

3.2.1.1. Parámetros físicos, químicos y bacteriológicos

Los valores del pH fueron siempre básicos en el promedio aritmético, con un intervalo de 7.0 y 7.3, por tanto, está dentro del rango óptimo de crecimiento para los microorganismos presentes en un tratamiento biológico de eliminación de nutrientes y materia orgánica. La Figura 3.1 muestra la evolución temporal del pH durante la fase de estudio del agua residual. El rango de variación del pH ha sido bajo, no excediendo de la unidad con una desviación estándar de tan solo 0.2. Este parámetro es el que menos variación registró respecto a su media (7.1).

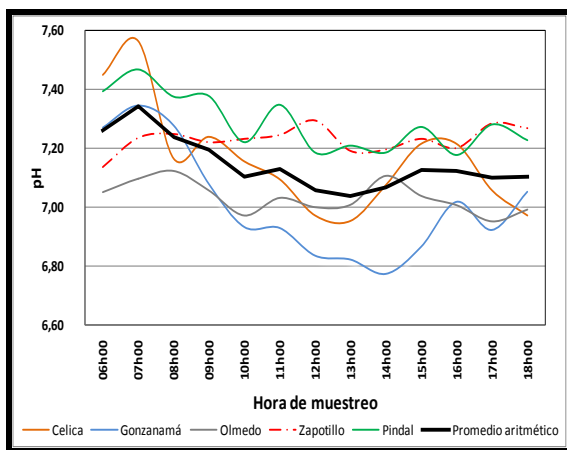


Figura 3.1. PH

Fuente: El Autor

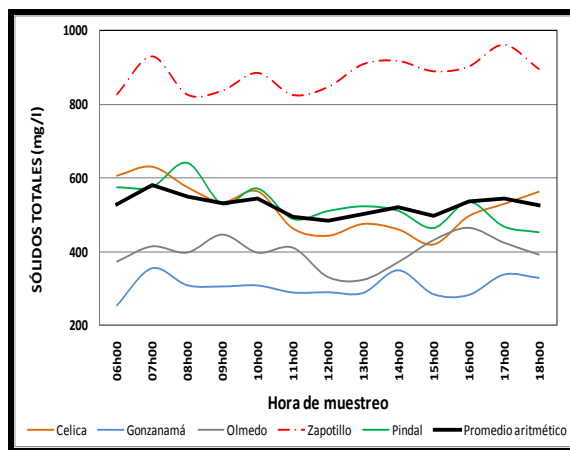


Figura 3.2. Sólidos totales

Fuente: El Autor



La Tabla 3.1 muestra los datos estadísticos del promedio aritmético de los sólidos totales. Donde se observó una media de 526.9 mg/l, con un intervalo de 484.8 mg/l a 581.4 mg/l, y, una desviación estándar de 195.0 mg/l. En la Figura 3.2 indica la variación de los sólidos totales. En Zapotillo se determinó que existen datos elevados de los sólidos totales, con un intervalo de la media ponderada de 165.27 y 192.27, mientras que en la ciudad de Gonzanamá el rango de variación fue de 53.69 y 74.52, los mismos que han sido bajos durante este periodo de estudio.

Los sólidos disueltos tiene una media aritmética de 231.9 mg/l, con un intervalo de 217.2 mg/l y 263.3 mg/l, entonces la amplitud del intervalo de variación es elevada, con una desviación estándar de 94.7 mg/l. En la Figura 3.3 se muestra la evolución temporal de los sólidos disueltos, obtenidos en la Tabla 5-A del Anexo 1. En Zapotillo se observó que existen datos elevados en la media ponderada, con un intervalo de 78.0 y 94.7, mientras que en Pindal se vieron valores bajos.

Del análisis obtenido en la Tabla 3.4 se observó una media de 78.8 mg/l de los sólidos en suspensión, con un intervalo de 69.4 mg/l y 96.7 mg/l. La Figura 2.7 se muestra la evolución temporal de los sólidos en suspensión. En la ciudad de Celica, se observó los valores más elevados de la media ponderada, con un rango entre 14.76 y 22.94.

La Figura 3.5 indica la variación del nitrógeno orgánico de un agua residual, de los datos obtenidos en la Tabla 7-A del Anexo 1. Los resultados obtenidos del nitrógeno orgánico en la Tabla 3.1 indica una variación entre 11.0 mg/l y 21.7 mg/l con un valor medio de 15.1 mg/l. La amplitud del intervalo de variación fue pequeña, con una desviación estándar de 2,0 mg/l.

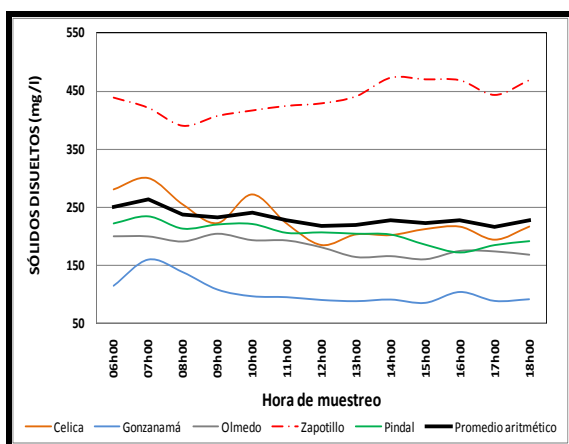


Figura 3.3. Sólidos disueltos
Fuente: El Autor

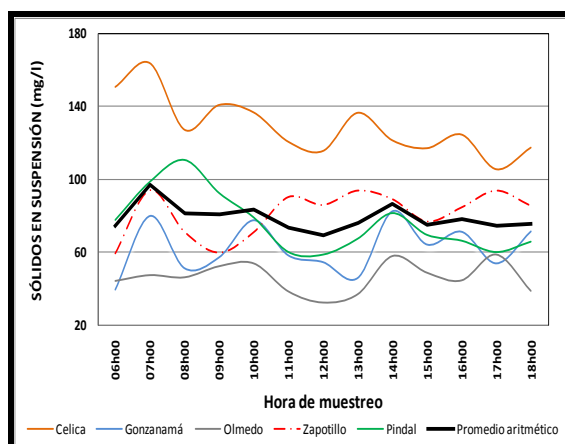


Figura 3.4. Sólidos en suspensión
Fuente: El Autor

El rango de variación del nitrógeno amoniacal fue de 13.6 mg/l y 28.8 mg/l, con un valor medio de 18.2 mg/l y con una desviación estándar de 7.6 mg/l. La Figura 3.6 muestra la evolución temporal del nitrógeno amoniacal de un agua residual, de los datos obtenidos en la Tabla 8-A del Anexo1. En Zapotillo se vieron datos elevados en la media ponderada, con un intervalo de 78.0 y 94.7.

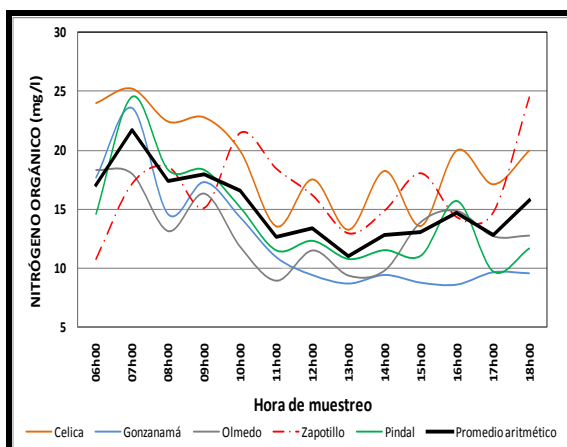


Figura 3.5. Nitrógeno orgánico
Fuente: El Autor

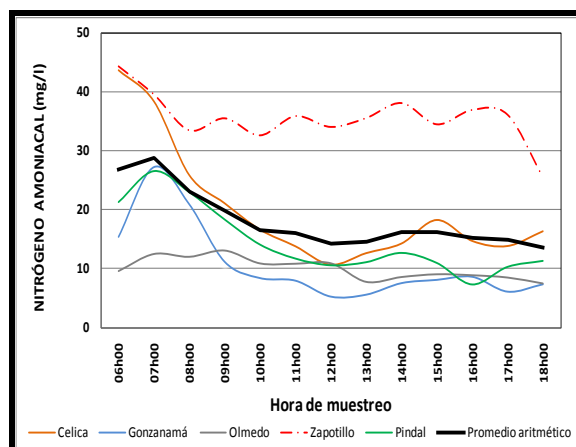


Figura 3.6. Nitrógeno amoniacal
Fuente: El Autor

La Figura 3.7 muestra la evolución temporal del nitrógeno de nitrato y en la Tabla 3.1 indica los valores medios obtenidos durante el período de estudio. El nitrógeno de nitrato durante el proceso varío de 2.08 mg/l y 2.6 mg/l y un valor medio de 2.3 mg/l.

La Figura 3.8 muestra la variación del nitrógeno de nitrito, de acuerdo a los datos obtenidos en la Tabla 10-A del Anexo 1. El nitrógeno de nitrito registrado en la Tabla 3.1 oscilo entre 0.07 mg/l y 0.19 mg/l con un valor medio de 0.12 mg/l. La desviación estándar de este parámetro fue de 0.03 mg/l.

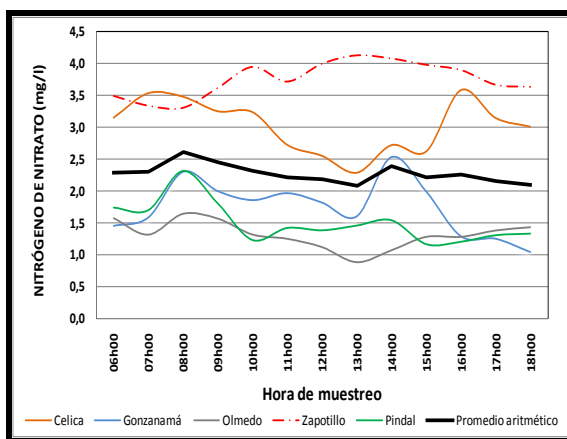


Figura 3.6. Nitrógeno de nitrato
Fuente: El Autor

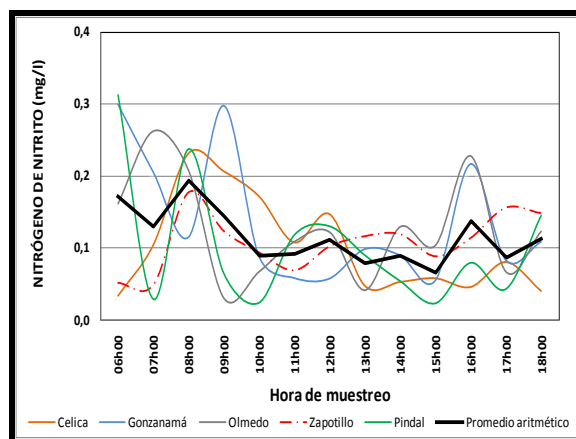


Figura 3.8. Nitrógeno de nitrito
Fuente: El Autor

El intervalo de variación del cloruro fue de 29.7 mg/l y 42.9 mg/l, y un valor medio de 34.5 mg/l. Además, la holgura del rango de variación fue pequeña, con una desviación estándar de 6.1 mg/l. La Figura 3.9 muestra la evolución temporal del cloruro.

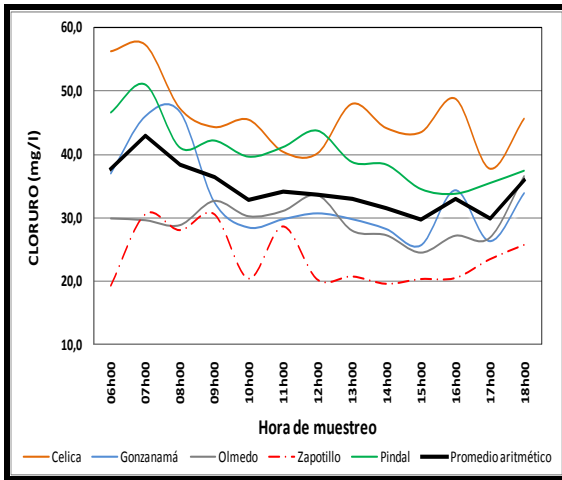


Figura 3.9. Cloruro
Fuente: El Autor

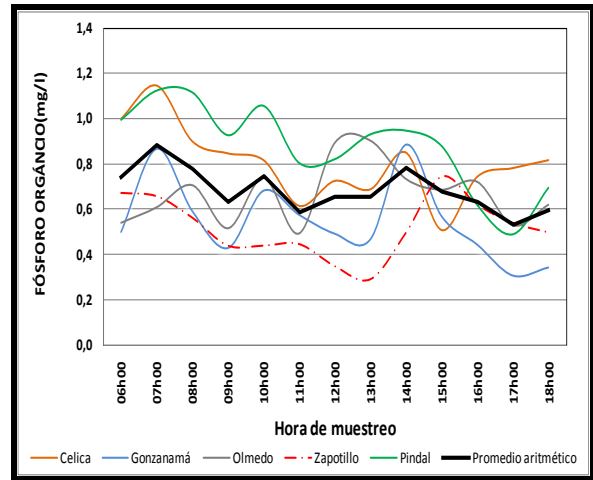


Figura 3.10. Fósforo orgánico
Fuente: El Autor

La Figura 3.10 muestra la variación del fósforo orgánico, de acuerdo a los datos obtenidos en la Tabla 12-A del Anexo 1. Mediante el análisis de la Tabla 3.1 indica los valores estadísticos del fósforo orgánico, donde se visualizó un intervalo entre 0.5 mg/l y 0.9 mg/l y un valor medio de 0.68 mg/l. La amplitud del intervalo fue muy pequeña, con una desviación estándar de 0.1 mg/l.

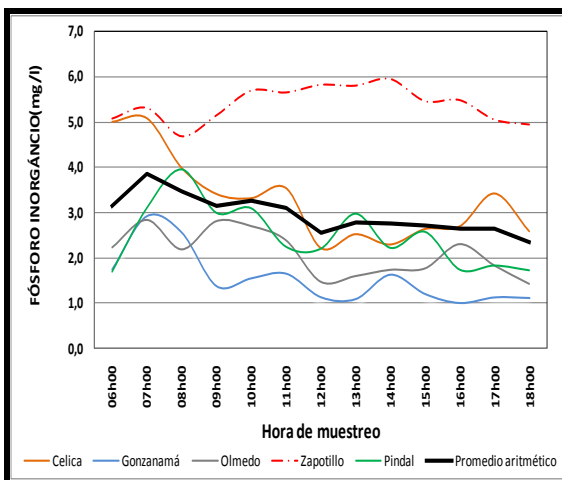


Figura 3.11. Fósforo inorgánico
Fuente: El Autor

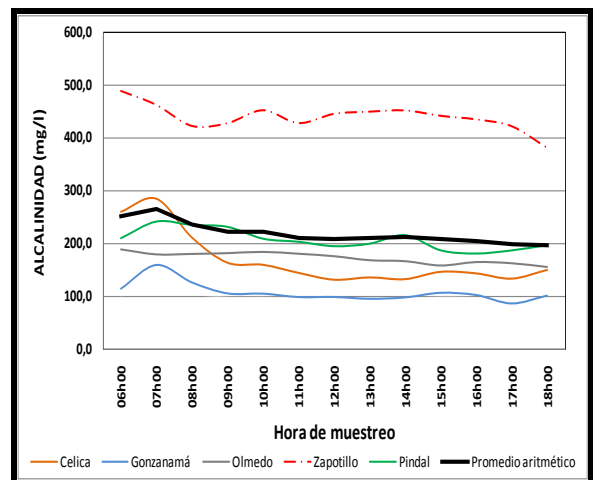


Figura 3.12. Alcalinidad
Fuente: El Autor

En el fósforo inorgánico se visualizó un valor medio de 3.0 mg/l y un intervalo de variación de 2.4 mg/l y 4.2 mg/l. El rango de variación fue bajo, con una desviación estándar de 3.0 mg/l. La Figura 3.11 muestra la evolución temporal del fósforo inorgánico.

La Tabla 3.1 muestra los valores de la media aritmética de la alcalinidad registrado durante el estudio, el cual, osciló entre 196.4 mg/l y 265.1 mg/l con un valor medio de 218.7 mg/l. La desviación estándar de este parámetro fue de 108.4 mg/l. En Zapotillo se observó que existen datos elevados en la media ponderada, con un intervalo de 97.8 y 76.1.

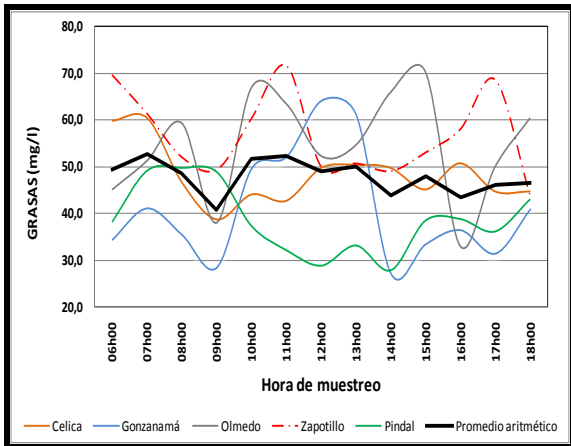


Figura 3.13. Grasas
Fuente: El Autor

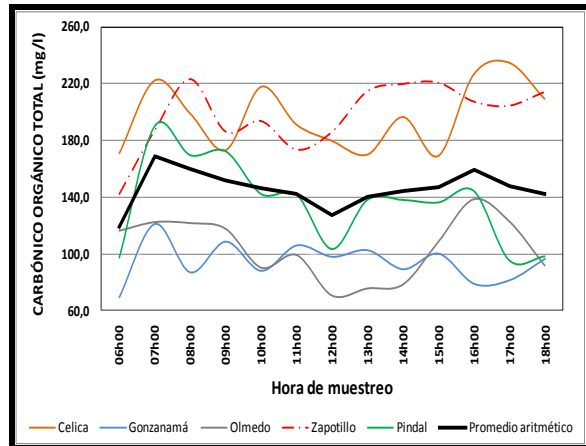


Figura 3.14. Carbono orgánico total
Fuente: El Autor

La Figura 3.13 muestra la evolución temporal de las grasas, de acuerdo al Tabla 15-A del Anexo 1. La Tabla 3.1 indica los valores medios obtenidos durante el período de estudio. Entonces, se obtiene un intervalo de 40.7 mg/l y 52.6 mg/l, con una desviación estándar de 47.9 mg/l.

El análisis del Carbono Orgánico Total, de acuerdo a la Tabla 3.1 tiene un rango de variación de 119.3 mg/l y 168.6 mg/l, y un valor medio de 145.9 mg/l. Además la holgura del rango de variación es pequeña, con una desviación estándar de 35.8 mg/l. La Figura 3.14 muestra la evolución temporal del carbono orgánico total.

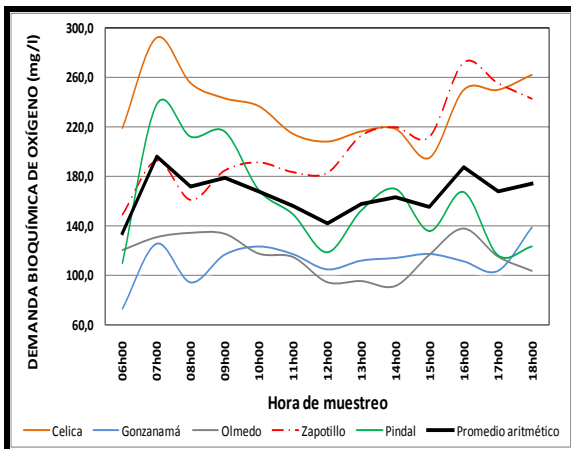


Figura 3.15. Demanda bioquímica de oxígeno
Fuente: El Autor

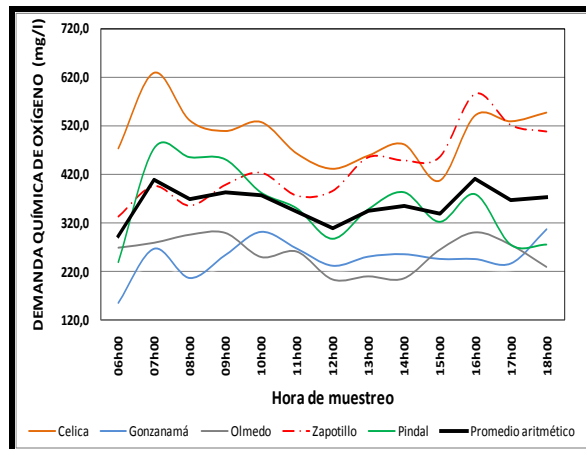


Figura 3.16. Demanda química de oxígeno
Fuente: El Autor

La Figura 3.15 muestra la evolución temporal de la demanda bioquímica de oxígeno. La Tabla 3.1 indica los valores medios obtenidos durante el periodo de estudio, el cual, se observa un intervalo de 134.5 mg/l y 196.2 mg/l, y un valor medio de 165.8 mg/l. La amplitud del intervalo de variación no fue muy elevada, con una desviación estándar de 43.1 mg/l.

La Figura 3.16 muestra la evolución temporal de la DQO del afluente durante el periodo de estudio y en la Tabla 3.1 indica los valores estadísticos. Lo que indica, un promedio de 359.9 mg/l, con un intervalos de 294.5 mg/l y 410.6 mg/l.

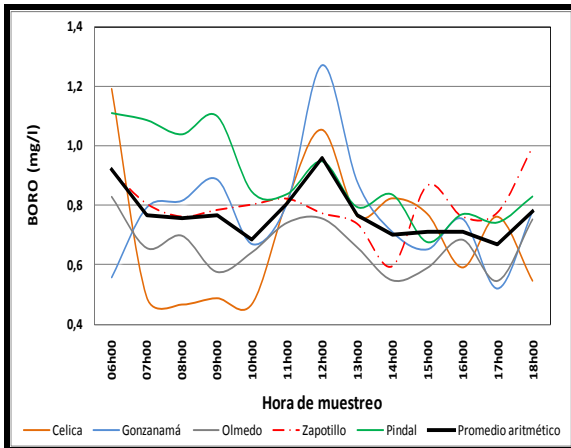


Figura 3.17. Boro
Fuente: El Autor

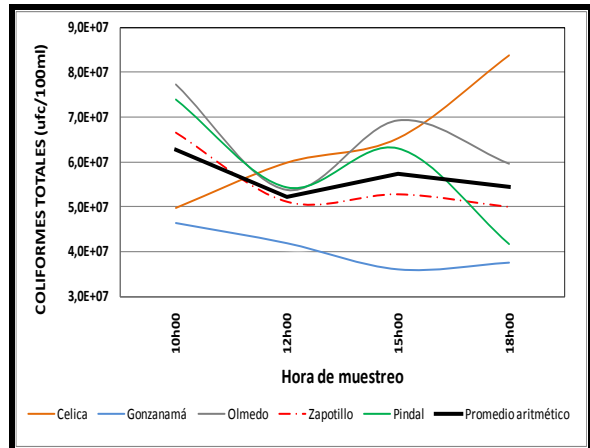


Figura 3.18. Coliformes totales
Fuente: El Autor

La Figura 3.17 muestra la evolución temporal del boro y la Tabla 3.1 indica el resumen de los datos estadísticos, por lo tanto, se obtiene un intervalo de 0.7 mg/l y 1.0 mg/l. El rango de variación es pequeño, con una desviación estándar de 0.04 mg/l y un valor medio de 0.8 mg/l.

La Figura 3.18 muestra la variación temporal de los coliformes totales durante el período de estudio. En la Tabla 3.1 indica los valores estadísticos, el cual, varío de 5.2E+07 ufc/100ml y 6.3E+07 ufc/100ml y un valor medio de 5.7E+07 ufc/100ml. La amplitud del intervalo de variación es pequeña, con una desviación estándar de 6.6 E+07 ufc/100ml.

La Figura 3.19 muestra la evolución temporal de los coliformes fecales, obtenido en la Tabla 21-A del Anexo 1. La Tabla 3.1 indica el resumen de los datos estadísticos, por lo tanto, se obtiene un intervalo de 3.5E+07 ufc/100ml y 4.2E+07 ufc/100ml. El rango de variación es pequeño, con una desviación estándar de 8.0E+07 ufc/100ml.

La Figura 3.20 indica la evolución temporal de Escherichia Coli y en Tabla 3.1 indica los valores estadísticos durante el proceso de estudio, el cual, tiene un intervalo de 2.1E+07 ufc/100ml y 2.5E+07 ufc/100ml y un valor medio de 2.3E+07 ufc/100ml.

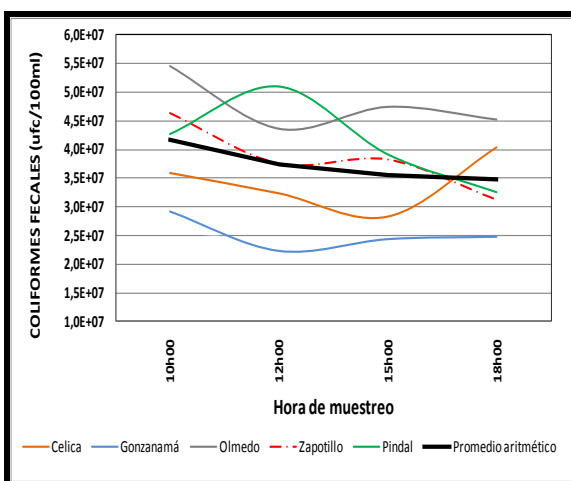


Figura 3.19. Coliformes fecales
Fuente: El Autor

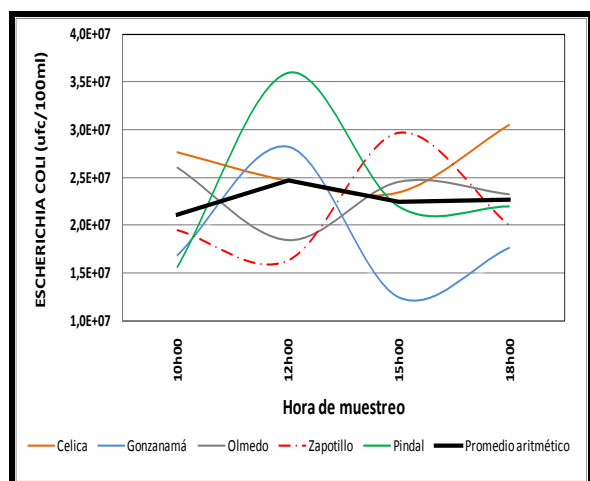


Figura 3.20. Escherichia coli
Fuente: El Autor

3.1.1.2. Parámetros de los metales pesados



La Figura 3.21 muestra la evolución temporal del cobre, obtenidos en la Tabla del anexo 23-A del Anexo 1. En la Tabla 3.1 indica los valores obtenidos durante el proceso de experimento del cobre, el cual, tiene un intervalo entre $2.1E-02$ mg/L a $2.8E-02$ mg/L y una desviación estándar de $2.3E-02$ mg/L. La amplitud del intervalo de variación no fue elevada, con un valor medio de $2.4E-02$ mg/L.

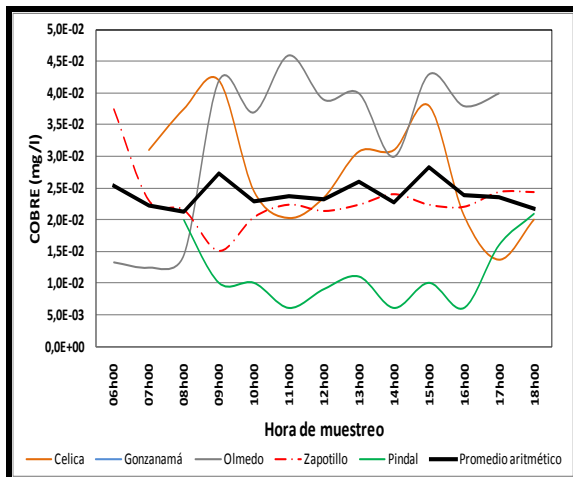


Figura 3.21. Cobre
Fuente: El Autor

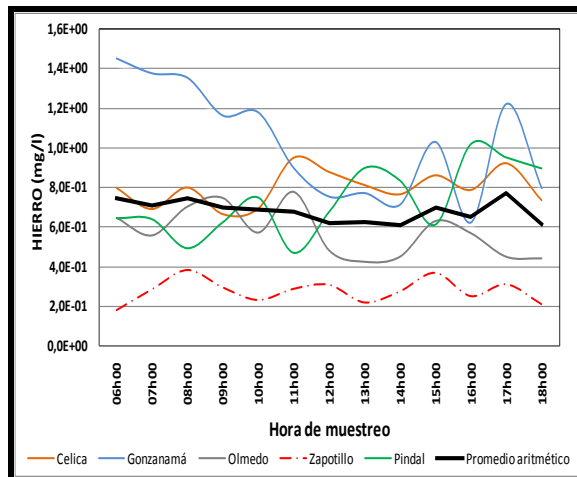


Figura 3.22. Hierro
Fuente: El Autor

La Tabla 3.1 indica los valores obtenidos durante el proceso el periodo estudio del hierro, donde se obtuvo una oscilación de $6.1E-01$ mg/l y $7.7E-01$ mg/l y una desviación estándar de $2.3E-01$ mg/l. La Figura 3.22 indica la variación del hierro.

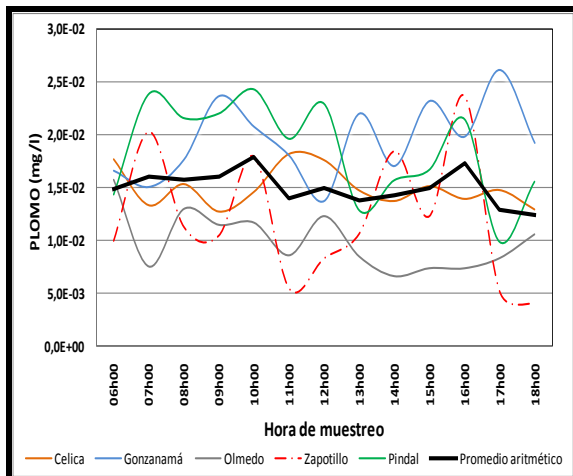


Figura 3.23. Plomo
Fuente: El Autor

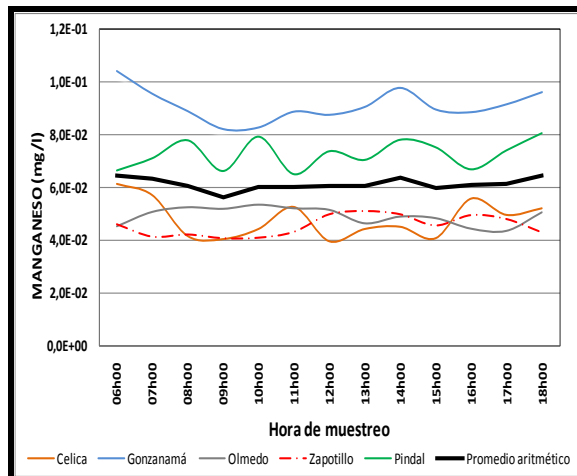


Figura 3.24. Manganese
Fuente: El Autor

La Figura 3.23 indica la evolución temporal del plomo y en la Tabla 3.1 indica los valores obtenidos durante el período de estudio, el cual, se observo un intervalo entre $1.2E-02$ mg/L y $1.8E-02$ mg/L y una desviación estándar de $3.0E-03$ mg/L.

La Tabla 3.1 indica los valores estadísticos del manganeso, donde se obtuvo una oscilación de $5.6E-02$ mg/L y $6.5E-02$ mg/l y una desviación estándar de $6.1E-02$ mg/l.

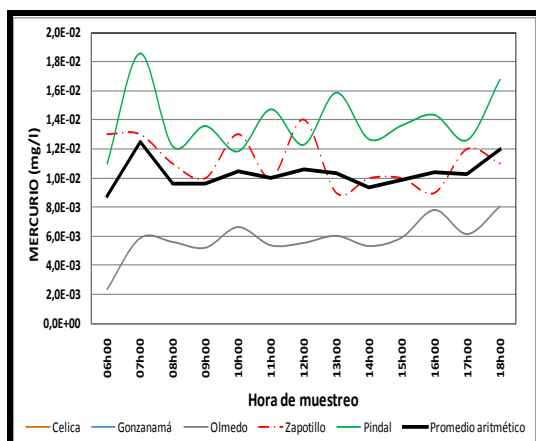


Figura 3.25. Mercurio
Fuente: El Autor

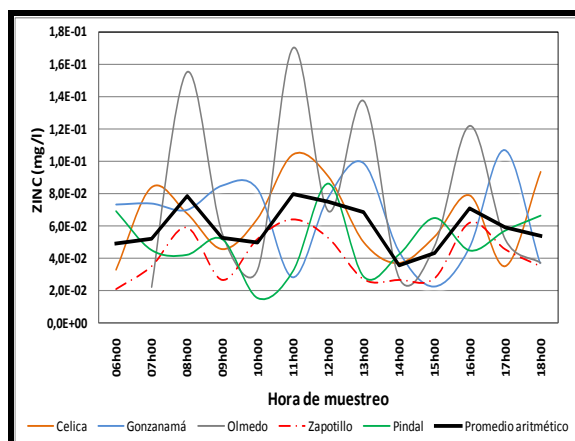


Figura 3.26. Zinc
Fuente: El Autor

La Figura 3.25 muestra la evolución temporal del mercurio, obtenidos en la Tabla del anexo 27-A del Anexo 1. La Tabla 3.1 indica los valores obtenidos estadísticos, donde se obtuvo un intervalo entre $8.8E-03$ mg/L y $1.2E-02$ mg/l y una desviación estándar de $3.4E-03$ mg/l.

La Tabla 3.1 indica los valores obtenidos durante el periodo de estudio del zinc, donde se obtuvo una oscilación de $3.6E-02$ mg/L y $8.0E-02$ mg/l y una desviación estándar de $8.2E-03$ mg/l.

3.1.1.3. Parámetro de los pesticidas

Los pesticidas organoclorados y organofosforados tienen un intervalo de variación baja con relación a los límites máximos permisibles para descarga de cuerpos receptores de agua dulce.

3.1.2. Caracterización del suelo

El análisis e interpretación de los resultados de las características del terreno y del suelo, se realizó mediante tablas o gráficas de cada una de los parámetros.

3.1.2.1. Características del terreno

En base a los criterios establecidos en la Tabla 2.4, se realizó el análisis de cada una de las ciudades. Por lo tanto, en Gonzanamá y Pindal se observó una pendiente menor al 5 por ciento, correspondiente a una topografía suave; mientras que en Celica y Zapotillo se determinó un relieve moderado, con pendientes que varían del 5 al 10 por ciento, y, por último en Olmedo se observó una pendiente pronunciada entre un 10 y 20 por ciento.

Tabla 3.2. Pendiente del terreno donde se realizó el estudio para los sistemas de tratamiento natural.

Celica	Gonzanamá	Olmedo	Zapotillo	Pindal
6-8 %	< 5%	10-20 %	5-10%	< 5%

Fuente: El Autor



En base a la descripción expuesta en la Tabla 2.5, se determinó el siguiente tipo de suelo, en la ciudad de Zapotillo se obtuvo una textura gruesa, con un tipo de suelo arenoso; suelo de textura media, es decir, suelo margoso en la ciudad Olmedo; mientras que en las ciudades de Celica, Gonzanamá y Pindal se logró detallar un suelo de textura fina. En la Tabla 3.3 indica el resumen de los tipos de suelo.

Tabla 3.3. Tipo del suelo donde se realizó el estudio para los sistemas de depuración.

Celica	Gonzanamá	Olmedo	Zapotillo	Pindal
Limoso y arcilloso	Arcilloso, impermeable	Margoso	Arenoso	Arcilloso, impermeable

Fuente: El Autor



3.2.2.2. Perfil estratigráfico

El perfil estratigráfico de las ciudades de estudio, son diferentes tanto en el tipo de suelo, como en el número de estratos y su espesor. La clasificación se realizó de acuerdo a las normas SUCS “Sistema unificado de clasificación de suelos” y AASHTO “American Association of State Highway and Transportation Officials”. Para mayor detalle del perfil estratigráfico ver el Anexo 2.

La Figura 3.27 muestra el **perfil estratigráfico de Zapotillo**, el primer estrato se clasifico como GC, arcilla de moderada plasticidad, descrita como una arcilla de color café oscuro de consistencia blanda. Dicho estrato se extiende desde los 0 cm hasta 100 cm.

El siguiente estrato tiene las mismas características del primer estrato y se extiende desde los 100 cm hasta 170 cm, según el perfil, su reporte lo define como de 70 cm de espesor. Este estrato se clasifica igualmente como GC. El nivel freático se encontró a partir de 170 cm de profundidad.

MUESTRA	PROF. (m)	PERFIL	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	SUCS	ASSHTO
1	0.50		Grava arcillosa con arena de color café oscuro de consistencia blanda, de una moderada plasticidad	GC	A - 2 - 6
2	1.00		Grava arcillosa con arena de color café claro de consistencia blanda, de una moderada plasticidad	GC	A - 2 - 6
	1.70		A esta altura se encontró el nivel freático		

Figura 3.27. Perfil estratigráfico de Zapotillo

Fuente: Muñoz, Aguirre. 2010.

Tal como se observa en la Figura 3.28 el **perfil estratigráfico de Olmedo**, todos los estratos se clasifican como GC, pero de diferentes características. En el estrato superior, de espesor menor, suelo arcilloso con gravilla y arena de comportamiento excelente, y se describe un suelo orgánico de color café oscuro, este estrato se extiende desde los 0 cm hasta 60 cm de profundidad.







MUESTRA	PROF. (m)	PERFIL	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	SUCS	ASSHTO
	0.00---		Capa vegetal		
1			Suelo orgánico debido a su color café oscuro. La Norma indica que es un suelo limoso o arcilloso gravilla y arena comportamiento general excelente o bueno.	GC	A - 2 - 6
2	0.60---		Suelo café amarillento. La Norma indica que es un suelo limoso o arcilloso gravilla y arena comportamiento general excelente o bueno.	GC	A - 2 - 4
	1.60---		Suelo café amarillento de similares características al estrato anterior. La Norma indica que es un suelo limoso o arcilloso gravilla y arena comportamiento general excelente o bueno.	GC	A - 2 - 4
	3.80---		Nivel Freático		

Figura 3.28. Perfil estratigráfico de Olmedo

Fuente: Quille, Coronel. 2010.

El segundo y tercer estrato se extiende desde 60 cm hasta 380 cm, según el perfil, su reporte lo define como de 320 cm de espesor. Estos estratos se describen como una arcilla limosa de color café amarillento. Además, se encontró el nivel freático a partir de los 380 cm de profundidad.

La Figura 3.29 muestra el **perfil estratigráfico de Celica**. El primer estrato, se lo clasifico OH, arcilla de elevada plasticidad, descrita como una arcilla de color café oscuro de consistencia blanda y de comprensibilidad elevada en el estrato limo orgánico. Dicho estrato se extiende desde la capa superficial hasta 40 cm, según el perfil.

El siguiente estrato se extiende desde 40cm hasta 70 cm, según el perfil, su reporte lo define como de 30 cm de espesor. Este estrato se clasifica como CH, arcilla de consistencia media, color amarillo y se describe como un limo inorgánico de elevada compresibilidad.

El tercer estrato se extiende desde 70 cm hasta 295 cm de profundidad. Lo clasifica OH, arcilla de color rojo de consistencia muy firme, y la describe como un limo orgánico de elevada compresibilidad. Este estrato tiene un espesor es de 225cm.

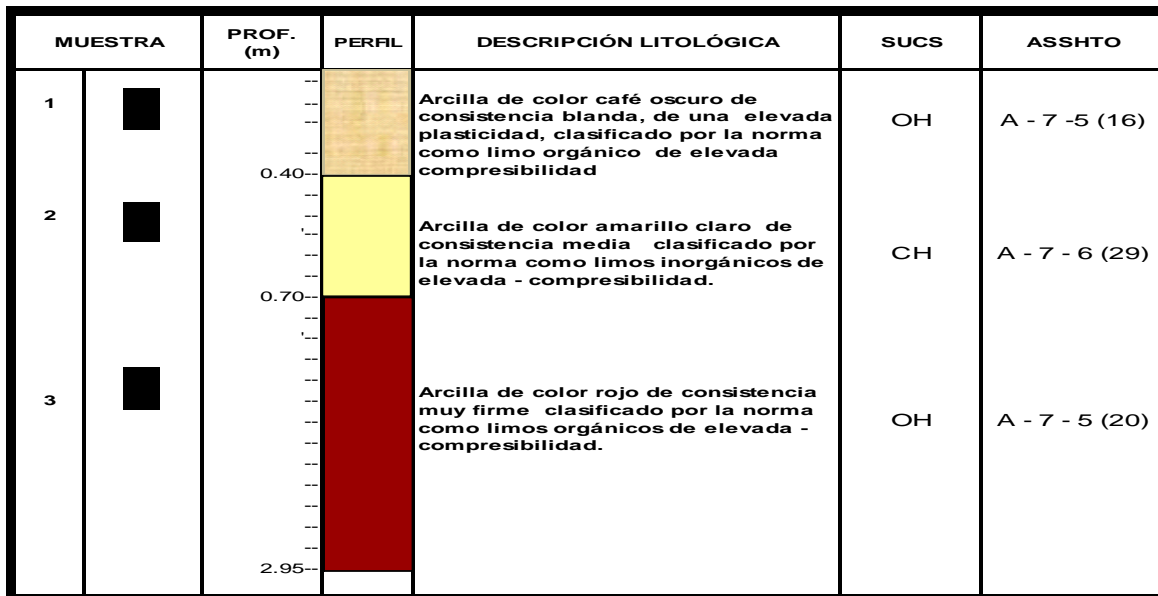


Figura 3.29. Perfil estratigráfico de Celica

Fuente: Catillo, Guerrero. 2010

La Figura 3.30 detalla el **perfil estratigráfico de Gonzanamá**, los tres primeros estratos se clasifica como CH, pero tiene diferentes características. En el primer estrato, se extiende desde la capa superficial hasta 40 cm y se la describe como arcilla orgánica, color café obscuro. Además tiene un suelo denso arenoso.

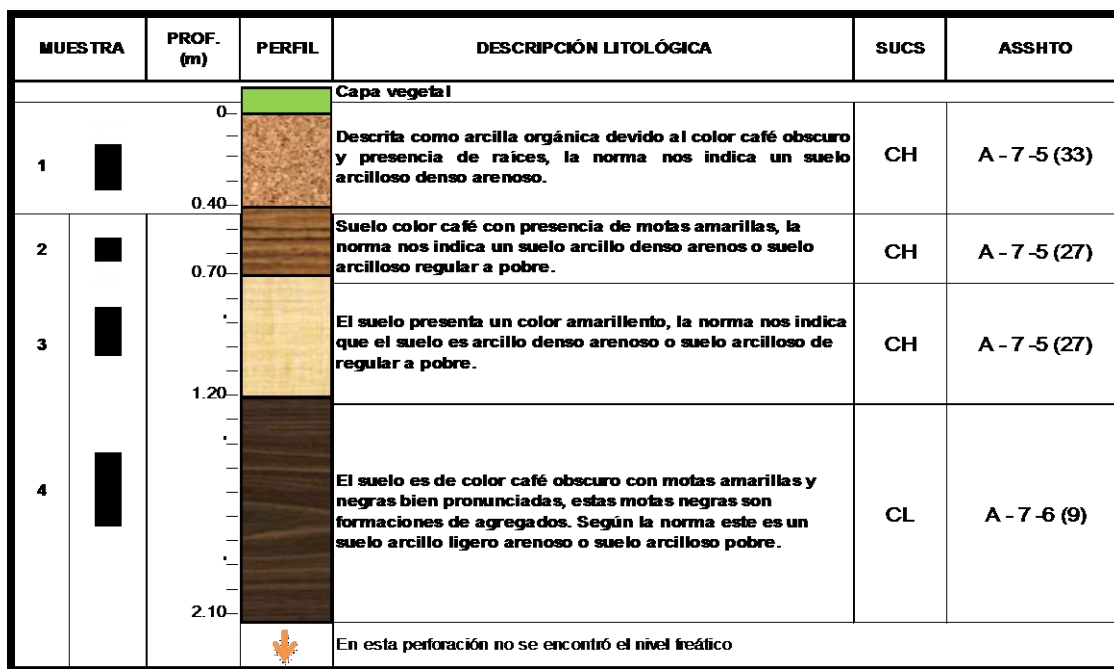


Figura 3.30. Perfil estratigráfico de Gonzanamá

Fuente: Bermeo, Santim. 2010

El segundo estrato se extiende desde 40cm hasta 70 cm, su reporte lo define como 30 cm de espesor. Se detalla un suelo de color café con presencia de motas amarillas y se describe como una



arcilla densa arenoso regularmente pobre y es equivalente al tercer estrato del suelo, la diferencia es el que tiene un color amarillento y el espesor es de 40 cm. El tercer estrato se extiende de 70 has 120 cm.

En el último estrato de espesor mayor a todas las muestras se clasificó como un CL, suelo arcilloso regularmente pobre, y se describe como una arcilla de color café oscuro con motas amarillas y negras bien pronunciadas, estas motas negras son formaciones de agregados.

Tal como se observa en la Figura 3.31 el **perfil estratigráfico de Pindal**, todos los estratos se clasifican como CL, arcilla ligero arenoso regularmente pobre, color café oscuro, la profundidad total de ambos estratos es de 70 cm.

MUESTRA	PROF. (m)	PERFIL	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	SUCS	ASSHTO
			Capa vegetal		
1	0 0.30		El suelo es de color café oscuro. Según la norma este es un suelo arcillo ligero arenoso o suelo arcilloso pobre.	CL	A - 7 - 6 (14)
2	0.70		El suelo es de color café oscuro. Según la norma este es un suelo arcillo ligero arenoso o suelo arcilloso pobre.	CL	A - 7 - 6 (20)
			En esta perforación no se encontró el nivel freático		

Figura 3.31. Perfil estratigráfico de Pindal
Fuente: Villa, Cuenca. 2010

3.2.2.3. Características químicas

La Tabla 3.4 detalla los resultados de los ensayos de las características químicas del suelo en cada zona de estudio, realizados por el Laboratorio de suelos de la Agencia Ecuatoriana de aseguramiento de la calidad del Agro AGROCALIDAD – estación Tumbaco. Los respectivos resultados se muestran por cada estrato encontrado hasta llegar al nivel freático. Caso contrario, si no se encontró el nivel freático se debe obtener las muestras hasta 3 metros de profundidad, adecuada para nuestra investigación.

Tabla 3.4. Resultados de los ensayos de las características químicas del suelo.

CANTÓN		CELICA			GONZANAMÁ			OLMEDO			ZAPOTILLO		PINDAL	
Variable	Unidad	Estrato												
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	1	2
Profundidad	m	0 a 0.40	0.40 a 0.70	0.70 a 1.50	0 a 0.70	0.7 a 1.2	1.2 a 1.8	0 a 0.60	0.60 a 1.60	1.60 a 3.50	0 a 0.30	0.30 a 0.70	0 a 0.30	0.30 a 0.70



pH	Adimensional	4.08	7.01	6.66	6.44	6.08	6.15	6.07	6.5	6.12	7.93	8.1	7.19	6.89
M.O.	%	0.24	0.04	0.03	1.54	0.28	0.33	1.57	0.10	0.64	0.48	0.65	1.57	2.49
N Total	%	0.24	0.04	vestg	0.08	0.01	0.02	0.08	vestg	0.03	0.02	0.03	0.08	0.12
P	PPM	1.8	vestg	2.1	1.7	1.8	1.7	2.4	vestg	vestg	2.8	vestg	11.3	14.9
K	cmol/kg	0.25	0.20	0.20	0.25	0.15	0.20	0.15	0.25	0.20	0.20	0.15	0.30	0.20
Ca	cmol/kg	11.5	8	9	11.8	8.4	10.65	9.2	2.65	4	9.35	7.85	2.14	14.9
Mg	cmol/kg	3.29	3.21	2.8	32.8	7	15.64	3.05	2.30	1.81	2.14	0.91	6	4.03
Fe	PPM	113.8	49	53.8	36.7	28.6	32.4	42.8	28.8	26	22.8	13	15.1	53.7
Mn	PPM	6	15.8	20.6	7	9.4	9	6	4.5	7.7	2.8	3.5	4.7	4.8
Cu	PPM	9.3	5	6.2	4.2	5	5	12.4	5.4	9.4	3.7	3	2.4	6.3
Zn	PPM	5.8	2	2.2	2.8	4	3.6	2.6	3.6	2.8	1.6	2.3	2.1	5.7
B	PPM	0.16	0.16	0.20	0.18	0.18	0.20	0.25	0.16	0.31	0.29	0.20	0.62	0.20
C.I.C	Meq/100	35	30.2	29	26.7	28.3	28.3	21	20.9	17.9	20.4	18	35.2	32
C.E.	dS/m	0.22	0.15	0.84	0.14	0.13	0.09	0.25	0.16	0.31	0.26	0.19	0.32	0.17

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.

En base a los criterios establecidos en la Tabla 2.6, se realizó el análisis del pH. Por lo tanto, se obtiene un pH prácticamente neutro en los sitio de Celica y Pindal, mientras que en Gonzanamá y Olmedo se detalla un pH ligeramente ácido, y, en la zona de la ciudad de Zapotillo se describe un pH alcalino. En la Figura 3.32 muestra la evolución temporal del pH.

La Figura 3.33 detalla la variación de la materia orgánica. En base a la interpretación de los rangos de concentración química de los suelos. En la Tabla 2.7, se realizó el análisis de cada zona de estudio. En la ciudad de Celica, Gonzanamá, Olmedo y Zapotillo se observó un bajo contenido de la materia orgánica, y en Pindal se obtuvo una concentración media.

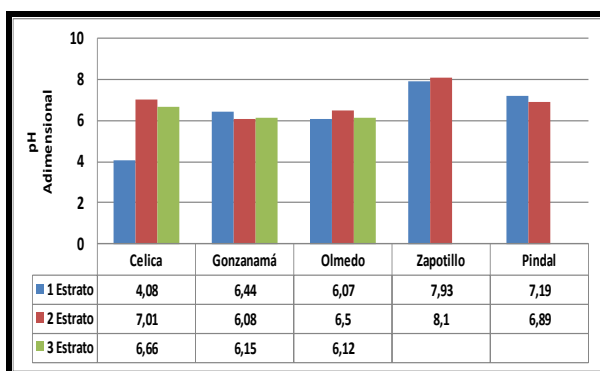


Figura 3.32. Variaciones del pH
Fuente: El Autor

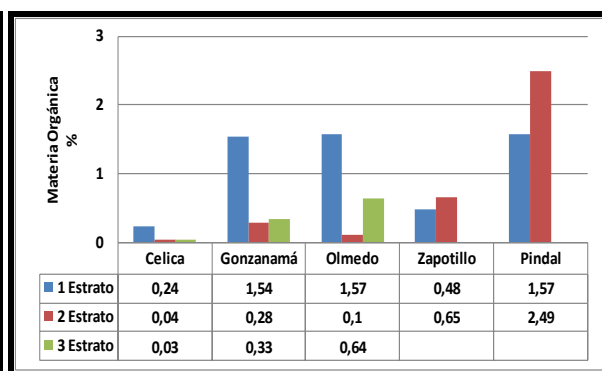


Figura 3.33. Materia orgánica
Fuente: El Autor



En base a la Tabla 2.7 indican las concentraciones de los componentes químicos del suelo. Por lo tanto, se obtuvo bajas concentraciones del nitrógeno total en todos los estratos de cada una de las ciudades de estudio.

La Figura 3.35 muestra la evolución temporal del fósforo en el suelo, las concentraciones durante esta fase de estudio fueron bajas en los estratos de Celica, Gonzanamá, Olmedo y Zapotillo, mientras que en Pindal existe una concentración media.

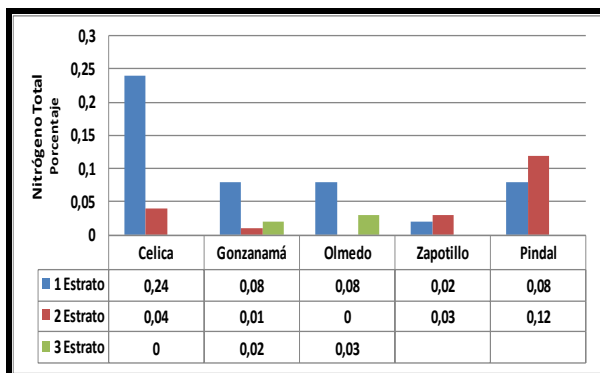


Figura 3.34. Nitrógeno total
 Fuente: El Autor

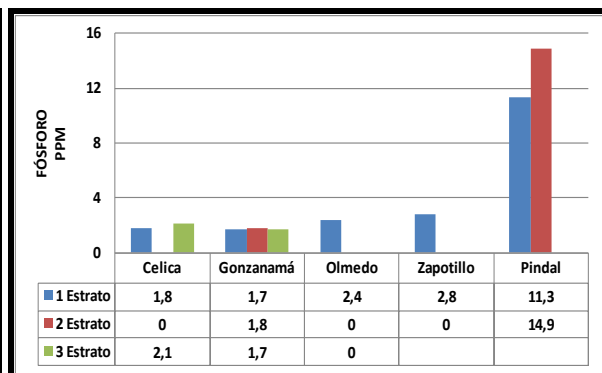


Figura 3.35. Fósforo
 Fuente: El Autor

Celica, Gonzanamá, Olmedo y Pindal tienen una concentración media de potasio y en la ciudad de Pindal existe una concentración débil. En la Figura 3.36 se muestra la variación de cada uno de los estratos en la zona de estudio.

La Figura 3.37 muestra la evolución temporal del calcio en el suelo, las concentraciones durante esta fase de estudio fueron elevadas en todos los estratos de cada una de las ciudades. Igualmente ocurre con el parámetro del magnesio.

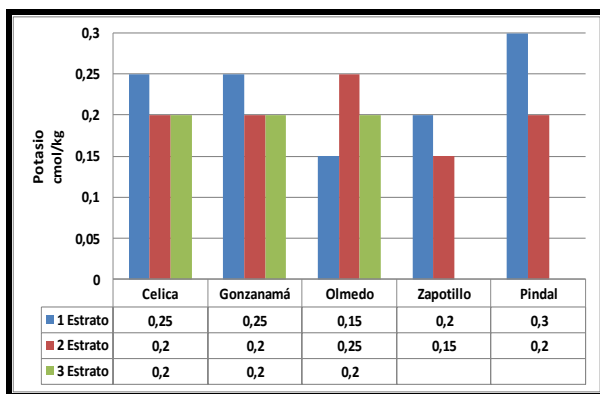


Figura 3.36. Potasio
 Fuente: El Autor

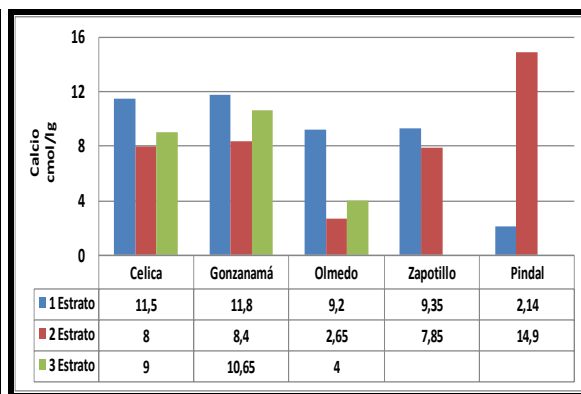


Figura 3.37. Calcio
 Fuente: El Autor

La Figura 3.38 muestra la evolución temporal del magnesio; en la ciudad de Celica y Pindal existe una elevada concentración del hierro; en Gonzanamá y Olmedo se detalla una concentración media y por último en Zapotillo existe una concentración débil o baja de hierro.



Los valores observados en la Figura 3.40 detallan una concentración media de manganeso en los estratos de Celica, Gonzanamá y Olmedo, mientras que en Zapotillo y Pindal existen bajas oscilaciones.

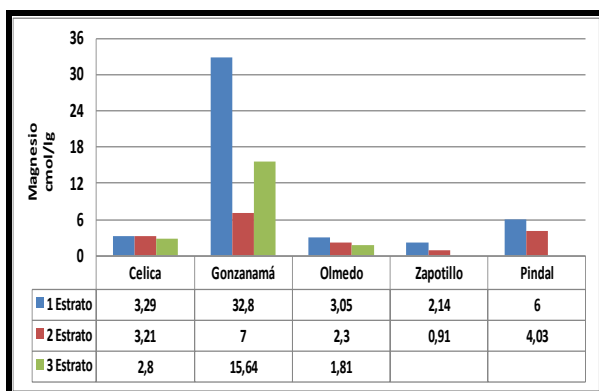


Figura 3.38. Magnesio
 Fuente: El Autor

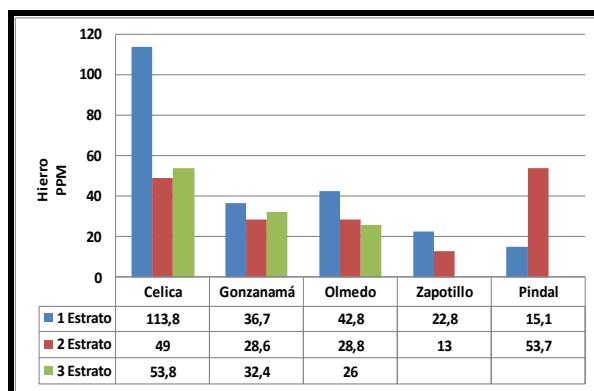


Figura 3.39. Hierro
 Fuente: El Autor

La Figura 3.41 muestra la evolución temporal del cobre. Existen elevadas concentraciones de cobre en las zonas de Celica, Gonzanamá, Olmedo y Pindal. Mientras que Zapotillo tiene una concentración media.

Los valores observados en la Figura 3.42 detallan bajas oscilaciones de zinc en la ciudad Celica, Gonzanamá, Olmedo y Zapotillo. Mientras que en ciudad Pindal existe una concentración media.

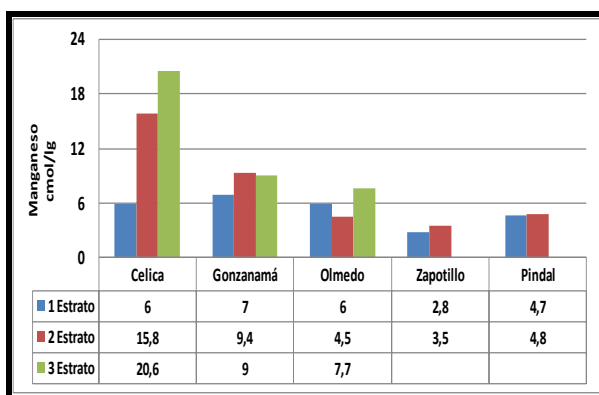


Figura 3.40. Manganeso
 Fuente: El Autor

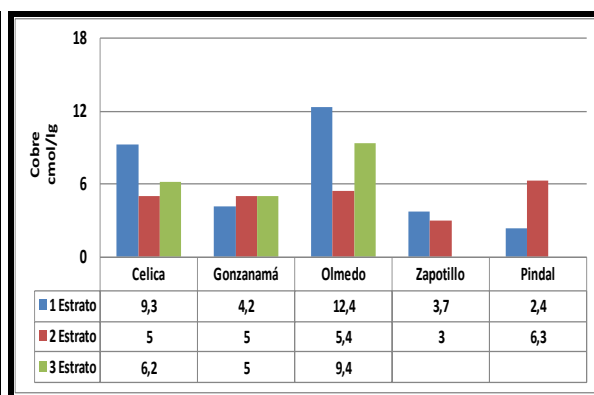


Figura 3.41. Cobre
 Fuente: El Autor

La Figura 3.43 muestra la variación del boro, las concentraciones durante esta fase de estudio fueron bajas en todos los estratos de cada una de las ciudades.

En base a los criterios establecidos en la Tabla 2.8, se realizó el análisis de la conductividad eléctrica. Durante esta fase de estudio se vieron bajas concentraciones, lo que nos indica que son suelos no salinos. En la Figura 3.44 muestra la evolución temporal de la conductividad eléctrica.

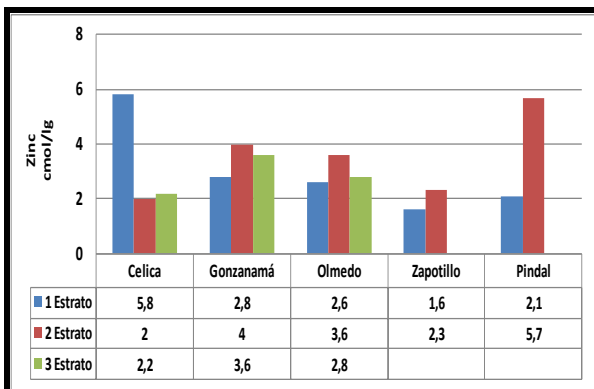


Figura 3.42. Zinc
Fuente: El Autor

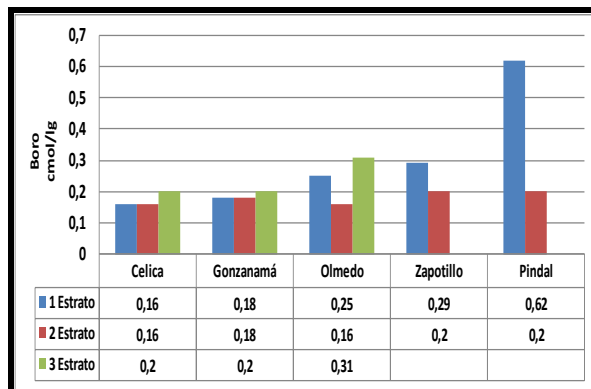


Figura 3.43. Boro
Fuente: El Autor

En base a la descripción expuesta en la Tabla 2.9, se realiza el análisis de la capacidad de intercambio catiónico. En todos los estratos del suelo existen elevadas oscilaciones, por tanto, es ideal para absorber amoníaco durante la fase de inundación del agua residual.

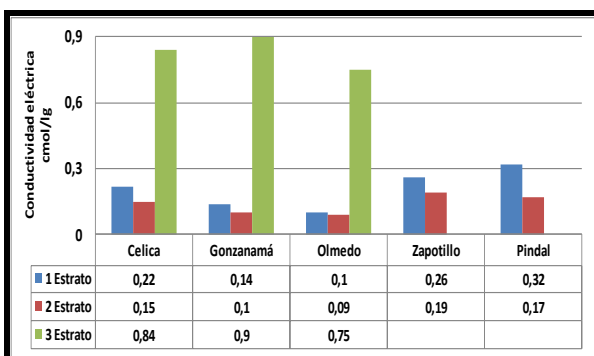


Figura 3.44. Conductividad eléctrica
Fuente: El Autor

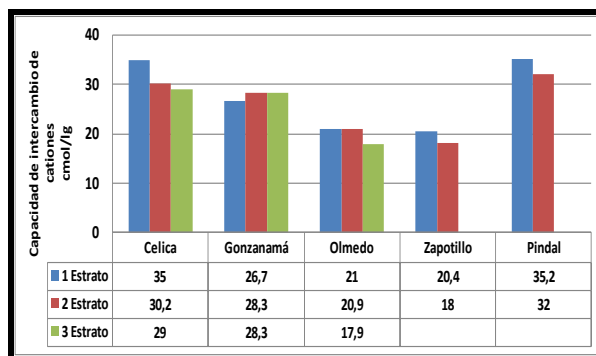


Figura 3.45. Capacidad de intercambio de cationes
Fuente: El Autor

3.2.2.3. Características hidráulicas

En base a los criterios establecidos en la Tabla 2.10, se realizó el análisis la la clase de permeabilidad para suelos no saturados. En Celica, Gonzanamá y Pindal se observó una capacidad de infiltración baja, con valores inferiores a 5 milímetros por hora; en Olmedo se determinó una permeabilidad moderada, con un valor de 19,8 milímetros por hora; mientras que en Zapotillo se logró una absorción del agua de forma rápida, con una velocidad de infiltración de 585 milímetros por hora.

Tabla 3.5. Resumen de la permeabilidad del suelo.

	Celica	Gonzanamá	Olmedo	Zapotillo	Pindal
	4.1 mm/h	3.25 mm/h	19.8 mm/h	585 mm/h	1.01 mm/h

Fuente: El Autor



3.2.3. Características Climatológicas

La tabla 3.6 detalla el resumen de las precipitaciones medias mensuales y en la Figura 3.46 muestra las variaciones, por lo tanto, en los meses de diciembre hasta mayo existen lluvias constantes, esto ocurre en la época de invierno, mientras que en los meses de junio hasta noviembre son relativamente secos, es temporada de verano. Además, en los dos últimos meses del año se obtiene el comienzo del crecimiento de las lluvias.

Tabla 3.6. Precipitaciones medias mensuales.

Cabeceras Cantonales	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
	Precipitación (mm/mes)											
Celica	58.4	52.3	60.3	58.4	62.2	59.9	62.2	62.0	60.6	62.6	61.5	60.8
Gonzanamá	63.6	57.5	63.6	62.6	65.9	63.0	65.0	66.1	64.9	66.8	64.9	66.2
Olmedo	23.0	22.8	22.6	22.8	22.9	23.0	23.0	23.3	23.4	23.3	23.2	23.1
Zapotillo	150.1	136.9	148.4	139.7	134.4	106.4	99.0	101.6	115.6	121.3	130.8	145.7
Pindal	24.2	24.5	24.3	24.2	23.7	22.7	22.3	22.9	23.3	23.4	23.8	24.1

Fuente: El Autor

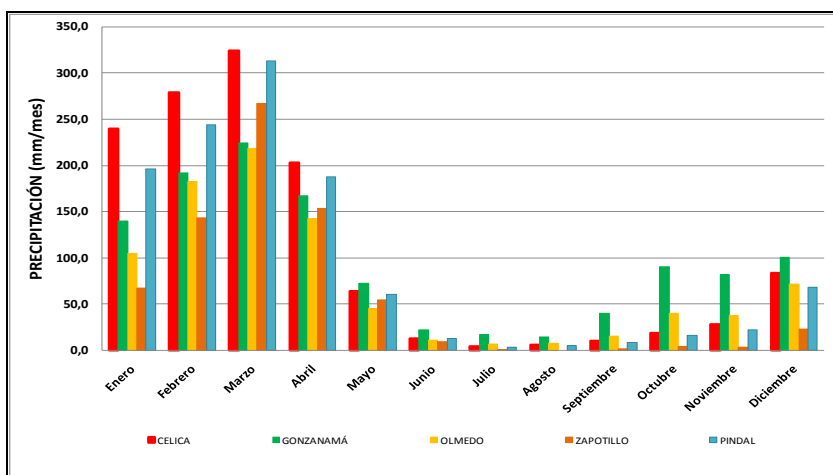


Figura 3.46. Precipitación media mensual

Fuente: El Autor

Los datos obtenidos en la Tabla 3.7 presenta la temperatura media mensual. La Figura 3.47 indica la variación de la misma, expresado en grados centígrados. Las consecuencias de la temperatura dependen de la latitud, altitud, relieve, etc. de cada ciudad.



Tabla 3.7. Temperaturas medias mensuales.

Cabeceras Cantonales	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
	Temperatura media °C											
Celica	14.8	14.7	15.2	15.3	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.6	15.6	15.1
Gonzanamá	16.5	16.6	16.7	16.9	17.2	17.1	17.1	17.2	17.2	17.1	17.0	16.9
Olmedo	23.0	22.8	22.6	22.8	22.9	23.0	23.0	23.3	23.4	23.3	23.2	23.1
Zapotillo	27.2	27.5	27.3	27.0	26.3	24.9	24.2	24.3	25.4	25.4	26.1	26.7
Pindal	24.2	24.5	24.3	24.2	23.7	22.7	22.3	22.9	23.3	23.4	23.8	24.1

Fuente: El Autor

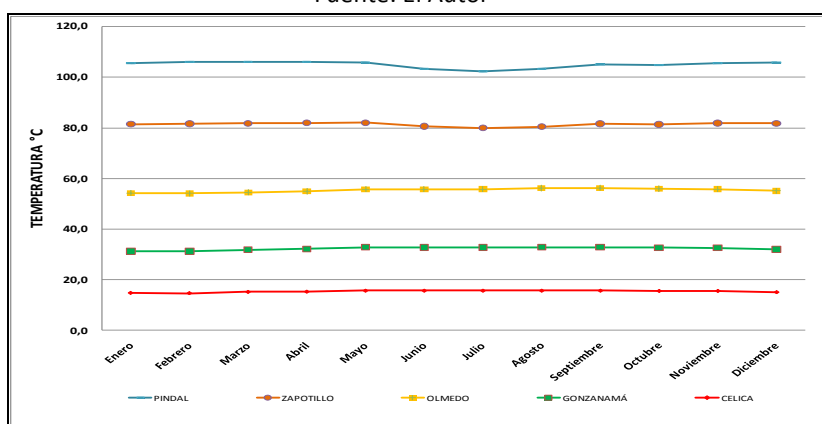


Figura 3.47. Variación de temperatura media mensual

Fuente: El Autor

Los datos de la Tabla 3.8 presentan las velocidades de los vientos medios mensuales y en la Figura 3.48 se muestra las variaciones de los vientos.

Tabla 3.8. Vientos medios mensuales.

Cabeceras cantonales	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
	Vientos (m/s)											
Celica	3.2	2.9	3.3	3.1	4.3	4.5	4.2	4.9	4.6	4.6	4.7	3.9
Gonzanamá	0.9	1.0	0.9	1.1	1.2	1.9	2.1	2.6	1.6	1.4	1.1	0.9
Olmedo	3.2	2.9	3.3	3.1	4.3	4.5	4.2	4.9	4.6	4.6	4.7	3.9
Zapotillo	3.7	3.0	2.7	2.2	3.0	3.0	3.8	4.4	5.0	5.6	6.3	5.7
Pindal	3.5	3.5	3.5	3.5	3.4	3.3	3.2	3.3	3.4	3.4	3.4	3.5

Fuente: El Autor

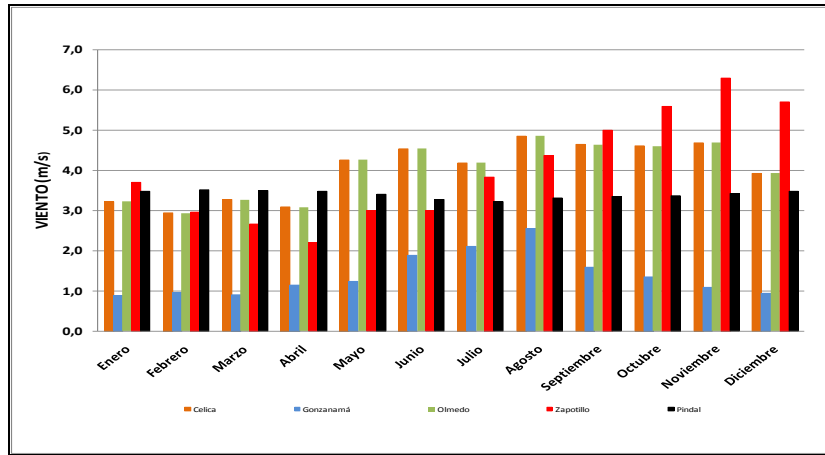


Figura 3.48. Vientos
Fuente: El Autor



La Tabla 3.9 se presenta los datos mensuales de evapotranspiración potencial (ETP) y en la Figura 3.49 muestra las variaciones de la misma, expresado en milímetros por mes.

Tabla 3.9. Evapotranspiración media mensual.

Cabeceras Cantonales	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
	Evapotranspiración (mm/mes)											
Celica	58.4	52.3	60.3	58.4	62.2	59.9	62.2	62.0	60.6	62.6	61.5	60.8
Gonzanamá	63.6	57.5	63.6	62.6	65.9	63.0	65.0	66.1	64.9	66.8	64.9	66.2
Olmedo	23.0	22.8	22.6	22.8	22.9	23.0	23.0	23.3	23.4	23.3	23.2	23.1
Zapotillo	150.1	136.9	148.4	139.7	134.4	106.4	99.0	101.6	115.6	121.3	130.8	145.7
Pindal	24.2	24.5	24.3	24.2	23.7	22.7	22.3	22.9	23.3	23.4	23.8	24.1

Fuente: El Autor

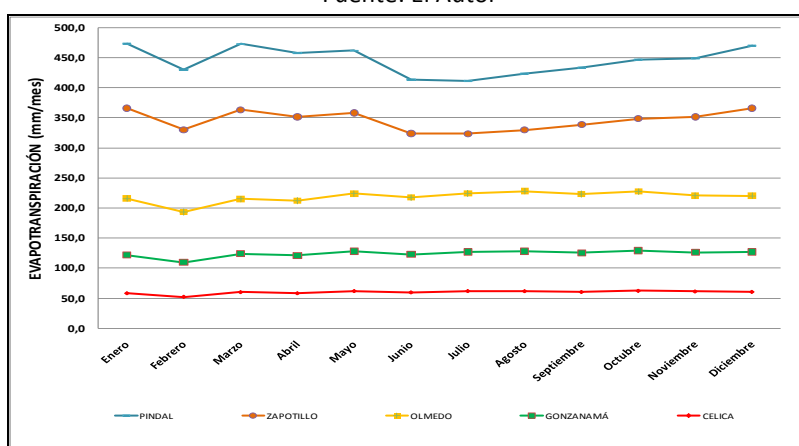


Figura 3.49. Variación de evapotranspiración media mensual

Fuente: El Autor

La evapotranspiración potencial de un sitio, donde se tiene registro de precipitaciones permite establecer su balance hídrico. Entonces, el “exceso” de agua es un promedio de todos los meses del año, cabe recalcar que en la temporada de invierno es donde se produce el exceso de agua. Mientras que el “déficit” de humedad es una promedio durante todo el año, en la época de verano es donde existen valores de déficit de agua. Para mayor detalle ver en el anexo 3.

Tabla 3.10. Balance hídrico en las cabeceras cantonales de estudio.

Cabeceras Cantonales	Precipitación (mm/mes)	Evapotranspiración (mm/mes)	Exceso de agua	Déficit o sequía
Celica	105.97	60.10	61.69	-15.83
Gonzanamá	96.73	61.86	38.13	-5.55
Olmedo	73.45	94.27	10.45	-19.77
Zapotillo	60.48	128.52	3.22	-70.23
Pindal	94.59	99.28	26.57	-18.48



Fuente: El Autor

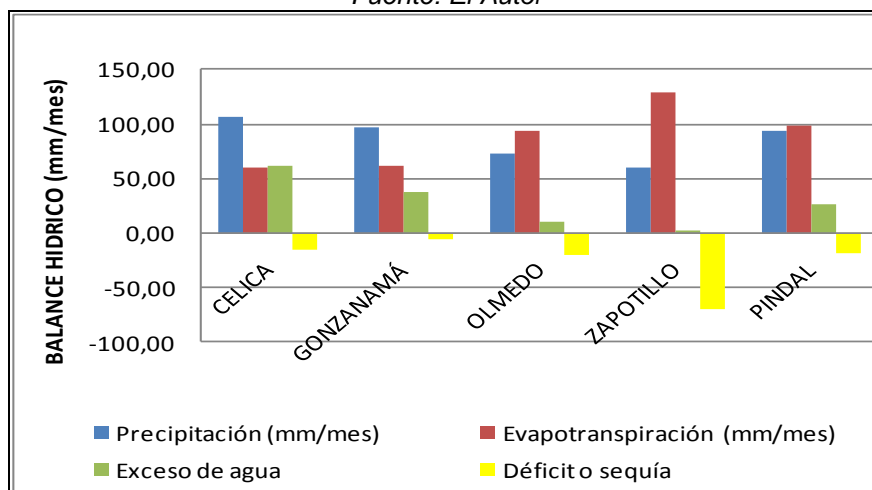


Figura 3.50. Balance hídrico de las cabeceras cantonales de estudio

Fuente: El Autor

En base a los datos obtenidos en la Tabla 3.10, se analizó cada uno de los parámetros del balance hídrico. Por lo tanto, en Celica se obtiene una precipitación de 105.97 mm/mes y una evapotranspiración de 60 mm/mes. Además existe un déficit de agua de -15mm/mes desde julio hasta noviembre y el exceso de agua se visualizó desde enero hasta mayo, con un valor de 61.10mm/mes.

En la ciudad de Gonzanamá se obtiene un déficit de agua en los meses de agosto y septiembre con un valor promedio de -5,55 mm/mes durante todo el año y un exceso de 38.14 mm/mes desde enero hasta abril.

Mediante el análisis de los resultados del balance hídrico se obtuvo un déficit de agua en los meses de junio hasta enero, con un valor promedio de -70.23 mm/mes en la ciudad de Zapotillo, este efecto se debe a las condiciones climáticas de la zona como bajas precipitaciones, elevada evapotranspiración y poco exceso de agua.

En Pindal se obtuvo una precipitación de 94.59 mm/mes y una evapotranspiración de 99.28 mm/mes. Además existe un déficit de agua de -18.48 mm/mes desde junio hasta noviembre y el exceso de agua ocurrió desde febrero hasta abril, con un valor de 26.57 mm/mes.



Tabla 3.11. Zonificación Climática de Thornthwaite.

Cabeceras Cantonales	COEFICIENTES					Clasificación	Descripción de clasificación
	S	D	n	Im	ETP		
Celica	740.2	189.9	721.3	86.8	60.1	B ₄ , B' ₁	Húmedo, Mesotérmico.
Gonzanamá	457	66.9	770.2	54.2	64.2	B ₂ , B' ₁	Húmedo, Mesotérmico
Olmedo	87.4	237.2	1131.2	-4.9	94.3	C ₁ , B' ₃	Subhúmedo seco, Mesotérmico
Zapotillo	38.6	842.9	1530.2	-30.5	127.5	D, A'	Semiárido, Mesotérmico
Pindal	318.8	221.8	1191.3	15.6	99.3	C ₂ , B' ₃	Subhúmedo, Mesotérmico

Fuente: El Autor

La Tabla 3.11 muestra la zonificación climática de Thornthwaite. Por lo tanto, se describe un clima húmedo, mesotérmico en las ciudades de Celica y Gonzanamá. Mientras que en Pindal se tiene un clima subhúmedo, mesotérmico.

El siguiente tipo de clima que se determinó es subhúmedo seco en las ciudades de Olmedo y en Zapotillo se obtiene un clima semiárido, mesotérmico.

3.2.4. Impacto ambiental

El nivel de afección de los parámetros ambientales se muestra en las siguientes matrices, diseñadas con el propósito de medir el impacto ambiental que producen las actividades que se realizan en la ejecución del proyecto tales como Infiltración Rápida, Infiltración Lenta, Escorrentía Superficial, Humedales de Flujo superficial y de Flujo Subsuperficial.



Matriz 3.1. Identificación y valoración de impactos ambientales para métodos acuáticos (humedales de flujo superficial y subsuperficial)

ACCIONES PARAMETROS AMBIENTALES	Diseño																Afectaciones Positivas			Afectaciones Negativas			Agregación de Impactos		
	LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	DESROCE Y LIMPIEZA	EXCAVACIÓN A MÁQUINA	DESALOJO DE MATERIAL	TRANSPORTE DE MATERIALES	RUIDO Y VIBRACIONES	CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE CONCRETO	IMPLANTACIÓN DE VEGETACIÓN EN BALSAS	MADECIADO	MANTEENIMIENTO DEL SISTEMA	FALLAS OPERACIONALES EN EL SISTEMA	INTEGRACIÓN DEL USUARIOS	MANTEENIMIENTO ADECUADO DEL SISTEMA	REUTILIZACIÓN DEL EFLENTE	CAMBIO DEL PAISAJE	DESARROLLO DE LA ZONA	Afectaciones Positivas	Afectaciones Negativas	Agregación de Impactos						
A.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS																									
A.1.- TIERRA																									
a.- SUELO (Hasta 2m como máximo)	-1	-1	-5	-2	-2	-1	-1	-4	9	-4							1	8	1						
b.- GEOMORFOLOGÍA	-1	-1	-6	-2	-2	-1	-1	-5	9	-4						9	2	8	46						
c.- CONTAMINACIÓN DEL SUELO			-1	2	2			1	-6	-6						6	0	6	-83						
A.2.- AGUA																									
a.- CONTAMINACIÓN DEL AGUA								9	6	-9	-9		9				2	2	0						
b.- RECARGA CUERPO RECEPTOR Y RIEGO								9	6	9	-9	-9	9	9			4	2	108						
A.3.- AIRE																									
a.- CONTAMINACIÓN DEL AIRE			-8	-4	-4	-4		8	6	-8	-8	8					2	5	-96						
b.- GENERACIÓN DE OLORES			-2	1	1	1			-9	-9	-9	9					1	5	-60						
c.- PROLIFERACIÓN DE VECTORES								7	6	-9	-9	9					2	2	-12						
d.- POLVO		-2	-7	-8	-8	-8		-2				9					0	5	-96						
e.- RUIDO	-1	-1	-9	-4	-4	-4	-1	-2									0	7	-113						
B.- CONDICIONES BIOLÓGICAS																									
B.1.- FLORA																									
a.- ARBOLES		-4	-4	3				-2	3							8	1	3	6						
b.- ARBUSTOS		-4	-1	-1	-1			-2	9	-8	-8	8				8	3	7	45						
c.- HIERBAS		-4	-2	-1	-1			-2	3	3	3	8				8	1	5	10						
d.- CULTIVOS	-1		3	1	1			-2	3			-5				8	1	3	11						
B.2.- FAUNA																									
a.- AVES	-4	-4	-7	-7	-7	-7	-1	7	6	-6		-1				9	2	9	-71						
b.- ANIMALES TERRESTRES	-4	-4	-2	-7	-7	-7	-1	-1	1			-1				-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	-5		9		6	1	3	-39						
c.- GANADERÍA								-3	3	5	-1		-5	6	8	6	2	7	-10						
C.2.- NIVEL CULTURAL																									
a.- EMPLEO	7	7	6	6	6	6	6	6	5	4		9	9	9	9	9	9	0	280						
b.- SERVICIOS BÁSICOS	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	-9	-9	9	9	9	9	5	2	162						
Afectaciones Positivas	1	1	1	1	1	0	4	10	0	0	2	7	4	7	2	COMPROBACION									
Afectaciones Negativas	6	10	13	12	12	5	14	1	14	8	5	0	0	1	0	-3									
Agregación de Impactos	8	-83	-200	-154	-154	-59	106	415	-531	-378	14	342	210	353	108	-3									

Fuente: El Autor



Matriz 3.2. Identificación y valoración de impactos ambientales para métodos de infiltración en el terreno (Infiltración Rápida, Lenta y Escorrentía Superficial).

ACCIONES	Diseño														Afectaciones Positivas			Afectaciones Negativas			Agregación de Impactos		
	Levantamiento Topográfico	Desbroce y Limpieza	Excavación a Máquina	Desalco de Material	Transporte de Materiales	Ruido y Vibraciones	Construcción de Obras de Concreto	Implantación de Vegetación en Balsas	Inadecuado Mantenimiento del Sistema	Fallas Operacionales en el Sistema	Integración del Usuario	Mantenimiento Adecuado del Sistema	Reutilización del Efluente	Cambio del Paisaje	Desarrollo de la Zona	Afectaciones Positivas	Afectaciones Negativas	Agregación de Impactos					
A.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS																							
A.1.- TIERRA																							
a.- SUELO (Hasta 2m como máximo)	-1	-7	-1	-3	-5	3	-6	-1	3	6	-2	7	3	8	-43	3	8	-43					
b.- GEOMORFOLOGÍA	-1	-7	-1	-1	-1	8	7	3	6	6	-1	3	6	3	4	1	7	4					
c.- CONTAMINACIÓN DEL SUELO	1	4	1	1	1	5								3	0	0	0	0					
A.2.- AGUA																							
a.- CONTAMINACIÓN DEL AGUA						9	8	-8	-9	9	9	9	3	3	5	5	2	152					
b.- RECARGA CUERPO RECEPTOR Y RIEGO						9	8	-8	-9	9	9	9	4	2	5	5	2	142					
A.3.- AIRE																							
a.- CONTAMINACIÓN DEL AIRE			-8	-8	-5	7	-7	-6	7	6	6	6	6	6	2	2	5	-78					
b.- GENERACIÓN DE OLORES			-2	-2	-2	6	-9	-9	6	6	6	6	6	6	1	1	5	-60					
c.- PROLIFERACIÓN DE VECTORES			1	1	1	7	-9	-9	6	6	6	6	6	6	2	2	2	-12					
d.- POLVO			-6	-8	-8	6	-9	-9	6	6	6	6	6	6	0	0	5	-91					
e.- RUIDO	-1	-1	-9	-9	-9	-1	-2	1							0	0	7	-113					
B.- CONDICIONES BIOLÓGICAS																							
B.1.- FLORA																							
a.- ARBOLES	-1	-4	-4			-3	3								-1	0	5	-47					
b.- ARBUSTOS	1	-1	-1			-2	3	9	-8	-8					8	3	6	69					
c.- HIERBAS	-2	1	1			3	6	6	3	3					6	1	5	28					
d.- CULTIVOS	-1	3	3			3	6	6	3	3					6	1	2	-11					
B.2.- FAUNA																							
a.- AVES	-1	-1				-7	5	-1	7	5	-4	5	-1		5	2	7	-5					
b.- ANIMALES TERRESTRES	-5	1	1			5	1	7	5	5	-1	1			4	0	9	-86					
C.- FACTORES CULTURALES																							
C.1.- USO DEL TERRITORIO																							
a.- PAISAJE						-1	6	-9	6	6	6	6	6	6	9	2	2	15					
b.- AGRICULTURA						-3	3	-9	6	6	6	6	6	6	9	1	3	-39					
c.- GANADERÍA						-3	3	-9	6	6	6	6	6	6	9	2	7	-10					
C.2.- NIVEL CULTURAL																							
a.- EMPLEO	7	5	3	3	3	6	4	7	3	5	4	9	9	9	9	9	0	216					
b.- SERVICIOS BÁSICOS	3	2	2	2	2	4	4	8	3	4	4	9	9	9	9	5	2	140					
Afectaciones Positivas	1	1	1	1	1	7	8	0	0	3	7	5	5	5		COMPROBACION							
Afectaciones Negativas	7	10	11	8	11	5	9	2	12	7	5	0	1	3	0	171		171					
Agregación de Impactos	0	-142	-121	-112	-124	-46	201	296	-451	-348	34	372	288	185	139								

Fuente: El Autor



- De acuerdo a los resultados que se han obtenido en las matrices, se puede observar que los componentes ambientales más afectados en la etapa de construcción son:
 - El aire por la emanación de polvo y ruido, cuando se realicen las obras físicas como movimiento de tierras, extracción y transporte de materiales.
 - El suelo, la agricultura, ganadería y el paisaje, tienen una afectación media debido a la ocupación del terreno circundante.
- Los impactos negativos más importantes de una planta de tratamiento son la presencia de malos olores y mosquitos. Con frecuencia están ligados a problemas de operación o falta de mantenimiento. Por lo tanto, se requiere un programa regular de control, mantenimiento y de medidas para mitigar estos impactos negativos.
- Los tratamientos naturales de aguas residuales domésticas se han diseñado con el propósito de proteger el ambiente, mejorar la calidad del agua, del suelo y proteger la salud de sus habitantes, por lo tanto, su impacto ambiental es positivo.

Los análisis e interpretación de los resultados se presentan en cada zona de estudio, como se explicó en la introducción, entonces, la zona de estudio seleccionada fue en las siguientes cabeceras cantonales de Zapotillo, Olmedo, Celica, Gonzanamá y Pindal.

3.2. RESUMEN DE LOS ANÁLISIS DE DATOS PARA LA SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA EN CADA ZONA DE ESTUDIO

3.2. 1. Ciudad de Zapotillo

“La ciudad de Zapotillo tiene una población actual de 1960 habitantes, con una área disponible para la planta de tratamiento de 28530 m², con existencia de servicio de agua potable el 13%, existencia y tipo de alcantarillado combinado” (Muñoz, Aguirre, 2010).

En la Figura 3.51 se observó el caudal del agua residual registrado durante el proceso de estudio, donde se tiene un intervalo de (1.1 a 6.35) l/s. y en la Figura 3.52 muestra la temperatura del agua residual, la cual tiene un rango de variación de (28.3 a 32.6) °C.

Posteriormente, se llevó a cabo la caracterización del agua residual en la zona de estudio. Por lo tanto, se describen los aspectos de mayor relevancia. El promedio aritmético de los sólidos totales es de 881.1 mg/l; DBO de 205.1 mg/l; DQO de 434.8 mg/l; mientras que el nitrógeno total tiene un



promedio de 52.2 mg/l; el fósforo total 5.91 mg/l; y, por último coliformes fecales tienen una media de $3.8E+07$ ufc/100ml.

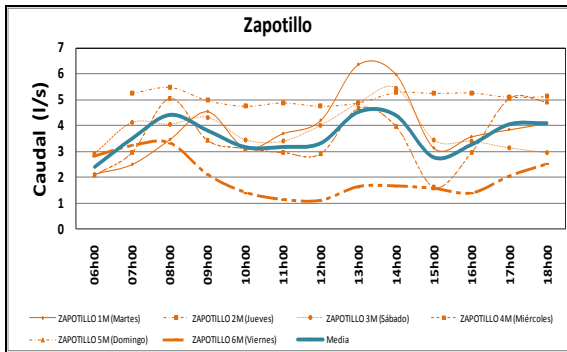


Figura 3.51. Caudal registrado en ciudad de Zapotillo

Fuente: El Autor

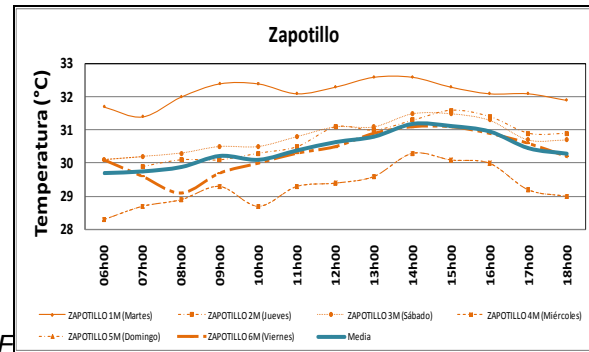


Figura 3.52. Temperatura del caudal registrado en ciudad de Zapotillo

Fuente: El Autor

A continuación se aplicó la Ecuación 1.1 relación de biodegradabilidad, el cual, se obtuvo un coeficiente K de 2.26. Por lo tanto, el agua residual es biodegradable.

Posteriormente, se realizó la caracterización del suelo. Por lo tanto, en la ciudad de Zapotillo se determinó un relieve moderado, con pendientes que varían del 5 al 10 por ciento, con un tipo de suelo arenoso y una velocidad de infiltración de 585 milímetros por hora. Además, se determinó una profundidad del nivel freático mayor a 3 m.

Los intervalos de variación de las características climatológicas son: precipitación de (22 a 267) mm/mes; temperatura de (26 a 28) °C; Evapotranspiración de (130 a 15) mm/mes y los vientos oscilaron de (3 a 6) m/s

El impacto ambiental que producirá la planta de tratamiento será en los siguientes factores: Alta (suelo, geomorfología del suelo, contaminación del suelo, recarga cuerpo receptor y riego, agricultura y ganadería); Medio (contaminación de agua, contaminación del aire, generación de olores, proliferación de vectores, polvo, árboles, arbustos, hierbas, cultivos, aves, animales terrestres, paisaje, empleo y servicio básico), y, Bajo al ruido.

Matriz 3.1. Matriz de selección final para la ciudad de Zapotillo

Criterios	Variable	TECNOLOGÍA				
		Infiltración rápida IR	Infiltración lenta IL	Escurrentia superficial ES	Humedales de flujo Superficial HFL	Humedales de flujo Subsuperficial HSS
Servicio de agua potable	Tiene servicio	-	-	-	-	-
	No tiene servicio	-	-	-	-	-
	Cobertura Parcial	3	3	3	3	3
Existencia y tipo de alcantarillado	Alcantarillado separado	-	-	-	-	-
	Alcantarillado Mixto	-	-	-	-	-
	Alcantarillado Combinado	1	1	1	1	1
Población	5	5	5	5	5	
Características del terreno	Superficie necesaria	5	5	1	1	1
	Profundidad del nivel freático	5	5	5	5	5
	Pendiente de terreno	5	3	5	1	1
	Relieve	5	3	5	1	1



Características del agua residual	Origen	5	5	5	5	5
	Caudal	5	5	3	3	3
	Temperatura de agua residual	5	1	1	1	1
Características del suelo	Tipo de suelo	5	1	1	1	1
	Textura	5	3	1	1	1
	Velocidad de infiltración	5	1	1	1	1
	Permeabilidad	5	3	1	1	1
Características climáticas	Temperatura	5	1	1	1	3
	Evapotranspiración	5	3	3	3	3
	Vientos	5	5	5	3	5
	Precipitación	5	5	5	5	5
Remoción de los parámetros básicos	Remoción de sólidos en suspensión	5	5	5	5	5
	Remoción de DBO	5	5	5	5	5
	Remoción de DQO	3	5	5	3	3
	Remoción nitrógeno Total	1	5	5	5	5
	Remoción de fósforo total	1	5	5	5	5
	Remoción de coliformes fecales	5	5	5	5	5
Impacto ambiental sobre el entorno	Suelo	1	1	1	3	3
	Geomorfología del suelo	1	1	1	3	3
	Contaminación del suelo	1	1	1	3	3
	Contaminación de agua	3	3	3	5	5
	Recarga cuerpo receptor y riego	1	1	1	1	1
	Contaminación del aire	3	3	3	5	5
	Generación de olores	3	3	3	5	5
	Proliferación de vectores	3	3	3	5	5
	Polvo	5	5	5	5	5
	Ruido	3	3	5	5	5
	Árboles	3	3	5	5	5
	Arbustos	3	3	5	5	5
	Hierbas	3	3	5	5	5
	Cultivos	3	3	3	5	5
	Pájaros (aves)	3	3	3	5	5
	Animales terrestres	3	3	3	5	5
	Paisaje	3	3	5	5	5
	Agricultura	1	1	1	1	1
	Ganadería	1	1	1	1	1
	Empleo	1	3	3	5	1
Servicio básico	3	1	3	3	5	
Tecnología de tratamiento y su necesidad de obra civil	Movimiento de tierra	3	3	5	5	5
	Construcción de instalaciones	5	5	5	5	5
	Necesidad de equipo	5	5	5	5	5
O&M para cada tecnología de tratamiento	Funcionamiento	3	3	5	5	5
	Capacitación del personal	3	3	1	3	3
	Tiempo de control	5	5	5	5	3
	Frecuencia de control	5	5	5	3	3
Costos de construcción	Costo por habitante de la obra civil	5	3	3	3	1
Costos mensual de O&M	Costo por habitante anual de O&M	5	1	3	3	3
SUMATORIA TOTAL		194	172	182	192	190

Fuente: El Autor

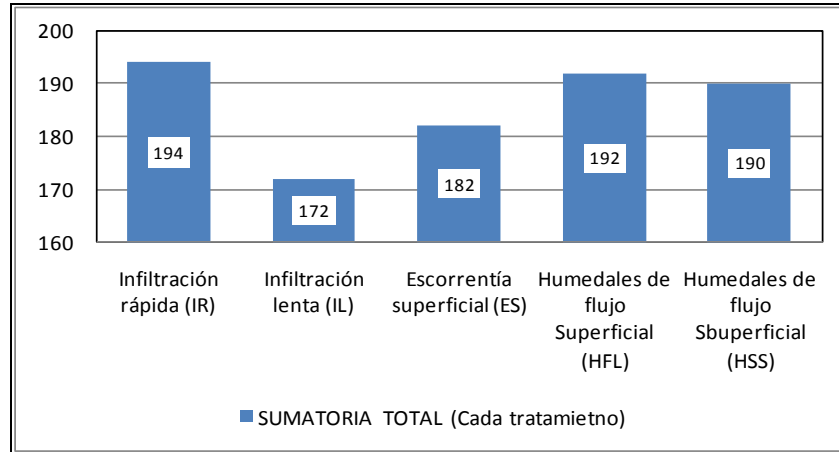


Figura 3.53. Sumatoria total de cada tratamiento natural
Fuente: El Autor

Después de haber analizado cada uno de los criterios de selección y evaluado cada una sus variables en función de las particularidades propias de la ciudad de Zapotillo se ha seleccionado el tratamiento de infiltración rápida siendo el más apropiado y beneficioso, debido a que este ha alcanzado la más alta puntuación (194 puntos) en la matriz de selección final para la ciudad de Zapotillo.

3.1.2. Ciudad de Olmedo

“La ciudad de Olmedo tiene una población actual de 799 habitantes, con una área disponible para la planta de tratamiento de 18000 m², con existencia de servicio de agua potable el 100%, existencia y tipo de alcantarillado combinado” (Quille, Coronel. 2010).

En la Figura 3.54 indica caudal del agua residual registrado, por tanto, se un intervalo de (0.7 a 4.8) l/s. y en la Figura 3.55 muestra la temperatura del agua residual, la cual tiene un rango de variación de (22.4 a 26) °C.

Posteriormente, se llevo a cabo la caracterización del agua residual en la zona de estudio. Por lo tanto, se describen los aspectos de mayor relevancia. El promedio aritmético de los sólidos totales es de 399.0 mg/l; DBO de 115.96 mg/l; DQO de 257.48 mg/l; mientras que el nitrógeno total tiene un promedio de 23.2 mg/l; el fósforo total 2.77 mg/l; y, por último coliformes fecales tienen una media de 4.8E+07 ufc/100ml.

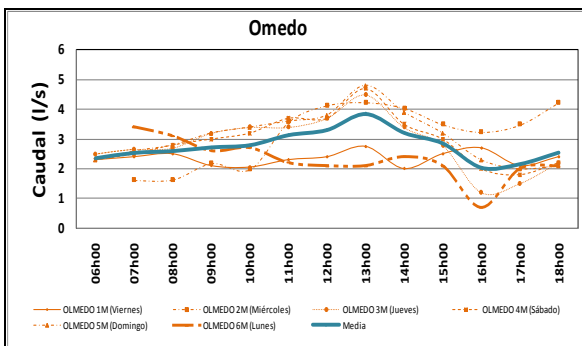


Figura 3.54. Caudal registrado en ciudad de Olmedo

Fuente: El Autor

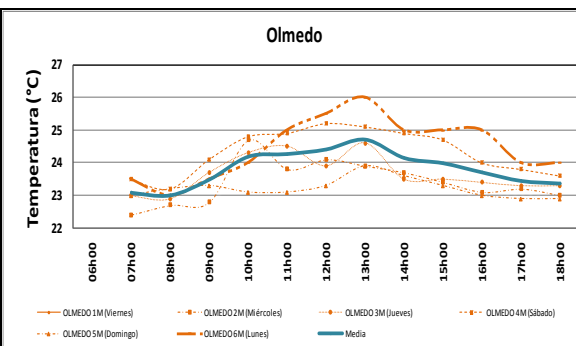


Figura 3.55. Temperatura del caudal registrado en ciudad de Olmedo

Fuente: El Autor

A continuación se determinó la relación de biodegradabilidad, donde se obtuvo un coeficiente K de 2.22. Por lo tanto, el agua residual es biodegradable.

Posteriormente, se realizó la caracterización del suelo. En la ciudad de Olmedo se observó una pendiente pronunciada entre un 10 al 20 por ciento, con un tipo de suelo margoso y una velocidad de infiltración de 19.8 milímetros por hora, por tanto, se tiene una permeabilidad moderada. Además, se determinó una profundidad del nivel freático mayor a 1.2 m.

Los intervalos de variación de las características climatológicas son: precipitación de (45 a 218) mm/mes; temperatura de (23 a 24) °C; Evapotranspiración de (94 a 100) mm/mes y los vientos oscilaron de (4.2 a 4.9) m/s

El impacto ambiental que producirá la planta de tratamiento será en los siguientes factores: Alta (suelo, geomorfología del suelo, contaminación del suelo, recarga cuerpo receptor y riego, agricultura y ganadería); Medio (contaminación de agua, contaminación del aire, generación de olores, proliferación de vectores, polvo, árboles, arbustos, hierbas, cultivos, aves, animales terrestres, paisaje, empleo y servicio básico), y, Bajo al ruido.

Matriz 3.2. Matriz de selección final para la ciudad de Olmedo

Criterios	Variable	TECNOLOGÍA				
		Infiltración rápida IR	Infiltración lenta IL	Escorrentía superficial ES	Humedales de flujo Superficial HFL	Humedales de flujo Subsuperficial HSS
Servicio de agua potable	Tiene servicio	5	5	5	5	5
	No tiene servicio	-	-	-	-	-
	Cobertura Parcial	-	-	-	-	-
Existencia y tipo de alcantarillado	Alcantarillado separado	-	-	-	-	-
	Alcantarillado Mixto	-	-	-	-	-
	Alcantarillado Combinado	1	1	1	1	1
Población	Población	5	5	5	5	5
Características del terreno	Superficie necesaria	5	5	1	1	1
	Profundidad del nivel freático	1	5	5	5	5
	Pendiente de terreno	1	5	1	1	1
	Relieve	1	5	1	1	1
Características del agua residual	Origen	5	5	5	5	5
	Caudal	1	5	1	1	1
	Temperatura de agua residual	1	5	3	3	1
Características del suelo	Tipo de suelo	1	5	1	1	1



	Textura	1	5	1	1	1	
	Velocidad de infiltración	1	5	1	1	1	
	Permeabilidad	1	5	1	1	1	
Características climáticas	Temperatura	3	5	3	3	3	
	Evapotranspiración	5	3	3	3	3	
	Vientos	5	5	5	3	5	
	Precipitación	5	5	5	5	5	
Remoción de los parámetros básicos	Remoción de sólidos en suspensión	5	5	5	5	5	
	Remoción de DBO	5	5	5	5	5	
	Remoción de DQO	3	5	5	3	3	
	Remoción nitrógeno Total	1	5	5	5	5	
	Remoción de fósforo total	1	5	5	5	5	
	Remoción de coliformes fecales	5	5	5	5	5	
Impacto ambiental sobre el entorno	Suelo	1	1	1	3	3	
	Geomorfología del suelo	1	1	1	3	3	
	Contaminación del suelo	1	1	1	3	3	
	Contaminación de agua	3	3	3	5	5	
	Recarga cuerpo receptor y riego	1	1	1	1	1	
	Contaminación del aire	3	3	3	5	5	
	Generación de olores	3	3	3	5	5	
	Proliferación de vectores	3	3	3	5	5	
	Polvo	5	5	5	5	5	
	Ruido	3	3	3	5	5	
	Árboles	3	3	5	5	5	
	Arbustos	3	3	5	5	5	
	Hierbas	3	3	5	5	5	
	Cultivos	3	3	3	5	5	
	Pájaros (aves)	3	3	3	5	5	
	Animales terrestres	3	3	3	5	5	
	Paisaje	3	3	5	5	5	
	Agricultura	1	1	1	1	1	
	Ganadería	1	1	1	1	1	
	Empleo	1	3	3	5	1	
	Servicio básico	3	1	3	3	5	
	Tecnología de tratamiento y su necesidad de obra civil	Movimiento de tierra	3	3	5	5	5
		Construcción de instalaciones	5	5	5	5	5
Necesidad de equipo		5	5	5	5	5	
O&M para cada tecnología de tratamiento	Funcionamiento	3	3	5	5	5	
	Capacitación del personal	3	3	1	3	3	
	Tiempo de control	5	5	5	5	3	
	Frecuencia de control	5	5	5	3	3	
Costos de construcción	Costo por habitante de la obra civil	5	3	3	3	1	
Costos mensual de O&M	Costo por habitante anual de O&M	5	1	3	3	3	
SUMATORIA TOTAL		158	198	178	196	190	

Fuente: El Autor

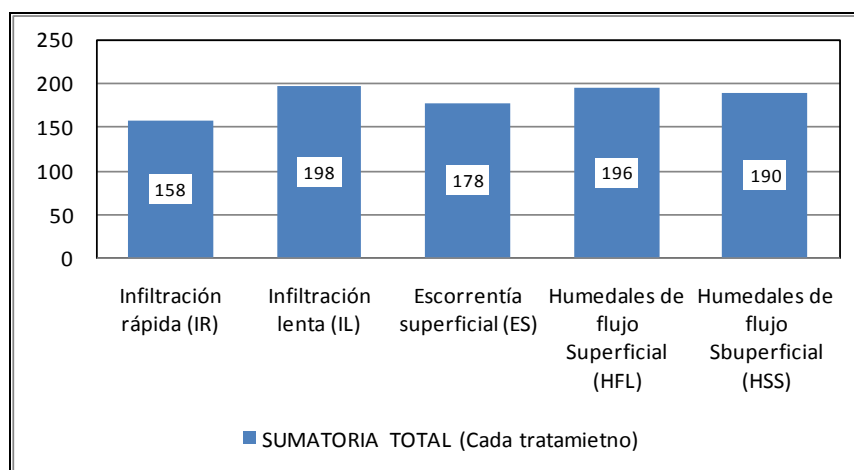


Figura 3.56. Sumatoria total de cada tratamiento natural



Fuente: El Autor

En la Figura 3.56 muestra la sumatoria total de cada tratamiento, por lo tanto, en la ciudad de Olmedo se ha seleccionado el tratamiento de infiltración lenta siendo el más apropiado y beneficioso, debido a que este ha alcanzado la más alta puntuación (198 puntos) en la matriz de selección final.

3.1.3. Ciudad de Celica

“La ciudad de Celica tiene una población actual de 4220 habitantes, con una área disponible para la planta de tratamiento de 24000 m², con existencia de servicio de agua potable el 100%, existencia y tipo de alcantarillado combinado” (Castillo, Guerrero. 2010).

En la Figura 3.57 se visualizó el caudal del agua residual, el cual, tiene un intervalo de (1.1 a 6.35) l/s. y en la Figura 3.58 muestra la temperatura del agua residual, la cual tiene un rango de variación de (18 a 21) °C.

Posteriormente, se llevo a cabo la caracterización del agua residual en la zona de estudio. Por lo tanto, se describen los aspectos de mayor relevancia. El promedio aritmético de los sólidos totales es de 521.2 mg/l; DBO de 235.69 mg/l; DQO de 503.01 mg/l; mientras que el nitrógeno total tiene un promedio de 3.29 mg/l; el fósforo total 2.77 mg/l; y, por último coliformes fecales tienen una media de 3.4E+07 ufc/100ml.

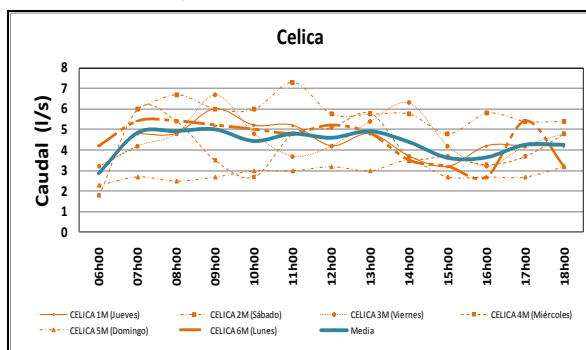


Figura 3.57. Caudal registrado en ciudad de Celica

Fuente: El Autor

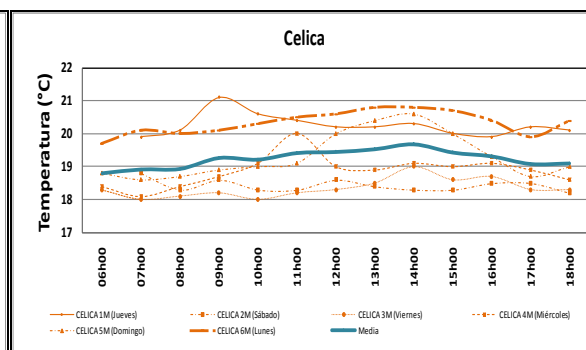


Figura 3.58. Temperatura del caudal registrado en ciudad de Celica

Fuente: El Autor

A continuación se aplicó la Ecuación 1.1, donde se determinó un coeficiente K de 2.13. Entonces, el agua residual es biodegradable.

Posteriormente, se realizó la caracterización del suelo. Por lo tanto, en la ciudad de Celica se detallo un relieve moderado entre el 5 al 10 por ciento, con un tipo de suelo limoso y arcilloso y una velocidad de infiltración de 4.1 milímetros por hora. Además, se determinó una profundidad del nivel freático mayor a 1.2 m.

Los intervalos de variación de las características climatológicas son: precipitación de (64 a 325) mm/mes; temperatura de (18 a 20) °C; Evapotranspiración de (60 a 63) mm/mes y los vientos oscilaron de (4 a 5) m/s



El impacto ambiental que producirá la planta de tratamiento será en los siguientes factores: Alta (suelo, geomorfología del suelo, contaminación del suelo, recarga cuerpo receptor y riego, agricultura y ganadería); Medio (contaminación de agua, contaminación del aire, generación de olores, proliferación de vectores, polvo, árboles, arbustos, hierbas, cultivos, aves, animales terrestres, paisaje, empleo y servicio básico), y, Bajo al ruido.

Matriz 3.3. Matriz de selección final para la ciudad de Celica

Criterios	Variable	TECNOLOGÍA				
		Infiltración rápida IR	Infiltración lenta IL	Escorrentía superficial ES	Humedales de flujo Superficial HFL	Humedales de flujo Subsuperficial HSS
Servicio de agua potable	Tiene servicio	5	5	5	5	5
	No tiene servicio	-	-	-	-	-
	Cobertura Parcial	-	-	-	-	-
Existencia y tipo de alcantarillado	Alcantarillado separado	-	-	-	-	-
	Alcantarillado Mixto	-	-	-	-	-
	Alcantarillado Combinado	1	1	1	1	1
Población	Población	3	3	3	5	5
Características del terreno	Superficie necesaria	1	1	5	1	1
	Profundidad del nivel freático	5	5	5	5	5
	Pendiente de terreno	1	1	5	5	5
	Relieve	5	1	5	1	1
Características del agua residual	Origen	5	5	5	5	5
	Caudal	3	1	5	3	3
	Temperatura de agua residual	3	3	5	3	1
Características del suelo	Tipo de suelo	1	1	5	1	1
	Textura	1	1	5	5	5
	Velocidad de infiltración	1	1	5	5	5
	Permeabilidad	1	1	5	5	5
Características climáticas	Temperatura	1	1	5	5	5
	Evapotranspiración	3	3	5	3	3
	Vientos	3	3	5	3	3
	Precipitación	5	5	5	3	3
Remoción de los parámetros básicos	Remoción de sólidos en suspensión	5	5	5	3	3
	Remoción de DBO	5	5	5	5	5
	Remoción de DQO	3	5	5	3	3
	Remoción nitrógeno Total	1	5	5	5	5
	Remoción de fósforo total	1	5	5	5	5
	Remoción de coliformes fecales	5	5	5	5	5
Impacto ambiental sobre el entorno	Suelo	1	1	1	3	3
	Geomorfología del suelo	1	1	1	3	3
	Contaminación del suelo	1	1	1	3	3
	Contaminación de agua	3	3	3	5	5
	Recarga cuerpo receptor y riego	1	1	1	1	1
	Contaminación del aire	3	3	3	5	5
	Generación de olores	3	3	3	5	5
	Proliferación de vectores	3	3	3	5	5
	Polvo	5	5	5	5	5
	Ruido	3	3	5	5	5
	Árboles	3	3	5	5	5
	Arbustos	3	3	5	5	5
	Hierbas	3	3	5	5	5
	Cultivos	3	3	3	5	5
	Pájaros (aves)	3	3	3	5	5
	Animales terrestres	3	3	3	5	5
	Paisaje	3	3	5	5	5
	Agricultura	1	1	1	1	1
	Ganadería	1	1	1	1	1
	Empleo	1	3	3	5	1
Servicio básico	3	1	3	3	5	
Tecnología de tratamiento y su necesidad de obra civil	Movimiento de tierra	3	3	5	5	5
	Construcción de instalaciones	5	5	5	5	5



O&M para cada tecnología de tratamiento	Necesidad de equipo	5	5	5	5	5
	Funcionamiento	3	3	5	5	5
	Capacitación del personal	3	3	1	3	3
	Tiempo de control	5	5	5	5	3
Costos de construcción	Costo por habitante de la obra civil	5	3	3	3	1
	Costos mensual de O&M	Costo por habitante anual de O&M	5	1	3	3
SUMATORIA TOTAL		158	156	214	212	204

Fuente: El Autor

Después de haber analizado cada uno de los criterios de selección y evaluado cada una sus variables en función de las particularidades propias de la ciudad de Celica se ha seleccionado el tratamiento de escorrentía siendo el más apropiado y beneficioso, debido a que este ha alcanzado la más alta puntuación (214 puntos) en la matriz de selección final para la ciudad de Celica. La Figura 3.59 indica la sumatoria de cada tratamiento.

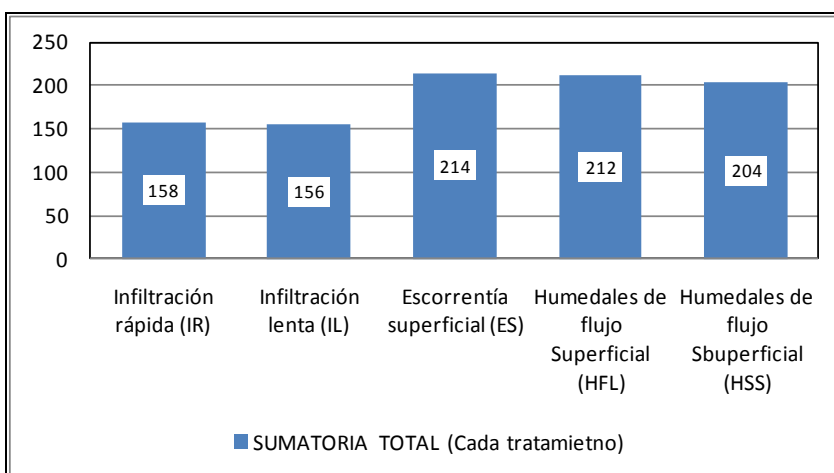


Figura 3.59. Sumatoria total de cada tratamiento natural

Fuente: El Autor

3.1.4. Ciudad de Gonzanamá

“La ciudad de Gonzanamá tiene una población actual de 1539 habitantes, con una área disponible para la planta de tratamiento de 7950 m², con existencia de servicio de agua potable el 100%, existencia y tipo de alcantarillado separado” (Bermeo, Santim. 2010)

En la Figura 3.60 se observó el caudal del agua residual registrado durante el proceso de estudio, donde se tiene un intervalo de (2.8 a 11.97) l/s. y en la Figura 3.61 muestra la temperatura del agua residual, la cual tiene un rango de variación de (17.5 a 20.6) °C.

Posteriormente, se lleva a cabo la caracterización del agua residual en la zona de estudio. Por lo tanto, se describen los aspectos de mayor relevancia. El promedio aritmético de los sólidos totales es de 306.37 mg/l; DBO de 112.24 mg/l; DQO de 247.84 mg/l; mientras que el nitrógeno total tiene un promedio de 23.23 mg/l; el fósforo total 2.08 mg/l; y, por último coliformes fecales tienen una media de 2.5E+07 ufc/100ml.



A continuación se determinó la relación de biodegradabilidad, donde se obtiene un coeficiente K de 2.208, por tanto, el agua residual es biodegradable.

Posteriormente, se realizó la caracterización del suelo. En la ciudad de Gonzanamá se describió una pendiente menor al 5 por ciento, con un tipo de suelo arcilloso impermeable y una velocidad de infiltración de 3.25 milímetros por hora, por tanto, se determinó una capacidad de infiltración baja. Además, se determinó una profundidad del nivel freático mayor a 3 m.

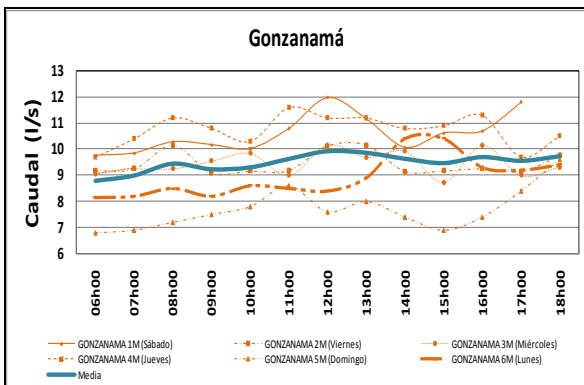


Figura 3.60. Caudal registrado en ciudad de Gonzanamá

Fuente: El Autor

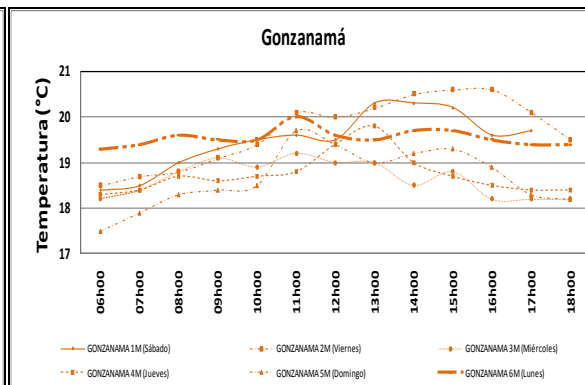


Figura 3.61. Temperatura del caudal registrado en ciudad de Gonzanamá

Fuente: El Autor

Los intervalos de variación de las características climatológicas son: precipitación de (73 a 224) mm/mes; temperatura de (17 a 18) °C; Evapotranspiración de (39 a 67) mm/mes y los vientos oscilaron de (1 a 3) m/s.

El impacto ambiental que producirá la planta de tratamiento será en los siguientes factores: Alta (recarga cuerpo receptor, generación de olores, proliferación de vectores, polvo, árboles, arbustos, hierbas, cultivos, aves, animales terrestres, paisaje, riego, agricultura y ganadería); Medio (suelo, geomorfología del suelo, contaminación del suelo, contaminación del aire, empleo y servicio básico), y, Bajo es contaminación de agua y ruido.

Matriz 3.4. Matriz de selección final para la ciudad de Gonzanamá

Criterios	Variable	TECNOLOGÍA				
		Infiltración rápida IR	Infiltración lenta IL	Escorrentía superficial ES	Humedales de flujo Superficial HFL	Humedales de flujo Subsuperficial HSS
Servicio de agua potable	Tiene servicio	5	5	5	5	5
	No tiene servicio	-	-	-	-	-
	Cobertura Parcial	-	-	-	-	-
Existencia y tipo de alcantarillado	Alcantarillado separado	-	-	-	-	-
	Alcantarillado Mixto	-	-	-	-	-
	Alcantarillado Combinado	1	1	1	1	1
Población	Población	5	5	5	5	5
	Superficie necesaria	5	1	5	5	5
Características del terreno	Profundidad del nivel freático	5	1	5	5	5
	Pendiente de terreno	1	1	1	5	5
	Relieve	3	1	3	5	5
Características del agua residual	Origen	5	5	5	5	5
	Caudal	1	1	5	5	1
	Temperatura de agua residual	1	3	3	1	5
Características del suelo	Tipo de suelo	1	1	5	5	1



	Textura	1	1	3	5	5	
	Velocidad de infiltración	1	1	5	5	5	
	Permeabilidad	1	1	5	5	5	
Características climáticas	Temperatura	5	5	5	5	5	
	Evapotranspiración	5	5	5	5	5	
	Vientos	5	5	5	5	5	
	Precipitación	5	5	5	5	5	
Remoción de los parámetros básicos	Remoción de sólidos en suspensión	5	5	5	5	5	
	Remoción de DBO	5	5	5	5	5	
	Remoción de DQO	5	5	5	5	5	
	Remoción nitrógeno Total	1	5	5	5	5	
	Remoción de fósforo total	1	5	5	5	5	
	Remoción de coliformes fecales	5	5	5	5	5	
Impacto ambiental sobre el entorno	Suelo	1	1	1	3	3	
	Geomorfología del suelo	1	1	1	3	3	
	Contaminación del suelo	1	1	1	3	3	
	Contaminación de agua	3	3	3	5	5	
	Recarga cuerpo receptor y riego	1	1	1	1	1	
	Contaminación del aire	3	3	3	5	5	
	Generación de olores	3	3	3	5	5	
	Proliferación de vectores	3	3	3	5	5	
	Polvo	5	5	5	5	5	
	Ruido	3	3	3	5	5	
	Árboles	3	3	5	5	5	
	Arbustos	3	3	5	5	5	
	Hierbas	3	3	5	5	5	
	Cultivos	3	3	3	5	5	
	Pájaros (aves)	3	3	3	5	5	
	Animales terrestres	3	3	3	5	5	
	Paisaje	3	3	5	5	5	
	Agricultura	1	1	1	1	1	
	Ganadería	1	1	1	1	1	
	Empleo	1	3	3	5	1	
	Servicio básico	3	1	3	3	5	
	Tecnología de tratamiento y su necesidad de obra civil	Movimiento de tierra	3	3	5	5	5
		Construcción de instalaciones	5	5	5	5	5
Necesidad de equipo		5	5	5	5	5	
O&M para cada tecnología de tratamiento	Funcionamiento	3	3	5	5	5	
	Capacitación del personal	3	3	1	3	3	
	Tiempo de control	5	5	5	5	3	
	Frecuencia de control	5	5	5	3	3	
Costos de construcción	Costo por habitante de la obra civil	5	3	3	3	1	
Costos mensual de O&M	Costo por habitante anual de O&M	5	1	3	3	3	
SUMATORIA TOTAL		168	162	206	234	224	

Fuente: El Autor

Después de haber analizado cada uno de los criterios de selección y evaluado cada una sus variables en función de las particularidades propias de la ciudad de Gonzanamá se ha seleccionado el tratamiento más apropiado y beneficioso los Humedales de Flujo Superficial, debido a que este ha alcanzado la más alta puntuación (234 puntos) en la matriz de selección final. La Figura 3.62 muestra la sumatoria total de cada tratamiento.

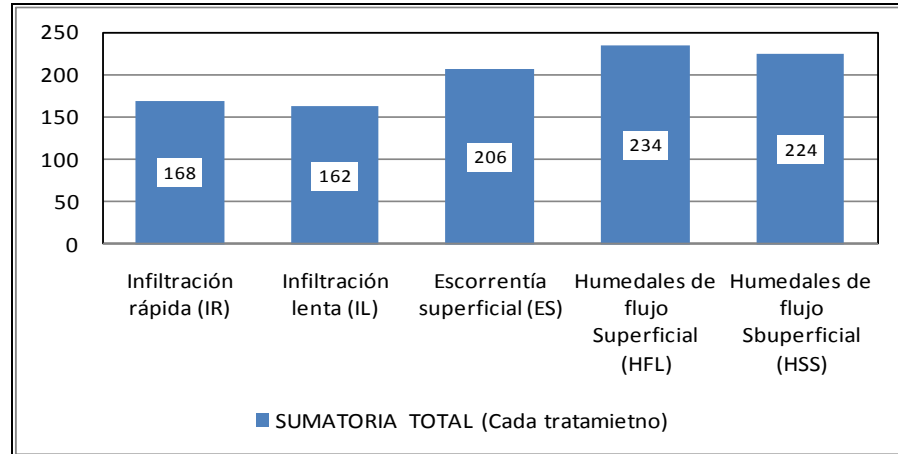


Figura 3.62. Sumatoria total de cada tratamiento

Fuente: El Autor

3.1.5. Ciudad de Pindal

“La ciudad de Pindal tiene una población actual de 1354 habitantes, con una área disponible para la planta de tratamiento de 4216 m², con existencia de servicio de agua potable el 100%, existencia y tipo de alcantarillado combinado” (Villa, Cuenca. 2010).

En la Figura 3.63 indica el caudal registrado durante el período de estudio, donde se tiene un intervalo de (2.0 a 11.83) l/s. y en la Figura 3.64 muestra la temperatura del agua residual, la cual tiene un rango de variación de (22.3 a 23.8) °C.

Posteriormente, se llevo a cabo la caracterización del agua residual en la zona de estudio. Por lo tanto, se describen los aspectos de mayor relevancia. El promedio aritmético de los sólidos totales es de 526.54 mg/l; DBO de 160.08 mg/l; DQO de 356.1 mg/l; mientras que el nitrógeno total tiene un promedio de 28.83 mg/l; el fósforo total 3.37 mg/l; y, por último coliformes fecales tienen una media de 4.1E+07 ufc/100ml.

A continuación se aplico la Ecuación 1.1, donde se obtiene un coeficiente K de 2.22. Por lo tanto, el agua residual es biodegradable.

Posteriormente, se realizó la caracterización del suelo. Por lo tanto, en la ciudad de Pindal se describió una pendiente menor al 5 por ciento, con un tipo de suelo arcilloso impermeable y una velocidad de infiltración de 1.01 milímetros por hora, por tanto, se determinó una capacidad de infiltración baja.

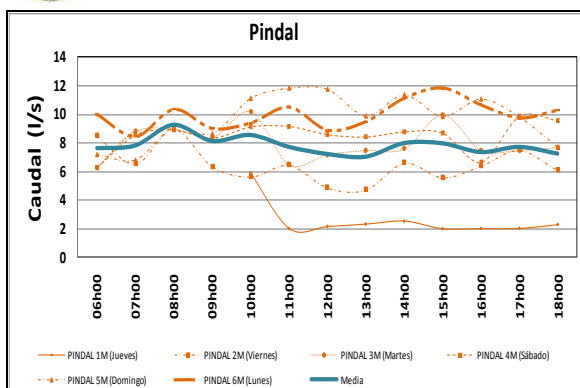


Figura 3.63. Caudal registrado en ciudad de Pindal

Fuente: El Autor

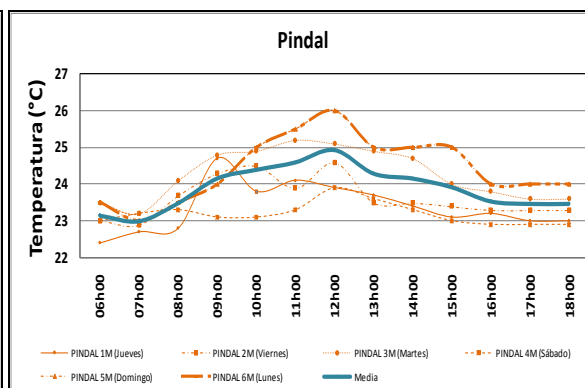


Figura 3.64. Temperatura del caudal registrado en ciudad de Pindal

Fuente: El Autor

Los intervalos de variación de las características climatológicas son: precipitación de (61 a 313) mm/mes; temperatura de (24 a 25) °C; Evapotranspiración de (100 a 109) mm/mes y los vientos oscilaron de (3 a 4) m/s.

El impacto ambiental será en los siguientes factores son: Alta (recarga cuerpo receptor, generación de olores, proliferación de vectores, polvo, árboles, arbustos, hierbas, cultivos, aves, animales terrestres, paisaje, riego, agricultura y ganadería); Medio (suelo, geomorfología del suelo, contaminación del suelo, contaminación del aire, empleo y servicio básico), y, Bajo es contaminación de agua y ruido.

Matriz 3.5. Matriz de selección final para la ciudad de Pindal

Criterios	Variable	TECNOLOGÍA				
		Infiltración rápida IR	Infiltración lenta IL	Escorrentía superficial ES	Humedales de flujo Superficial HFL	Humedales de flujo Subsuperficial HSS
Servicio de agua potable	Tiene servicio	5	5	5	5	5
	No tiene servicio	-	-	-	-	-
	Cobertura Parcial	-	-	-	-	-
Existencia y tipo de alcantarillado	Alcantarillado separado	-	-	-	-	-
	Alcantarillado Mixto	-	-	-	-	-
	Alcantarillado Combinado	1	1	1	1	1
Población	5	5	5	5	5	
Características del terreno	Superficie necesaria	5	1	5	5	5
	Profundidad del nivel freático	5	1	5	5	5
	Pendiente de terreno	1	1	1	5	5
	Relieve	3	1	3	5	5
Características del agua residual	Origen	5	5	5	5	5
	Caudal	1	1	5	5	1
	Temperatura de agua residual	1	3	3	1	5
Características del suelo	Tipo de suelo	1	1	5	5	1
	Textura	1	1	3	5	5
	Velocidad de infiltración	1	1	5	5	5
	Permeabilidad	1	1	5	5	5
Características climáticas	Temperatura	5	5	5	5	5
	Evapotranspiración	5	5	5	5	5
	Vientos	5	5	5	5	5
	Precipitación	5	5	5	5	5
Remoción de los parámetros básicos	Remoción de sólidos en suspensión	5	5	5	5	5
	Remoción de DBO	5	5	5	5	5
	Remoción de DQO	5	5	5	5	5
	Remoción nitrógeno Total	1	5	5	5	5
	Remoción de fósforo total	1	5	5	5	5
	Remoción de coliformes fecales	5	5	5	5	5
Impacto ambiental sobre el entorno	Suelo	1	1	1	3	3
	Geomorfología del suelo	1	1	1	3	3
	Contaminación del suelo	1	1	1	3	3



	Contaminación de agua	3	3	3	5	5
	Recarga cuerpo receptor y riego	1	1	1	1	1
	Contaminación del aire	3	3	3	5	5
	Generación de olores	3	3	3	5	5
	Proliferación de vectores	3	3	3	5	5
	Polvo	5	5	5	5	5
	Ruido	3	3	5	5	5
	Árboles	3	3	5	5	5
	Arbustos	3	3	5	5	5
	Hierbas	3	3	5	5	5
	Cultivos	3	3	3	5	5
	Pájaros (aves)	3	3	3	5	5
	Animales terrestres	3	3	3	5	5
	Paisaje	3	3	5	5	5
	Agricultura	1	1	1	1	1
	Ganadería	1	1	1	1	1
	Empleo	1	3	3	3	5
	Servicio básico	3	1	3	3	5
Tecnología de tratamiento y su necesidad de obra civil	Movimiento de tierra	3	3	5	5	5
	Construcción de instalaciones	5	5	5	3	5
	Necesidad de equipo	5	5	5	3	5
O&M para cada tecnología de tratamiento	Funcionamiento	3	3	5	3	5
	Capacitación del personal	3	3	1	3	3
	Tiempo de control	5	5	5	3	5
	Frecuencia de control	5	5	5	3	3
Costos de construcción	Costo por habitante de la obra civil	5	3	3	3	1
Costos mensual de O&M	Costo por habitante anual de O&M	5	1	3	3	3
SUMATORIA TOTAL		168	162	206	224	230

Fuente: El Autor

En la Figura 3.65 muestra la sumatoria total de cada tratamiento, por lo tanto, después de haber evaluado cada una sus variables en función de las particularidades propias de la ciudad de Olmedo se ha seleccionado el tratamiento de infiltración lenta siendo el más apropiado y beneficioso, debido a que este ha alcanzado la más alta puntuación (230 puntos) en la matriz de selección final.

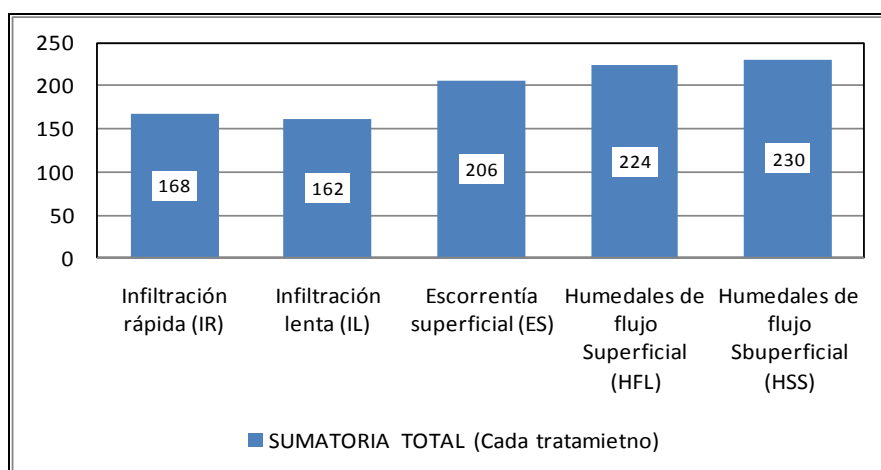


Figura 3.65. Sumatoria total de cada tratamiento

Fuente: El Autor



CAPÍTULO

4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Durante el estudio de las características físicas, químicas y biológicas del agua residual, se concluye que en las cabeceras cantonales de acuerdo a la zona de estudio tale como Zapotillo, Olmedo, Celica, Gonzanamá y Pindal existe agua residual típicamente urbana, o sea es biodegradable.
- Para el buen funcionamiento del sistema debe hacerse una estimación tanto de la profundidad del suelo, de los valores de carga hidráulica (en función de las características del suelo) y de la composición del agua residual a verter así como de los rendimientos esperados en la depuración.
- Los análisis de las características físicas, químicas e hidráulicas del suelo son necesaria, pues aporta información acerca de los factores que condicionan el comportamiento del suelo y zona no saturada como transmisor del fluido y depurador.
- Del análisis obtenido en el método de infiltración en el terreno, se observa una eliminación de SST, con un intervalo de 92 y 99%; BDO del 80 y 99%; DQO del 70 y 95%; mientras que la reducción del fósforo total y nitrógeno total es del 25 y 95%, y por último, la remoción de los coliformes fecales es del 99.9%.
- Del análisis obtenido en el método acuático, se observa una eliminación de SST, con un intervalo de 60 y 98%; BDO del 60 y 98%; DQO del 55 y 95%; mientras que la reducción del fósforo total es del 20 y 60%; nitrógeno total es mayor al 80%, y por último, la remoción de los coliformes fecales es del 99.9%.
- El impacto ambiental que genera la implantación de los tratamientos naturales de aguas residuales son moderados o bajos. Sin embargo, si el sistema no es eficiente y no se realiza un adecuado mantenimiento existe el riesgo de la contaminación del suelo, vegetación, el aire y agua subterránea.
- Del análisis obtenido en los métodos naturales, se concluye que son tecnologías de muy bajo impacto ambiental, siempre que no se cometan errores de diseño, se mantenga en una dimensión reducida y se tomen precauciones necesarias para el control del proceso.



- Se identificaron 8 factores básicos que influyen en el proceso de selección de tecnología para sistemas de tratamiento naturales son: factores demográficos, características del terreno, objetivo de tratamiento, características del agua residual, características del suelo, características climatológicas, aspectos tecnológicos y costos.
- Los cuatro criterios claves en la selección de tecnología de sistema de tratamiento natural son las características del terreno, agua residual, del suelo y climatológicas.
- La disponibilidad de área es una variable limitante en la selección de tecnologías de tratamiento naturales ya que determina la factibilidad de implementación de un sistema de tratamiento.
- La guía de selección para sistemas de tratamiento naturales con enfoque tecnológico es una contribución en el proceso de construcción de un sistema experto para la selección de tecnología en el control de la contaminación por aguas residuales domésticas. Está desarrollado en 13 pasos como fueron: infraestructura del agua potable, infraestructura del alcantarillado sanitario, población, relación de biodegradabilidad, información del terreno, suelo, climatológico, porcentaje de remoción, impacto ambiental, necesidad de obra civil, operación y mantenimiento, costos de construcción de la obra civil; y O&M y matriz de selección final.
- Es conveniente concienciar a la población de la utilidad, importancia económica y medioambiental de la planta de tratamiento, y, si es posible, que el personal encargado del mantenimiento de las instalaciones pertenezca a la misma población.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ✓ Aparicio, M. J., (1989). Fundamentos de la hidrología de superficie (1ra ed.). México: Limusa Noriega Ed.
- ✓ Brady N.C. (1974). The Nature and Properties of Soil (8va ed.). Nueva York: MacMillan Publishing Co.
- ✓ Braja, M. D., (2006). Principios de ingeniería de cimentaciones (5ta ed.). California: International Thomson.
- ✓ Droste, W. J., Sons. (1997). Theory and practice of water and wastewater treatment (2da ed.). New York: Wiley.
- ✓ FitzPatrick, E. A., (1985). Suelos su formación, clasificación y distribución (2da ed.). México: Compañía Editorial Continental.
- ✓ **OMS (2006). GUÍAS PARA LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE. TERCERA EDICIÓN, EUROPA.**
- ✓ **GUÍA PARA SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES POR MÉTODOS NATURALES.** Para poblaciones menores a 5000 habitantes de la Provincia de Loja. 2010.
- ✓ Heras, R., (1972). Manual de hidrología: Principios básicos en hidrología (1ra ed.). Berlín: Wihelm Ernst & Sohn.
- ✓ Jiménez, C. B., (2001). La contaminación ambiental en México, causas y efectos y tecnologías apropiadas (1ra ed.). México. [En línea]. Capítulo 2. Consultado: [04, enero, 2010] Disponible en: <http://books.google.com.ec/books?id=8MVxlyJGoklC&pg=PA3&dq=%E2%80%A2%09LA+CONTAMINACI%C3%93N+AMBIENTAL+EN+M%C3%89XICO,+CAUSA+S+Y+EFECTOS+Y+TECNOLOG%C3%8DAS+APROPIADAS&cd=1#v=onepage&q=&f=false>.
- ✓ Jiménez, J. A., y Alpañes, J., (1975). Geotecnia y cimentaciones. Propiedades de los suelos y de las rocas (2da ed.). Madrid: Rueda.
- ✓ López B. F., Rubio, R. J., y Rubio, J. M., (1992). Geografía física (4ta ed.). Valencia: Universidad de Valencia.
- ✓ METCALF & EDDY, (1995). Ingeniería de aguas residuales, tratamiento, vertido y reutilización (3ra ed.). México: MCGRAW-HILL.
- ✓ Monsalve, S. G., (2006). Hidrología en la ingeniería (2da ed.). Bogotá, Colombia.



- ✓ Moreno, M. L., (2003). La depuración de aguas residuales, urbanas de pequeñas poblaciones mediante infiltración directa en el terreno (1ra ed.). Madrid: Ministerio de Ciencia y Tecnología, Instituto Geológico y Minero de España.
- ✓ Molina, M., (1989). Hidrología: Universidad Nacional Agraria La Molina, Departamento de Recursos de Agua y Tierra (2da ed.). Lima, Perú: El Departamento.
- ✓ Mujeriego, (1990). Riego con agua residual municipal regenerada (2da ed.). Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya.
- ✓ Plastes, E. J., (2000). La ciencia del suelo y su manejo (2da ed.). Madrid: Sociedad Boliviana de la Ciencia del Suelo.
- ✓ Rankana, K., y Sahama, Th. G., (1962). Geoquímica (2da ed.). Málaga: El Congreso.
- ✓ Rivas, M., (1978). Tratamiento de aguas residuales (20va ed.). Madrid: Dykinson.
- ✓ Romero, R. J., (2000). Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño (1ra ed.). Colombia: Escuela Colombia de Ingeniería.
- ✓ Salamanca, S. R., (1999). Suelos y fertilizantes (1ra ed.). Santafé de Bogotá: Centro de Edafología y Biología Aplicada del C.S.I.C.
- ✓ Seoáñez, C. M., (2005). Depuración de las aguas residuales por tecnologías ecológicas y de bajo costo (1ra ed.). Madrid: Mundi-Prensa.
- ✓ Stanley E. M., (2007). Introducción a la química ambiental (1ra ed.). México. [En línea]. Capítulo 6. Consultado: [07, febrero, 2010] Disponible en: <http://books.google.com.ec/books?id=5NR8DIk1n68C&pg=PA269&dq=nivel+freati co&cd=1#v=onepage&q=&f=false>.
- ✓ Stopfrod W., (1990). Industrial Toxicology: Safety and health applications in the workplace. (The toxic effects of pesticides) (1ra ed.). Burson: Ed. Phillop L. Willias and James L.



ANEXOS



ANEXO 1

Tabla 1-A. Caudal registrado en cada zona de estudio

PARÁMETROS		Unidad	FECHA	Muestra	06h00	07h00	08h00	09h00	10h00	11h00	12h00	13h00	14h00	15h00	16h00	17h00	18h00	
CELICA	Caudal	L/S	Jueves, 05/02/09	1M		4,80	4,80	6,00	5,20	5,20	4,20	4,80	3,70	3,20	4,20	4,20	4,20	
			Sábado, 04/04/09	2M		6,00	6,70	6,00	6,00	7,30	5,75	5,75	5,75	4,80	5,80	5,40	5,40	
			Viernes, 22/05/09	3M	3,2	4,20	4,80	6,70	4,80	3,70	4,20	5,40	6,30	4,20	3,20	4,20	4,80	
			Miércoles, 10/06/09	4M	1,8	6,00	5,40	3,50	2,70	4,80	5,10	5,80	3,70	3,70	3,30	3,70	4,80	
			Domingo, 19/07/09	5M	2,3	2,70	2,50	2,70	3,00	3,00	3,20	3,00	3,50	2,70	2,70	2,70	3,20	
			Lunes, 06/11/09	6M	4,2	5,40	5,40	5,20	5,00	4,80	5,20	4,80	3,50	3,20	2,70	5,40	3,20	
GONZANAMÁ	Caudal	L/S	Sábado, 17/01/09	1M	9,75	9,84	10,27	10,16	10,01	10,79	11,97	11,15	10,05	10,61	10,69	11,80		
			Viernes, 13/03/09	2M	9,16	9,24	10,15	9,09	9,16	9,18	10,12	10,16	9,15	9,17	9,25	9,15	9,75	
			Miércoles, 06/05/09	3M	9,04	9,24	9,25	9,54	9,84	8,99	10,16	9,69	9,92	8,73	10,16	8,99	9,32	
			Jueves, 04/06/09	4M	9,7	10,40	11,20	10,80	10,30	11,60	11,20	11,20	10,80	10,90	11,30	9,70	10,50	
			Domingo, 05/07/09	5M	6,8	6,9	7,2	7,5	7,8	8,6	7,60	8,00	7,40	6,90	7,40	8,40	9,60	
			Lunes, 16/11/09	6M	8,15	8,2	8,5	8,2	8,6	2,8	8,40	8,90	10,40	10,40	9,30	9,20	9,40	
OLMEDO	Caudal	L/S	Viernes, 09/01/2009	1M	2,3	2,40	2,50	2,10	2,05	2,30	2,40	2,75	2,00	2,50	2,70	2,10	2,40	
			Miércoles, 25/02/2009	2M		1,63	1,65	2,20	2,00	3,60	4,15	4,25	4,05	3,50	3,25	3,50	4,25	
			Jueves, 30/04/09	3M	2,5	2,65	2,70	3,20	3,40	3,40	3,70	4,50	3,40	2,80	1,20	1,50	2,20	
			Sábado, 27/06/09	4M	2,3	2,50	2,80	3,00	3,20	3,70	3,70	4,70	3,50	3,00	2,00	1,80	2,20	
			Domingo, 12/07/09	5M	2,3	2,60	2,80	3,20	3,40	3,60	3,80	4,80	3,90	3,20	2,30	2,00	2,10	
			Lunes, 07/12/09	6M		3,40	3,10	2,60	2,70	2,20	2,10	2,10	2,40	2,10	0,70	2,00	2,10	
ZAPOTILLO	Caudal	L/S	Martes, 27/02/2009	1M	2,12	2,49	3,45	4,53	3,11	3,68	4,19	6,35	5,96	3,12	3,56	3,83	4,07	
			Jueves, 09/04/2009	2M		5,24	5,49	4,98	4,76	4,89	4,76	4,89	5,29	5,26	5,27	5,11	5,13	
			Sábado, 16/05/09	3M	2,91	4,11	4,04	4,31	3,45	3,39	4,00	4,86	5,45	3,43	3,39	3,13	2,95	
			Miércoles, 17/06/09	4M	2,09	2,97	5,05	3,43	3,12	2,96	2,91	4,67	3,97	1,62	2,97	5,05	4,91	
			Domingo, 26/07/09	5M	2,09	2,97	5,05	3,43	3,12	2,96	2,91	4,68	3,97	1,62	2,97	5,05	4,91	
			Viernes, 206/11/09	6M	2,82	3,23	3,33	2,11	1,41	1,13	1,10	1,63	1,66	1,56	1,38	2,04	2,51	
PINDAL	Caudal	L/S	Jueves, 12/12/2008	1M					5,88	2,01	2,16	2,33	2,54	2,00	2,01	2,02	2,29	
			Viernes, 06/03/2009	2M	8,5	6,57	9,01	6,38	5,67	6,48	4,90	4,75	6,64	5,61	6,43	7,52	6,11	
			Martes, 21/04/2009	3M	6,3	8,80	9,00	8,40	10,20	6,50	7,20	7,50	7,60	10,00	7,50	7,50	7,70	
			Sábado, 30/05/09	4M	6,3	8,56	8,91	8,35	9,14	9,17	8,60	8,43	8,79	8,69	6,67	9,87	9,58	
			Domingo, 02/08/09	5M	7,2	6,81	9,11	8,64	11,1	11,83	11,76	9,89	11,36	9,85	11,07	9,80	7,69	
			Lunes, 30/11/09	6M	9,99	8,47	10,4	9,03	9,42	10,50	8,92	9,51	11,12	11,82	10,65	9,76	10,30	



Tabla 2-A. Temperatura del caudal registrado en cada zona de estudio

PARÁMETROS	Unidad	FECHA	Muestra	06h00	07h00	08h00	09h00	10h00	11h00	12h00	13h00	14h00	15h00	16h00	17h00	18h00
CELICA	Temperatura °C	Jueves, 05/02/09	1M		19,90	20,10	21,10	20,60	20,40	20,20	20,20	20,30	20,00	19,90	20,20	20,10
		Sábado, 04/04/09	2M		18,80	18,30	18,60	18,30	18,30	18,60	18,40	18,30	18,30	18,50	18,50	18,20
		Viernes, 22/05/09	3M	18,3	18,00	18,10	18,20	18,00	18,20	18,30	18,50	19,00	18,60	18,70	18,30	18,30
		Miércoles, 10/06/09	4M	18,4	18,10	18,40	18,70	19,10	20,00	19,00	18,90	19,10	19,00	19,10	18,90	18,60
		Domingo, 19/07/09	5M	18,8	18,60	18,70	18,90	19,00	19,10	20,00	20,40	20,60	20,00	19,30	18,70	19,00
		Lunes, 06/11/09	6M	19,7	20,10	20,00	20,10	20,30	20,50	20,60	20,80	20,80	20,70	20,40	19,90	20,40
GONZANAMÁ		Sábado, 17/01/09	1M	18,4	18,50	19,00	19,30	19,50	19,60	19,50	20,30	20,30	20,20	19,60	19,70	
		Viernes, 13/03/09	2M	18,5	18,70	18,80	19,10	19,40	20,10	20,00	20,20	20,50	20,60	20,60	20,10	19,50
		Miércoles, 06/05/09	3M	18,2	18,40	18,80	19,10	18,90	19,20	19,00	19,00	18,50	18,80	18,20	18,20	18,20
		Jueves, 04/06/09	4M	18,3	18,40	18,70	18,60	18,70	18,80	19,40	19,80	19,00	18,70	18,50	18,40	18,40
		Domingo, 05/07/09	5M	17,5	17,9	18,3	18,4	18,5	19,7	19,40	19,00	19,20	19,30	18,90	18,30	18,20
		Lunes, 16/11/09	6M	19,3	19,4	19,6	19,5	19,5	20	19,60	19,50	19,70	19,70	19,50	19,40	19,40
OLMEDO		Viernes, 09/01/2009	1M													
		Miércoles, 25/02/2009	2M		22,40	22,70	22,80	24,70	23,80	24,10	23,90	23,70	23,40	23,10	23,20	23,00
		Jueves, 30/04/09	3M		23,00	22,90	23,70	24,30	24,50	23,90	24,60	23,50	23,50	23,40	23,30	23,30
		Sábado, 27/06/09	4M		23,50	23,20	24,10	24,80	24,90	25,20	25,10	24,90	24,70	24,00	23,80	23,60
		Domingo, 12/07/09	5M		23,00	23,20	23,30	23,10	23,10	23,30	23,90	23,60	23,30	23,00	22,90	22,90
		Lunes, 07/12/09	6M		23,50	23,00	23,50	24,00	25,00	25,50	26,00	25,00	25,00	25,00	24,00	24,00
ZAPOTILLO	Martes, 27/02/2009	1M	31,7	31,40	32,00	32,40	32,40	32,10	32,30	32,60	32,60	32,30	32,10	32,10	31,90	
	Jueves, 09/04/2009	2M		29,90	30,10	30,10	30,30	30,50	31,10	31,00	31,30	31,60	31,40	30,90	30,90	
	Sábado, 16/05/09	3M	30,1	30,20	30,30	30,50	30,50	30,80	31,10	31,10	31,50	31,50	31,30	30,70	30,70	
	Miércoles, 17/06/09	4M	28,3	28,70	28,90	29,30	28,70	29,30	29,40	29,60	30,30	30,10	30,00	29,20	29,00	
	Domingo, 26/07/09	5M	28,3	28,7	28,9	29,3	28,7	29,3	29,40	29,60	30,30	30,10	30,00	29,20	29,00	
	Viernes, 20/11/09	6M	30,1	29,6	29,1	29,7	30	30,3	30,50	30,90	31,10	31,10	30,90	30,60	30,20	
PINDAL	Jueves, 12/12/2008	1M	22,4	22,70	22,80	24,70	23,80	24,10	23,90	23,70	23,40	23,10	23,20	23,00	23,00	
	Viernes, 06/03/2009	2M	23	22,90	23,70	24,30	24,50	23,90	24,60	23,50	23,50	23,40	23,30	23,30	23,30	
	Martes, 21/04/2009	3M	23,5	23,20	24,10	24,80	24,90	25,20	25,10	24,90	24,70	24,00	23,80	23,60	23,60	
	Sábado, 30/05/09	4M	23	23,20	23,30	23,10	23,10	23,30	23,90	23,60	23,30	23,00	22,90	22,90	22,90	
	Domingo, 02/08/09	5M	23,5	23	23,5	24	25	25,50	26,00	25,00	25,00	24,00	24,00	24,00		
	Lunes, 30/11/09	6M	23,5	23	23,5	24	25	25,50	26,00	25,00	25,00	24,00	24,00	24,00		

Tabla 3-A. PH

Media de cada zona de estudio	06h00	07h00	08h00	09h00	10h00	11h00	12h00	13h00	14h00	15h00	16h00	17h00	18h00
Celica	7,45	7,57	7,17	7,24	7,16	7,10	6,97	6,96	7,08	7,22	7,22	7,06	6,97
Gonzanamá	7,27	7,35	7,28	7,08	6,94	6,93	6,84	6,83	6,78	6,87	7,02	6,93	7,05
Olmedo	7,05	7,10	7,12	7,06	6,97	7,03	7,00	7,01	7,11	7,04	7,01	6,95	6,99
Zapotillo	7,14	7,24	7,25	7,22	7,23	7,25	7,30	7,19	7,20	7,23	7,20	7,29	7,27
Pindal	7,39	7,47	7,38	7,38	7,22	7,35	7,19	7,21	7,19	7,27	7,18	7,28	7,23
Promedio aritmético	7,26	7,34	7,24	7,20	7,10	7,13	7,06	7,04	7,07	7,13	7,12	7,10	7,10
MAX.	7,45	7,57	7,38	7,38	7,23	7,35	7,30	7,21	7,20	7,27	7,22	7,29	7,27
MIN.	7,05	7,10	7,12	7,06	6,94	6,93	6,84	6,83	6,78	6,87	7,01	6,93	6,97
Desviación	0,17	0,18	0,10	0,13	0,14	0,17	0,18	0,16	0,17	0,17	0,10	0,17	0,14



estándar															
----------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Tabla 4-A. Sólidos totales

Media de cada zona de estudio	06h00	07h00	08h00	09h00	10h00	11h00	12h00	13h00	14h00	15h00	16h00	17h00	18h00
Celica	607,0	631,4	576,2	535,5	564,8	464,8	444,7	476,5	461,8	421,0	497,5	530,5	563,8
Gonzanamá	255,7	354,8	308,8	305,5	308,2	289,2	289,8	288,0	349,3	284,7	282,3	337,7	328,8
Olmedo	373,8	415,0	398,3	447,0	398,0	411,7	332,0	324,3	372,3	431,7	465,3	425,3	392,8
Zapotillo	827,8	930,0	827,3	838,0	885,7	826,3	847,3	909,0	917,7	890,0	902,7	961,3	896,0
Pindal	575,0	576,0	642,0	529,6	571,6	488,7	510,0	523,0	510,7	463,5	535,0	468,0	452,0
Promedio aritmético	527,9	581,4	550,5	531,1	545,7	496,1	484,8	504,2	522,4	498,2	536,6	544,6	526,7
MAX.	827,8	930,0	827,3	838,0	885,7	826,3	847,3	909,0	917,7	890,0	902,7	961,3	896,0
MIN.	255,7	354,8	308,8	305,5	308,2	289,2	289,8	288,0	349,3	284,7	282,3	337,7	328,8
Desviación estándar	221,5	225,3	204,5	195,0	220,7	200,0	220,8	247,0	230,5	229,5	226,5	243,3	223,8

Media ponderada de cada zona de estudio	Población actual en cada zona de estudio	Peso asignado a cada zona de estudio (%)	06h00	07h00	08h00	09h00	10h00	11h00	12h00	13h00	14h00	15h00	16h00	17h00	18h00
Celica	4220	0,14	85,0	88,4	80,7	75,0	79,1	65,1	62,3	66,7	64,7	58,9	69,7	74,3	78,9
Gonzanamá	1539	0,21	53,7	74,5	64,9	64,2	64,7	60,7	60,9	60,5	73,4	59,8	59,3	70,9	69,0
Olmedo	799	0,23	86,0	95,5	91,6	102,8	91,5	94,7	76,4	74,6	85,6	99,3	107,0	97,8	90,3
Zapotillo	1960	0,20	165,6	186,0	165,5	167,6	177,1	165,3	169,5	181,8	183,5	178,0	180,5	192,3	179,2
Pindal	1354	0,22	126,5	126,7	141,2	116,5	125,8	107,5	112,2	115,1	112,3	102,0	117,7	103,0	99,4

Tabla 5-A. Sólidos disueltos

Media de cada zona de estudio	06h00	07h00	08h00	09h00	10h00	11h00	12h00	13h00	14h00	15h00	16h00	17h00	18h00
Celica	280,2	299,7	254,3	222,2	271,6	221,3	184,5	202,9	201,7	212,1	216,1	193,8	216,4
Gonzanamá	115,1	160,7	139,1	109,2	97,7	96,1	91,3	89,2	92,0	86,4	105,0	89,7	92,5
Olmedo	200,7	200,5	191,6	205,1	194,0	193,4	181,5	164,5	166,1	160,7	175,2	174,3	168,6
Zapotillo	438,6	421,0	390,0	407,0	416,3	424,3	428,7	440,8	472,8	470,0	468,3	443,2	468,8
Pindal	222,5	234,8	213,5	220,7	221,6	206,1	207,0	204,6	203,2	185,6	172,1	185,0	191,7
Promedio aritmético	251,4	263,3	237,7	232,8	240,2	228,3	218,6	220,4	227,1	222,9	227,4	217,2	227,6
Máximo	438,6	421,0	390,0	407,0	416,3	424,3	428,7	440,8	472,8	470,0	468,3	443,2	468,8
Mínimo	115,1	160,7	139,1	109,2	97,7	96,1	91,3	89,2	92,0	86,4	105,0	89,7	92,5
Desviación estándar	120,3	101,8	94,7	108,0	117,0	120,1	125,5	131,8	144,6	145,9	140,5	133,0	142,6

Media ponderada de cada zona de estudio	Población actual en cada zona de estudio	Peso asignado a cada zona de estudio (%)	06h00	07h00	08h00	09h00	10h00	11h00	12h00	13h00	14h00	15h00	16h00	17h00	18h00
Celica	4220	0,14	39,2	42,0	35,6	31,1	38,0	31,0	25,8	28,4	28,2	29,7	30,3	27,1	30,3
Gonzanamá	1539	0,21	24,2	33,8	29,2	22,9	20,5	20,2	19,2	18,7	19,3	18,1	22,1	18,8	19,4
Olmedo	799	0,23	46,2	46,1	44,1	47,2	44,6	44,5	41,7	37,8	38,2	37,0	40,3	40,1	38,8
Zapotillo	1960	0,20	87,7	84,2	78,0	81,4	83,3	84,9	85,7	88,2	94,6	94,0	93,7	88,6	93,8
Pindal	1354	0,22	48,9	51,7	47,0	48,6	48,7	45,3	45,5	45,0	44,7	40,8	37,9	40,7	42,2



Tabla 6-A. Sólidos en suspensión

Media de cada zona de estudio	06h00	07h00	08h00	09h00	10h00	11h00	12h00	13h00	14h00	15h00	16h00	17h00	18h00
Celica	150,8	163,8	127,2	140,8	136,7	120,5	115,5	136,5	121,3	117,0	124,5	105,4	117,3
Gonzanamá	39,2	79,8	51,2	57,2	77,5	58,2	54,5	45,8	82,4	64,2	71,2	53,8	71,4
Olmedo	44,2	47,3	46,2	52,2	53,7	38,5	32,5	37,0	57,7	48,7	44,5	58,5	38,8
Zapotillo	59,4	93,8	71,2	59,8	71,0	90,2	85,8	93,7	89,0	76,8	84,5	93,7	85,3
Pindal	77,6	98,6	110,6	92,4	78,9	60,0	58,6	67,3	81,4	69,4	66,2	59,9	65,7
Promedio aritmético	74,2	96,7	81,3	80,5	83,6	73,5	69,4	76,1	86,4	75,2	78,2	74,3	75,7
MAX.	150,8	163,8	127,2	140,8	136,7	120,5	115,5	136,5	121,3	117,0	124,5	105,4	117,3
MIN.	39,2	47,3	46,2	52,2	53,7	38,5	32,5	37,0	57,7	48,7	44,5	53,8	38,8
Desviación estándar	45,3	42,5	36,1	37,3	31,3	32,1	32,0	40,2	22,9	25,5	29,6	23,5	28,8

Media ponderada de cada zona de estudio	Población actual en cada zona de estudio	Peso asignado a cada zona de estudio (%)	06h00	07h00	08h00	09h00	10h00	11h00	12h00	13h00	14h00	15h00	16h00	17h00	18h00
Celica	4220	0,14	21,1	22,9	17,8	19,7	19,1	16,9	16,2	19,1	17,0	16,4	17,4	14,8	16,4
Gonzanamá	1539	0,21	8,2	16,8	10,7	12,0	16,3	12,2	11,4	9,6	17,3	13,5	14,9	11,3	15,0
Olmedo	799	0,23	10,2	10,9	10,6	12,0	12,3	8,9	7,5	8,5	13,3	11,2	10,2	13,5	8,9
Zapotillo	1960	0,20	11,9	18,8	14,2	12,0	14,2	18,0	17,2	18,7	17,8	15,4	16,9	18,7	17,1
Pindal	1354	0,22	17,1	21,7	24,3	20,3	17,4	13,2	12,9	14,8	17,9	15,3	14,6	13,2	14,4

Tabla 7-A. Nitrógeno orgánico

Media de cada zona de estudio	06h00	07h00	08h00	09h00	10h00	11h00	12h00	13h00	14h00	15h00	16h00	17h00	18h00
Celica	24,0	25,2	22,4	22,8	19,9	13,5	17,5	13,3	18,2	13,6	20,0	17,1	20,0
Gonzanamá	17,7	23,6	14,6	17,3	14,3	11,0	9,5	8,7	9,5	8,8	8,7	9,7	9,6
Olmedo	18,3	18,0	13,1	16,3	11,8	9,0	11,5	9,4	9,8	13,9	14,8	12,7	12,8
Zapotillo	10,8	17,2	18,6	15,1	21,5	18,4	16,2	12,9	14,9	18,1	14,3	14,7	24,5
Pindal	14,6	24,5	18,3	18,3	15,1	11,5	12,3	10,8	11,5	11,1	15,7	9,7	11,7
Promedio aritmético	17,1	21,7	17,4	18,0	16,5	12,7	13,4	11,0	12,8	13,1	14,7	12,8	15,7
MAX.	24,0	25,2	22,4	22,8	21,5	18,4	17,5	13,3	18,2	18,1	20,0	17,1	24,5
MIN.	10,8	17,2	13,1	15,1	11,8	9,0	9,5	8,7	9,5	8,8	8,7	9,7	9,6
Desviación estándar	4,9	3,8	3,7	3,0	4,0	3,6	3,4	2,0	3,7	3,5	4,1	3,2	6,3

Media ponderada de cada zona de estudio	Población actual en cada zona de estudio	Peso asignado a cada zona de estudio (%)	06h00	07h00	08h00	09h00	10h00	11h00	12h00	13h00	14h00	15h00	16h00	17h00	18h00
Celica	4220	0,14	3,4	3,5	3,1	3,2	2,8	1,9	2,5	1,9	2,6	1,9	2,8	2,4	2,8
Gonzanamá	1539	0,21	3,7	4,9	3,1	3,6	3,0	2,3	2,0	1,8	2,0	1,9	1,8	2,0	2,0
Olmedo	799	0,23	4,2	4,1	3,0	3,7	2,7	2,1	2,6	2,2	2,3	3,2	3,4	2,9	2,9
Zapotillo	1960	0,20	2,2	3,4	3,7	3,0	4,3	3,7	3,2	2,6	3,0	3,6	2,9	2,9	4,9
Pindal	1354	0,22	3,2	5,4	4,0	4,0	3,3	2,5	2,7	2,4	2,5	2,4	3,5	2,1	2,6



Tabla 8-A. Nitrógeno amoniacal

Media de cada zona de estudio	06h00	07h00	08h00	09h00	10h00	11h00	12h00	13h00	14h00	15h00	16h00	17h00	18h00
Celica	43,6	38,3	25,8	21,0	16,6	13,7	10,6	12,6	14,2	18,2	14,6	13,8	16,3
Gonzanamá	15,4	27,2	20,9	11,1	8,4	7,9	5,2	5,6	7,5	8,1	8,6	6,1	7,3
Olmedo	9,6	12,5	12,0	13,1	10,9	10,8	10,9	7,8	8,6	9,1	8,9	8,5	7,5
Zapotillo	44,3	39,6	33,5	35,5	32,6	35,9	34,1	35,6	38,1	34,5	36,9	36,1	25,6
Pindal	21,3	26,5	23,0	18,4	14,1	11,8	10,6	11,1	12,7	11,0	7,4	10,3	11,4
Promedio aritmético	26,8	28,8	23,0	19,8	16,5	16,0	14,3	14,5	16,2	16,2	15,3	15,0	13,6
Máxima	44,3	39,6	33,5	35,5	32,6	35,9	34,1	35,6	38,1	34,5	36,9	36,1	25,6
Mínimo	9,6	12,5	12,0	11,1	8,4	7,9	5,2	5,6	7,5	8,1	7,4	6,1	7,3
Desviación estándar	16,2	11,0	7,8	9,6	9,5	11,3	11,3	12,1	12,5	11,0	12,4	12,2	7,6

Media ponderada de cada zona de estudio	Población actual en cada zona de estudio	Peso asignado a cada zona de estudio (%)	06h00	07h00	08h00	09h00	10h00	11h00	12h00	13h00	14h00	15h00	16h00	17h00	18h00
Celica	4220	0,14	6,1	5,4	3,6	2,9	2,3	1,9	1,5	1,8	2,0	2,5	2,0	1,9	2,3
Gonzanamá	1539	0,21	3,2	5,7	4,4	2,3	1,8	1,7	1,1	1,2	1,6	1,7	1,8	1,3	1,5
Olmedo	799	0,23	2,2	2,9	2,8	3,0	2,5	2,5	2,5	1,8	2,0	2,1	2,0	2,0	1,7
Zapotillo	1960	0,20	8,9	7,9	6,7	7,1	6,5	7,2	6,8	7,1	7,6	6,9	7,4	7,2	5,1
Pindal	1354	0,22	4,7	5,8	5,1	4,0	3,1	2,6	2,3	2,4	2,8	2,4	1,6	2,3	2,5

Tabla 9-A. Nitrógeno de nitrato

Media de cada zona de estudio	06h00	07h00	08h00	09h00	10h00	11h00	12h00	13h00	14h00	15h00	16h00	17h00	18h00
Celica	3,2	3,5	3,5	3,3	3,2	2,7	2,6	2,3	2,7	2,6	3,6	3,1	3,0
Gonzanamá	1,5	1,6	2,3	2,0	1,9	2,0	1,8	1,6	2,5	2,0	1,3	1,3	1,1
Olmedo	1,6	1,3	1,7	1,6	1,3	1,3	1,1	0,9	1,1	1,3	1,3	1,4	1,4
Zapotillo	3,5	3,3	3,3	3,6	4,0	3,7	4,0	4,1	4,1	4,0	3,9	3,7	3,6
Pindal	1,7	1,7	2,3	1,8	1,2	1,4	1,4	1,5	1,5	1,2	1,2	1,3	1,3
Promedio aritmético	2,3	2,3	2,6	2,5	2,3	2,2	2,2	2,1	2,4	2,2	2,3	2,2	2,1
MAX.	3,5	3,5	3,5	3,6	4,0	3,7	4,0	4,1	4,1	4,0	3,9	3,7	3,6
MIN.	1,5	1,3	1,7	1,6	1,2	1,3	1,1	0,9	1,1	1,2	1,2	1,3	1,1
Desviación estándar	1,0	1,0	0,8	0,9	1,2	1,0	1,2	1,3	1,2	1,1	1,4	1,2	1,1

Media ponderada de cada zona de estudio	Población actual en cada zona de estudio	Peso asignado a cada zona de estudio (%)	06h00	07h00	08h00	09h00	10h00	11h00	12h00	13h00	14h00	15h00	16h00	17h00	18h00
Celica	4220	0,14	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4
Gonzanamá	1539	0,21	0,3	0,3	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2
Olmedo	799	0,23	0,4	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3
Zapotillo	1960	0,20	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7
Pindal	1354	0,22	0,4	0,4	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3



Tabla 10-A. Nitrógeno de nitrito

Media de cada zona de estudio	06h00	07h00	08h00	09h00	10h00	11h00	12h00	13h00	14h00	15h00	16h00	17h00	18h00
Celica	0,0	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0
Gonzanamá	0,3	0,2	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1
Olmedo	0,2	0,3	0,2	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1
Zapotillo	0,1	0,0	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1
Pindal	0,3	0,0	0,2	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1
Promedio aritmético	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
MAX.	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1
MIN.	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Desviación estándar	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0

Tabla 11-A. Cloruro

Media de cada zona de estudio	06h00	07h00	08h00	09h00	10h00	11h00	12h00	13h00	14h00	15h00	16h00	17h00	18h00
Celica	56,3	57,4	47,3	44,3	45,5	40,4	40,2	48,0	44,2	43,5	48,8	37,8	45,7
Gonzanamá	36,9	46,0	46,8	32,4	28,3	29,7	30,6	29,7	28,1	25,5	34,3	26,2	33,8
Olmedo	29,9	29,6	28,8	32,7	30,3	31,1	33,6	28,0	27,3	24,5	27,2	26,8	36,6
Zapotillo	19,2	30,5	28,0	30,5	20,3	28,6	20,2	20,7	19,5	20,3	20,4	23,4	25,7
Pindal	46,6	51,0	41,1	42,2	39,7	41,2	43,8	38,8	38,4	34,6	33,8	35,5	37,5
Promedio aritmético	37,8	42,9	38,4	36,4	32,8	34,2	33,7	33,0	31,5	29,7	32,9	29,9	35,8
MAX.	56,3	57,4	47,3	44,3	45,5	41,2	43,8	48,0	44,2	43,5	48,8	37,8	45,7
MIN.	19,2	29,6	28,0	30,5	20,3	28,6	20,2	20,7	19,5	20,3	20,4	23,4	25,7
Desviación estándar	14,4	12,4	9,4	6,3	9,9	6,1	9,2	10,6	9,8	9,3	10,6	6,3	7,2

Tabla 12-A. Fósforo orgánico

Media de cada zona de estudio	06h00	07h00	08h00	09h00	10h00	11h00	12h00	13h00	14h00	15h00	16h00	17h00	18h00
Celica	1,0	1,1	0,9	0,8	0,8	0,6	0,7	0,7	0,9	0,5	0,7	0,8	0,8
Gonzanamá	0,5	0,9	0,6	0,4	0,7	0,6	0,5	0,5	0,9	0,6	0,4	0,3	0,3
Olmedo	0,5	0,6	0,7	0,5	0,7	0,5	0,9	0,9	0,7	0,7	0,7	0,5	0,6
Zapotillo	0,7	0,7	0,6	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,5	0,7	0,6	0,5	0,5
Pindal	1,0	1,1	1,1	0,9	1,1	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,6	0,5	0,7
Promedio aritmético	0,7	0,9	0,8	0,6	0,7	0,6	0,7	0,7	0,8	0,7	0,6	0,5	0,6
MAX.	1,0	1,1	1,1	0,9	1,1	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,7	0,8	0,8
MIN.	0,5	0,6	0,6	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,5	0,5	0,4	0,3	0,3
Desviación estándar	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2

Tabla 13-A. Fósforo inorgánico

Media de cada zona de estudio	06h00	07h00	08h00	09h00	10h00	11h00	12h00	13h00	14h00	15h00	16h00	17h00	18h00
-------------------------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------



Celica	5,0	5,1	4,0	3,4	3,3	3,5	2,2	2,5	2,3	2,6	2,7	3,4	2,6
Gonzanamá	1,7	2,9	2,6	1,4	1,5	1,6	1,1	1,1	1,6	1,2	1,0	1,1	1,1
Olmedo	2,2	2,8	2,2	2,8	2,7	2,4	1,5	1,6	1,7	1,8	2,3	1,8	1,4
Zapotillo	5,1	5,3	4,7	5,1	5,7	5,6	5,8	5,8	5,9	5,5	5,5	5,1	4,9
Pindal	1,7	3,1	3,9	3,0	3,1	2,2	2,2	3,0	2,2	2,6	1,7	1,8	1,7
Promedio aritmético	3,1	3,9	3,5	3,1	3,3	3,1	2,6	2,8	2,8	2,7	2,6	2,6	2,4
MAX.	5,1	5,3	4,7	5,1	5,7	5,6	5,8	5,8	5,9	5,5	5,5	5,1	4,9
MIN.	1,7	2,8	2,2	1,4	1,5	1,6	1,1	1,1	1,6	1,2	1,0	1,1	1,1
Desviación estándar	1,7	1,2	1,1	1,4	1,5	1,6	1,9	1,8	1,8	1,6	1,7	1,6	1,6

Tabla 14-A. Alcalinidad

Media de cada zona de estudio	06h00	07h00	08h00	09h00	10h00	11h00	12h00	13h00	14h00	15h00	16h00	17h00	18h00
Celica	259,5	284,3	210,7	162,7	158,7	143,3	130,3	134,7	131,3	145,3	142,3	132,3	149,0
Gonzanamá	113,7	159,2	126,2	105,4	104,9	98,4	98,6	95,2	97,7	106,5	102,3	86,3	101,2
Olmedo	188,0	178,5	179,4	180,8	183,2	179,7	175,1	167,5	165,7	157,6	164,0	161,8	154,7
Zapotillo	489,2	462,5	422,5	427,7	452,3	427,9	445,4	449,6	451,9	441,7	434,9	421,9	380,7
Pindal	209,6	241,2	234,8	231,2	208,8	202,9	194,6	199,3	215,4	186,7	180,7	186,6	196,6
Promedio aritmético	252,0	265,1	234,7	221,6	221,6	210,4	208,8	209,3	212,4	207,6	204,8	197,8	196,4
MAX.	489,2	462,5	422,5	427,7	452,3	427,9	445,4	449,6	451,9	441,7	434,9	421,9	380,7
MIN.	113,7	159,2	126,2	105,4	104,9	98,4	98,6	95,2	97,7	106,5	102,3	86,3	101,2
Desviación estándar	142,6	121,0	112,6	123,7	134,6	127,8	137,5	139,8	140,8	134,0	131,9	130,7	108,4

Media ponderada de cada zona de estudio	Población actual en cada zona de estudio	Peso asignado a cada zona de estudio (%)	06h00	07h00	08h00	09h00	10h00	11h00	12h00	13h00	14h00	15h00	16h00	17h00	18h00
Celica	4220	0,14	36,3	39,8	29,5	22,8	22,2	20,1	18,2	18,9	18,4	20,3	19,9	18,5	20,9
Gonzanamá	1539	0,21	23,9	33,4	26,5	22,1	22,0	20,7	20,7	20,0	20,5	22,4	21,5	18,1	21,3
Olmedo	799	0,23	43,2	41,1	41,3	41,6	42,1	41,3	40,3	38,5	38,1	36,2	37,7	37,2	35,6
Zapotillo	1960	0,20	97,8	92,5	84,5	85,5	90,5	85,6	89,1	89,9	90,4	88,3	87,0	84,4	76,1
Pindal	1354	0,22	46,1	53,1	51,7	50,9	45,9	44,6	42,8	43,8	47,4	41,1	39,7	41,0	43,3



Tabla 15-A. Grasas

Media de cada zona de estudio	06h00	07h00	08h00	09h00	10h00	11h00	12h00	13h00	14h00	15h00	16h00	17h00	18h00
Celica	59,8	60,3	46,6	38,7	44,0	42,7	49,7	50,3	49,7	45,1	50,7	44,7	44,7
Gonzanamá	34,3	41,0	35,3	28,3	49,5	52,0	64,0	61,0	27,0	33,3	36,3	31,3	40,8
Olmedo	45,2	51,3	59,3	38,0	67,0	63,5	52,3	54,7	66,0	70,3	33,0	50,0	60,4
Zapotillo	69,6	61,3	52,0	49,3	60,3	71,7	50,0	50,7	49,0	53,0	58,0	68,7	44,0
Pindal	38,3	49,2	49,8	48,9	37,3	32,2	28,8	33,2	27,8	38,5	38,8	36,2	43,0
Promedio aritmético	49,4	52,6	48,6	40,7	51,6	52,4	49,0	50,0	43,9	48,1	43,4	46,2	46,6
MAX.	69,6	61,3	59,3	49,3	67,0	71,7	64,0	61,0	66,0	70,3	58,0	68,7	60,4
MIN.	34,3	41,0	35,3	28,3	37,3	32,2	28,8	33,2	27,0	33,3	33,0	31,3	40,8
Desviación estándar	14,9	8,4	8,8	8,8	12,0	15,8	12,7	10,3	16,5	14,5	10,5	14,5	7,9

Tabla 16-A. Carbono orgánico total (COT)

Media de cada zona de estudio	06h00	07h00	08h00	09h00	10h00	11h00	12h00	13h00	14h00	15h00	16h00	17h00	18h00
Celica	171,1	222,2	199,0	173,3	217,8	191,2	179,8	170,3	196,6	169,3	226,5	234,6	209,3
Gonzanamá	69,8	121,0	86,9	108,6	88,0	105,9	97,9	102,5	89,1	100,1	78,8	81,4	96,6
Olmedo	116,1	122,1	121,4	117,4	90,0	98,9	70,3	75,3	78,1	108,3	138,3	122,7	91,5
Zapotillo	142,3	187,2	223,3	186,3	193,7	173,5	186,1	214,8	219,9	220,9	207,5	204,6	214,4
Pindal	97,3	190,5	169,9	172,6	142,3	141,9	103,4	138,2	138,2	136,4	144,5	95,4	98,2
Promedio aritmético	119,3	168,6	160,1	151,6	146,4	142,3	127,5	140,2	144,4	147,0	159,1	147,8	142,0
MAX.	171,1	222,2	223,3	186,3	217,8	191,2	186,1	214,8	219,9	220,9	226,5	234,6	214,4
MIN.	69,8	121,0	86,9	108,6	88,0	98,9	70,3	75,3	78,1	100,1	78,8	81,4	91,5
Desviación estándar	39,2	45,1	55,8	35,8	59,0	40,5	52,2	55,0	63,1	49,4	59,1	68,1	63,8

Tabla 17-A. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

Media de cada zona de estudio	06h00	07h00	08h00	09h00	10h00	11h00	12h00	13h00	14h00	15h00	16h00	17h00	18h00
Celica	219,3	292,5	255,7	243,4	237,0	214,6	208,3	216,5	218,7	195,2	250,1	250,2	262,5
Gonzanamá	73,2	126,1	94,9	117,4	123,9	117,7	105,4	112,5	114,6	117,9	111,9	104,2	139,4
Olmedo	120,5	130,8	134,3	133,5	117,6	114,9	94,8	95,6	91,7	116,8	137,7	115,5	103,8
Zapotillo	149,5	193,2	161,5	185,3	191,8	184,0	183,3	213,5	220,3	212,6	272,6	256,1	243,3
Pindal	110,0	238,2	212,3	216,5	169,1	149,6	118,8	152,6	170,1	136,0	167,6	116,6	123,6
Promedio aritmético	134,5	196,2	171,7	179,2	167,9	156,1	142,1	158,2	163,1	155,7	188,0	168,5	174,5
MAX.	219,3	292,5	255,7	243,4	237,0	214,6	208,3	216,5	220,3	212,6	272,6	256,1	262,5
MIN.	73,2	126,1	94,9	117,4	117,6	114,9	94,8	95,6	91,7	116,8	111,9	104,2	103,8
Desviación estándar	54,7	71,1	63,5	53,5	49,5	43,1	50,5	55,9	58,9	45,1	70,3	77,4	73,0



Tabla 18-A. Demanda química de oxígeno (DQO)

Media de cada zona de estudio	06h00	07h00	08h00	09h00	10h00	11h00	12h00	13h00	14h00	15h00	16h00	17h00	18h00
Celica	474,0	630,0	532,0	510,0	528,5	463,7	432,0	459,0	482,7	407,3	542,0	530,0	548,0
Gonzanamá	155,7	266,5	206,3	253,7	301,3	267,0	231,7	250,3	255,3	245,7	245,3	236,3	306,8
Olmedo	269,2	279,2	295,5	299,2	250,3	261,3	204,8	211,0	206,8	264,5	300,3	274,8	230,2
Zapotillo	334,4	396,8	356,8	399,3	424,3	377,3	386,7	455,7	449,3	456,0	585,7	522,0	508,7
Pindal	239,2	474,4	456,4	451,8	383,3	350,7	287,7	348,3	384,0	322,7	379,8	275,3	275,7
Promedio aritmético	294,5	409,4	369,4	382,8	377,6	344,0	308,6	344,9	355,6	339,2	410,6	367,7	373,9
MAX.	474,0	630,0	532,0	510,0	528,5	463,7	432,0	459,0	482,7	456,0	585,7	530,0	548,0
MIN.	155,7	266,5	206,3	253,7	250,3	261,3	204,8	211,0	206,8	245,7	245,3	236,3	230,2
Desviación estándar	119,1	150,4	128,7	105,9	108,4	84,0	98,0	114,2	120,3	90,7	148,6	145,4	144,3

Tabla 19-A. Boro

Media de cada zona de estudio	06h00	07h00	08h00	09h00	10h00	11h00	12h00	13h00	14h00	15h00	16h00	17h00	18h00
Celica	1,2	0,5	0,5	0,5	0,5	0,8	1,1	0,8	0,8	0,8	0,6	0,8	0,5
Gonzanamá	0,6	0,8	0,8	0,9	0,7	0,8	1,3	0,9	0,7	0,7	0,8	0,5	0,8
Olmedo	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,7	0,8	0,7	0,5	0,6	0,7	0,5	0,8
Zapotillo	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,6	0,9	0,8	0,8	1,0
Pindal	1,1	1,1	1,0	1,1	0,8	0,8	0,9	0,8	0,8	0,7	0,8	0,7	0,8
Promedio aritmético	0,9	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	1,0	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8
MAX.	1,2	1,1	1,0	1,1	0,8	0,8	1,3	0,9	0,8	0,9	0,8	0,8	1,0
MIN.	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	0,8	0,7	0,5	0,6	0,6	0,5	0,5
Desviación estándar	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,0	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2

Tabla 20-A. Coliformes totales

Media de cada zona de estudio	10h00	12h00	15h00	18h00
Celica	5,0E+07	6,0E+07	6,5E+07	8,4E+07
Gonzanamá	4,6E+07	4,2E+07	3,6E+07	3,8E+07
Olmedo	7,7E+07	5,4E+07	6,9E+07	6,0E+07
Zapotillo	6,6E+07	5,1E+07	5,3E+07	5,0E+07
Pindal	7,4E+07	5,4E+07	6,3E+07	4,2E+07
Promedio aritmético	6,3E+07	5,2E+07	5,7E+07	5,5E+07
MAX.	7,7E+07	6,0E+07	6,9E+07	8,4E+07
MIN.	4,6E+07	4,2E+07	3,6E+07	3,8E+07
Desviación estándar	1,4E+07	6,6E+06	1,3E+07	1,8E+07



Tabla 22-A. Coliformes fecales

Media de cada zona de estudio	10h00	12h00	15h00	18h00
Celica	3,6E+07	3,2E+07	2,8E+07	4,0E+07
Gonzanamá	2,9E+07	2,2E+07	2,4E+07	2,5E+07
Olmedo	5,5E+07	4,4E+07	4,7E+07	4,5E+07
Zapotillo	4,6E+07	3,8E+07	3,8E+07	3,1E+07
Pindal	4,3E+07	5,1E+07	3,9E+07	3,3E+07
Promedio aritmético	4,2E+07	3,7E+07	3,5E+07	3,5E+07
MAX.	5,5E+07	5,1E+07	4,7E+07	4,5E+07
MIN.	2,9E+07	2,2E+07	2,4E+07	2,5E+07
Desviación estándar	9,7E+06	1,1E+07	9,2E+06	8,0E+06

Tabla 22-A. Escherichia coli

Media de cada zona de estudio	10h00	12h00	15h00	18h00
Celica	2,8E+07	2,5E+07	2,3E+07	3,1E+07
Gonzanamá	1,7E+07	2,8E+07	1,3E+07	1,8E+07
Olmedo	2,6E+07	1,8E+07	2,5E+07	2,3E+07
Zapotillo	2,0E+07	1,6E+07	3,0E+07	2,0E+07
Pindal	1,6E+07	3,6E+07	2,2E+07	2,2E+07
Promedio aritmético	2,1E+07	2,5E+07	2,2E+07	2,3E+07
MAX.	2,8E+07	3,6E+07	3,0E+07	3,1E+07
MIN.	1,6E+07	1,6E+07	1,3E+07	1,8E+07
Desviación estándar	5,4E+06	7,9E+06	6,3E+06	4,9E+06

Tabla 23-A. Cobre

Media de cada zona de estudio	06h00	07h00	08h00	09h00	10h00	11h00	12h00	13h00	14h00	15h00	16h00	17h00	18h00
Celica		3,1E-02	3,8E-02	4,2E-02	2,5E-02	2,0E-02	2,4E-02	3,1E-02	3,1E-02	3,8E-02	2,1E-02	1,4E-02	2,0E-02
Gonzanamá			1,3E-02								3,3E-02		
Olmedo	1,3E-02	1,3E-02	1,5E-02	4,2E-02	3,7E-02	4,6E-02	3,9E-02	4,0E-02	3,0E-02	4,3E-02	3,8E-02	4,0E-02	
Zapotillo	3,8E-02	2,3E-02	2,2E-02	1,5E-02	2,0E-02	2,2E-02	2,1E-02	2,2E-02	2,4E-02	2,2E-02	2,2E-02	2,4E-02	2,4E-02
Pindal			2,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	6,0E-03	9,0E-03	1,1E-02	6,0E-03	1,0E-02	6,0E-03	1,6E-02	2,1E-02
Promedio aritmético	2,5E-02	2,2E-02	2,1E-02	2,7E-02	2,3E-02	2,4E-02	2,3E-02	2,6E-02	2,3E-02	2,8E-02	2,4E-02	2,4E-02	2,2E-02
MAX.	3,8E-02	3,1E-02	3,8E-02	4,2E-02	3,7E-02	4,6E-02	3,9E-02	4,0E-02	3,1E-02	4,3E-02	3,8E-02	4,0E-02	2,4E-02
MIN.	1,3E-02	1,3E-02	1,3E-02	1,0E-02	1,0E-02	6,0E-03	9,0E-03	1,1E-02	6,0E-03	1,0E-02	6,0E-03	1,4E-02	2,0E-02
Desviación estándar	1,7E-02	9,3E-03	9,7E-03	1,7E-02	1,1E-02	1,7E-02	1,2E-02	1,2E-02	1,2E-02	1,5E-02	1,2E-02	1,2E-02	2,3E-03



Tabla 24-A. Hierro

Media de cada zona de estudio	06h00	07h00	08h00	09h00	10h00	11h00	12h00	13h00	14h00	15h00	16h00	17h00	18h00
Celica	8,0E-01	6,9E-01	8,0E-01	6,7E-01	7,0E-01	9,5E-01	8,8E-01	8,1E-01	7,7E-01	8,6E-01	7,9E-01	9,2E-01	7,4E-01
Gonzanamá	1,4E+00	1,4E+00	1,4E+00	1,2E+00	1,2E+00	9,0E-01	7,6E-01	7,7E-01	7,2E-01	1,0E+00	6,3E-01	1,2E+00	8,0E-01
Olmedo	6,5E-01	5,6E-01	7,0E-01	7,5E-01	5,7E-01	7,8E-01	4,8E-01	4,3E-01	4,5E-01	6,3E-01	5,7E-01	4,5E-01	4,4E-01
Zapotillo	1,8E-01	2,9E-01	3,8E-01	3,0E-01	2,3E-01	2,9E-01	3,1E-01	2,2E-01	2,8E-01	3,7E-01	2,5E-01	3,1E-01	2,1E-01
Pindal	6,5E-01	6,4E-01	4,9E-01	6,3E-01	7,5E-01	4,7E-01	6,8E-01	9,0E-01	8,4E-01	6,1E-01	1,0E+00	9,5E-01	9,0E-01
Promedio aritmético	7,4E-01	7,1E-01	7,5E-01	7,0E-01	6,9E-01	6,8E-01	6,2E-01	6,3E-01	6,1E-01	7,0E-01	6,5E-01	7,7E-01	6,2E-01
MAX.	1,4E+00	1,4E+00	1,4E+00	1,2E+00	1,2E+00	9,5E-01	8,8E-01	9,0E-01	8,4E-01	1,0E+00	1,0E+00	1,2E+00	9,0E-01
MIN.	1,8E-01	2,9E-01	3,8E-01	3,0E-01	2,3E-01	2,9E-01	3,1E-01	2,2E-01	2,8E-01	3,7E-01	2,5E-01	3,1E-01	2,1E-01
Desviación estándar	4,6E-01	4,0E-01	3,8E-01	3,1E-01	3,4E-01	2,9E-01	2,3E-01	2,9E-01	2,4E-01	2,5E-01	2,8E-01	3,8E-01	2,8E-01

Tabla 25-A. Plomo

Media de cada zona de estudio	06h00	07h00	08h00	09h00	10h00	11h00	12h00	13h00	14h00	15h00	16h00	17h00	18h00
Celica	1,8E-02	1,3E-02	1,5E-02	1,3E-02	1,5E-02	1,8E-02	1,8E-02	1,5E-02	1,4E-02	1,5E-02	1,4E-02	1,5E-02	1,3E-02
Gonzanamá	1,7E-02	1,5E-02	1,8E-02	2,4E-02	2,1E-02	1,8E-02	1,4E-02	2,2E-02	1,7E-02	2,3E-02	2,0E-02	2,6E-02	1,9E-02
Olmedo	1,6E-02	7,6E-03	1,3E-02	1,2E-02	1,2E-02	8,6E-03	1,2E-02	8,5E-03	6,7E-03	7,4E-03	7,4E-03	8,4E-03	1,1E-02
Zapotillo	1,0E-02	2,0E-02	1,1E-02	1,1E-02	1,8E-02	5,5E-03	8,3E-03	1,1E-02	1,9E-02	1,2E-02	2,4E-02	5,3E-03	4,0E-03
Pindal	1,4E-02	2,4E-02	2,2E-02	2,2E-02	2,4E-02	2,0E-02	2,3E-02	1,3E-02	1,6E-02	1,7E-02	2,2E-02	9,9E-03	1,6E-02
Promedio aritmético	1,5E-02	1,6E-02	1,6E-02	1,6E-02	1,8E-02	1,4E-02	1,5E-02	1,4E-02	1,4E-02	1,5E-02	1,7E-02	1,3E-02	1,2E-02
MAX.	1,8E-02	2,4E-02	2,2E-02	2,4E-02	2,4E-02	2,0E-02	2,3E-02	2,2E-02	1,9E-02	2,3E-02	2,4E-02	2,6E-02	1,9E-02
MIN.	1,0E-02	7,6E-03	1,1E-02	1,1E-02	1,2E-02	5,5E-03	8,3E-03	8,5E-03	6,7E-03	7,4E-03	7,4E-03	5,3E-03	4,0E-03
Desviación estándar	3,0E-03	6,3E-03	4,0E-03	6,2E-03	5,0E-03	6,5E-03	5,6E-03	5,2E-03	4,6E-03	5,8E-03	6,6E-03	8,2E-03	5,7E-03

Tabla 26-A. Manganeso

Media de cada zona de estudio	06h00	07h00	08h00	09h00	10h00	11h00	12h00	13h00	14h00	15h00	16h00	17h00	18h00
Celica	6,1E-02	5,7E-02	4,2E-02	4,0E-02	4,4E-02	5,3E-02	4,0E-02	4,4E-02	4,5E-02	4,1E-02	5,6E-02	5,0E-02	5,2E-02
Gonzanamá	1,0E-01	9,6E-02	8,9E-02	8,2E-02	8,3E-02	8,9E-02	8,8E-02	9,1E-02	9,8E-02	9,0E-02	8,9E-02	9,2E-02	9,6E-02
Olmedo	4,5E-02	5,1E-02	5,3E-02	5,2E-02	5,4E-02	5,2E-02	5,2E-02	4,6E-02	4,9E-02	4,8E-02	4,4E-02	4,4E-02	5,1E-02
Zapotillo	4,6E-02	4,2E-02	4,2E-02	4,1E-02	4,1E-02	4,3E-02	5,0E-02	5,1E-02	5,0E-02	4,6E-02	5,0E-02	4,8E-02	4,3E-02
Pindal	6,6E-02	7,1E-02	7,8E-02	6,6E-02	7,9E-02	6,5E-02	7,4E-02	7,0E-02	7,8E-02	7,5E-02	6,7E-02	7,4E-02	8,1E-02
Promedio aritmético	6,5E-02	6,3E-02	6,1E-02	5,6E-02	6,0E-02	6,0E-02	6,0E-02	6,1E-02	6,4E-02	6,0E-02	6,1E-02	6,1E-02	6,5E-02
MAX.	1,0E-01	9,6E-02	8,9E-02	8,2E-02	8,3E-02	8,9E-02	8,8E-02	9,1E-02	9,8E-02	9,0E-02	8,9E-02	9,2E-02	9,6E-02
MIN.	4,5E-02	4,2E-02	4,2E-02	4,0E-02	4,1E-02	4,3E-02	4,0E-02	4,4E-02	4,5E-02	4,1E-02	4,4E-02	4,4E-02	4,3E-02
Desviación estándar	2,4E-02	2,1E-02	2,2E-02	1,8E-02	2,0E-02	1,8E-02	2,0E-02	2,0E-02	2,3E-02	2,1E-02	1,8E-02	2,1E-02	2,3E-02



Tabla 27-A. Mercurio

Media de cada zona de estudio	06h00	07h00	08h00	09h00	10h00	11h00	12h00	13h00	14h00	15h00	16h00	17h00	18h00
Celica													
Gonzanamá													
Olmedo	2,3E-03	5,9E-03	5,6E-03	5,2E-03	6,6E-03	5,4E-03	5,5E-03	6,0E-03	5,3E-03	5,9E-03	7,8E-03	6,2E-03	8,1E-03
Zapotillo	1,3E-02	1,3E-02	1,1E-02	1,0E-02	1,3E-02	1,0E-02	1,4E-02	9,0E-03	1,0E-02	1,0E-02	9,0E-03	1,2E-02	1,1E-02
Pindal	1,1E-02	1,9E-02	1,2E-02	1,4E-02	1,2E-02	1,5E-02	1,2E-02	1,6E-02	1,3E-02	1,4E-02	1,4E-02	1,3E-02	1,7E-02
Promedio aritmético	8,8E-03	1,2E-02	9,6E-03	9,6E-03	1,0E-02	1,0E-02	1,1E-02	1,0E-02	9,3E-03	9,9E-03	1,0E-02	1,0E-02	1,2E-02
MAX.	1,3E-02	1,9E-02	1,2E-02	1,4E-02	1,3E-02	1,5E-02	1,4E-02	1,6E-02	1,3E-02	1,4E-02	1,4E-02	1,3E-02	1,7E-02
MIN.	2,3E-03	5,9E-03	5,6E-03	5,2E-03	6,6E-03	5,4E-03	5,5E-03	6,0E-03	5,3E-03	5,9E-03	7,8E-03	6,2E-03	8,1E-03
Desviación estándar	5,7E-03	6,4E-03	3,5E-03	4,2E-03	3,4E-03	4,7E-03	4,5E-03	5,1E-03	3,7E-03	3,9E-03	3,5E-03	3,6E-03	4,4E-03

Tabla 28-A. Zinc

Media de cada zona de estudio	06h00	07h00	08h00	09h00	10h00	11h00	12h00	13h00	14h00	15h00	16h00	17h00	18h00
Celica	3,3E-02	8,4E-02	6,8E-02	4,6E-02	6,5E-02	1,0E-01	9,1E-02	5,0E-02	3,7E-02	5,4E-02	7,9E-02	3,5E-02	9,4E-02
Gonzanamá	7,3E-02	7,4E-02	7,0E-02	8,5E-02	8,3E-02	2,8E-02	7,7E-02	9,9E-02	4,4E-02	2,2E-02	4,6E-02	1,1E-01	3,7E-02
Olmedo		2,2E-02	1,6E-01	5,5E-02	3,3E-02	1,7E-01	6,9E-02	1,4E-01	2,8E-02	4,8E-02	1,2E-01	5,2E-02	3,7E-02
Zapotillo	2,1E-02	3,5E-02	5,9E-02	2,7E-02	5,2E-02	6,4E-02	5,3E-02	2,7E-02	2,7E-02	2,8E-02	6,2E-02	4,6E-02	3,5E-02
Pindal	6,9E-02	4,5E-02	4,2E-02	5,2E-02	1,5E-02	3,2E-02	8,6E-02	2,9E-02	4,2E-02	6,5E-02	4,5E-02	5,7E-02	6,6E-02
Promedio aritmético	4,9E-02	5,2E-02	7,9E-02	5,3E-02	5,0E-02	8,0E-02	7,5E-02	6,8E-02	3,6E-02	4,3E-02	7,1E-02	5,9E-02	5,4E-02
MAX.	7,3E-02	8,4E-02	1,6E-01	8,5E-02	8,3E-02	1,7E-01	9,1E-02	1,4E-01	4,4E-02	6,5E-02	1,2E-01	1,1E-01	9,4E-02
MIN.	2,1E-02	2,2E-02	4,2E-02	2,7E-02	1,5E-02	2,8E-02	5,3E-02	2,7E-02	2,7E-02	2,2E-02	4,5E-02	3,5E-02	3,5E-02
Desviación estándar	2,6E-02	2,6E-02	4,4E-02	2,1E-02	2,6E-02	5,9E-02	1,5E-02	4,8E-02	8,2E-03	1,8E-02	3,2E-02	2,8E-02	2,6E-02



ANEXO 2

Tabla 29-A. Perfil estratigráfico de Celica

MUESTRA		PROF. (m)	PERFIL	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	GRANULOMETRIA			LL	IP	w	SUCS	ASSHTO
					G	S	F	%	%	%		
1				Arcilla de color café oscuro de consistencia blanda, de una elevada plasticidad, clasificado por la norma como limo orgánico de elevada compresibilidad	17	13	70	54	22	51	OH	A - 7 - 5 (16)
2		0.40		Arcilla de color amarillo claro de consistencia media clasificado por la norma como limos inorgánicos de elevada - compresibilidad.	1	10	89	58	29	41	CH	A - 7 - 6 (29)
3		0.70		Arcilla de color rojo de consistencia muy firme clasificado por la norma como limos orgánicos de elevada - compresibilidad.	0	15	85	53	19	41	OH	A - 7 - 5 (20)
		2.95										



Tabla 30-A. Perfil estratigráfico de Gonzanamá

UCG		REGISTRO DE CALICATAS		NORMA . ASTM D1586, INEN 689							
UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL, GEOLOGIA Y MINAS LABORATORIOS UCG.											
PROYECTO: PIC - 08 - 0000120 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 DESCRIPCIÓN DEL SUELO: SUELO ARCILLOSO		PERFORACIÓN No: 1 PROFUNDIDAD: 0 - 2.1 m		ENSAYADO Y CALCULADO POR: LORENA ELIZABET BERMEO CASTILLO REVISADO POR: JORGE LUIS SANTÍN TORRES ING. MÓNICA CISNEROS ABAD		NORMA: ASTM D1586, INEN 689					
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								



Tabla 31-A. Perfil estratigráfico de Olmedo

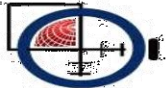

UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA											
Laboratorio de Mecánica de Suelos (UCG)											
Registro de Calicatas											
 											
PROYECTO: PIC - 008 - 0000120 "Estudio, diseño y selección de tecnologías de tratamientos de aguas residuales domésticas aplicables a las cabeceras cantonales con poblaciones menores a 5000 habitantes mediante infiltración directa en el terreno de la provincia de Loja"											
LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO: CANTÓN OLMEDO PERFORACIÓN No.: 1 ENSAYADO POR: DIEGO CORONEL DESCRIPCIÓN DEL SUELO: SUELO GRANULAR PROFUNDIDAD: 0 - 3.80 m CALCULADO POR: OLGIER QUILLE NORMA: ASTM D1586, INEN 689 REVISADO POR: ING. MONICA CISNEROS ABAD											
MUESTRA	PROF. (m)	PERFIL	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	GRANULOMETRÍA (%)			LL	LP	W	SUCS	ASSHTO
				G	S	F	%	%	%		
			Capa vegetal								
1	0.00		Suelo orgánico debido a su color café oscuro. La Norma indica que es un suelo limoso o arcilloso gravilla y arena comportamiento general excelente o bueno.	12,79	41,49	45,72	40,10	35,67	17,71	GC	A - 2 - 6
2	0.60		Suelo café amarillento. La Norma indica que es un suelo limoso o arcilloso gravilla y arena comportamiento general excelente o bueno.	59,85	20,42	11,96	33,13	23,71	14,9	GC	A - 2 - 4
	1.60		Suelo café amarillento de similares características al estrato anterior. La Norma indica que es un suelo limoso o arcilloso gravilla y arena comportamiento general excelente o bueno.	44,31	40,95	14,75	33,08	23,59	12,76	GC	A - 2 - 4
	3.80		Nivel Freático								


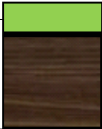




Tabla 32-A. Perfil estratigráfico de Zapotillo

MUESTRA		PROF. (m)	PERFIL	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	GRANULOMETRIA			LL %	IP %	w %	SUCS	ASSHTO
					G	S	F					
1		0.50	[Grava arcillosa]	Grava arcillosa con arena de color café oscuro de consistencia blanda, de una moderada plasticidad				24	12	6	GC	A - 2 - 6
2		1.00		Grava arcillosa con arena de color café claro de consistencia blanda, de una moderada plasticidad				24	12	6	GC	A - 2 - 6
		1.70		A esta altura se encontró el nivel freático								



Tabla 32-A. Perfil estratigráfico de Pindal

UCG		REGISTRO DE CALICATAS		NORMA . ASTM D1586, INEN 689							
 UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL, GEOLOGIA Y MINAS LABORATORIOS UCG.											
PROYECTO: PIC - 08 - 0000120 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 PINDAL DESCRIPCIÓN DEL SUELO: SUELO ARCILLOSO		PERFORACIÓN No: 1 PROFUNDIDAD: 0 - 1 m		ENSAYADO Y CALCULADO POR: LUIS CUENCA REVISADO POR: MERCEDES VILLA ING. MÓNICA CISNEROS ABAD							
NORMA: ASTM D1586, INEN 689											
MUESTRA	PROF. (m)	PERFIL	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	GRANULOMETRÍA			LL %	IP %	W %	SUCS	ASSHTO
				G	S	F					
			Capa vegetal								
1	0 - 0.30		El suelo es de color café oscuro. Según la norma este es un suelo arcillo ligero arenoso o suelo arcilloso pobre.	7	23	70	44	22	29	CL	A - 7 - 6 (14)
2	0.30 - 0.70		El suelo es de color café oscuro. Según la norma este es un suelo arcillo ligero arenoso o suelo arcilloso pobre.	4	21	75	46	20	37	CL	A - 7 - 6 (20)
			En esta perforación no se encontró el nivel freático								
OBSERVACIONES: A la profundidad de 0.50m hubo presencia de agua producto de la infiltración de la misma en el terreno y de la existencia de una acequia cercana al siti											



ANEXO 3

BALANCE HÍDRICO

Teniendo los datos de las precipitaciones medias mensuales y de la evapotranspiración medias mensuales, se realiza un estudio de balance del agua en el suelo a lo largo del año.

Precipitación (mm).- es la media mensual durante varios años.

Variación de reservas de la humedad del suelo.- es donde existe aporte del agua en el suelo o al contrario extracción o pérdida de humedad.

Reserva de agua disponible.- En este parámetro depende principalmente de la naturaleza del suelo, en la cual indica la cantidad de agua que existe en el suelo.

Evaporación efectiva ocurrida.- es el agua que ha sido evaporada.

Déficit o sequía (mm).- durante la evapotranspiración es la cantidad de agua que hizo falta en este proceso.

Excedente.- durante en el proceso de precipitación queda como restante luego de haber proporcionado la cantidad necesaria para la evapotranspiración y para la constitución de reserva en el suelo.

CÁLCULO DEL BALANCE HÍDRICO

El balance hídrico permite controlar la cantidad de agua que ha caído por precipitación con la cantidad de agua que ha sido evapotranspirada, escurrida, almacenada, etc.

RELACIONES:

$$1. \quad R_i = R_{i-1} + (P_i + ETP_i) \Rightarrow si \quad R_i < R_{i-1} + (P_i - ETP_i) < R_{max}$$

P: precipitación media mensual

ETP: evapotranspiración potencial o de referencia

R: reserva

$$2. \quad R_i = R_{max} \Rightarrow si \quad R_{i-1} + (P_i - ETP_i) > R_{max}$$

$$3. \quad R_i = 0 \Rightarrow si \quad R_{i-1} + (P_i - ETP_i) < 0$$



Variación de reserva (VR)

$$VR_i = R_i - VR_{i-1}$$

Evapotranspiración real (ETPR)

1. $ETPR_i = ETP_i \rightarrow HUMEDO$

2. $ETPR_i = P_i + |VR_i| \rightarrow SECO$

Déficit de agua (D)

$$D_i = ETP_i - ETPR_i$$

Exceso de agua (Ex)

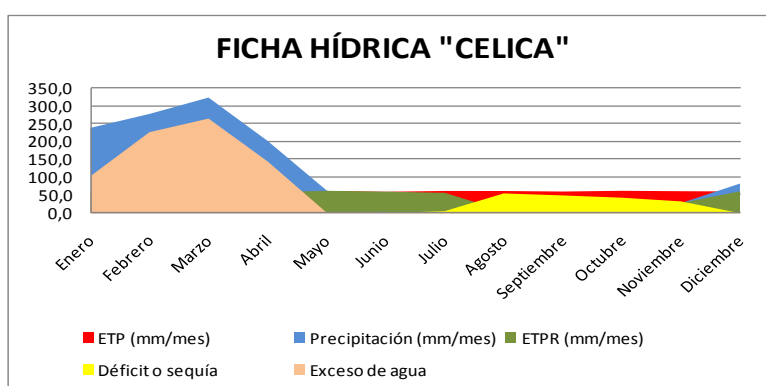
1. $Ex_i = [P_i - ETP_i - VR_i]$ Si $(P_i - ETP_i) > 0$

2. $Ex_i = 0$ Si $(P_i - ETP_i) < 0$



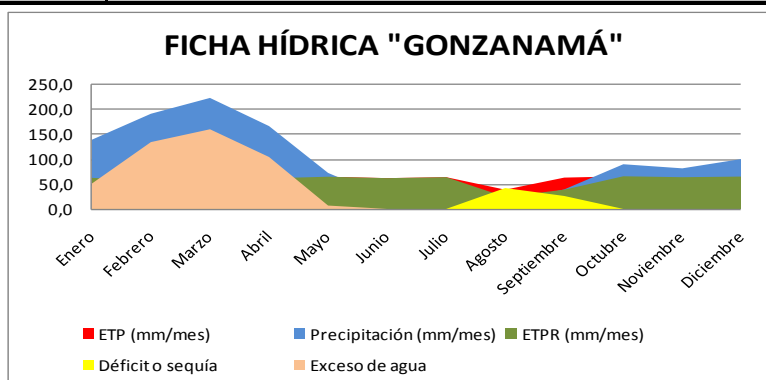
CUADRO 3.1. CABECERA CANTONAL CELICA

CELICA												
Concepto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
ETP (mm/mes)	58,4	52,3	60,3	58,4	62,2	59,9	62,2	62,0	60,6	62,6	61,5	60,8
Precipitación (mm/mes)	239,5	278,7	324,7	203,0	63,7	12,8	3,7	5,8	10,1	18,5	28,0	83,1
Precipitación - ETP	181,1	226,4	264,4	144,6	1,5	-47,1	-58,5	-56,2	-50,5	-44,1	-33,5	22,3
Reserva	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	52,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	22,2
Variación de reserva	77,8					-47,1	-52,9	0,0	0,0	0,0	0,0	22,2
ETPR (mm/mes)	58,4	52,3	60,3	58,4	62,2	59,9	56,6	5,8	10,1	18,5	28,0	60,8
Déficit o sequía	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,7	56,2	50,5	44,0	33,5	0,0
Exceso de agua	103,3	226,4	264,4	144,7	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0



CUADRO 3.2. CABECERA CANTONAL GONZANAMÁ

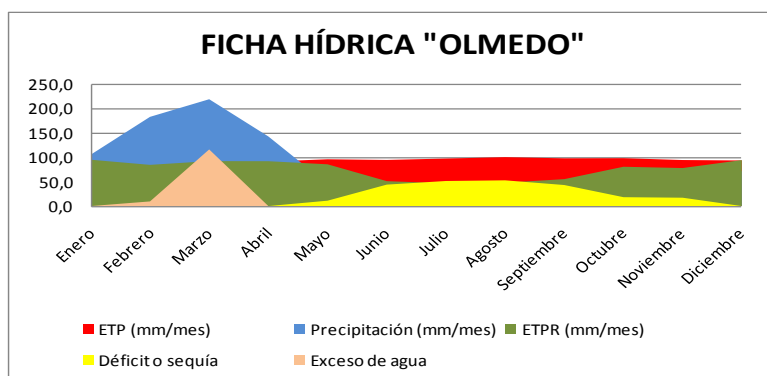
GONZANAMÁ												
Concepto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
ETP (mm/mes)	63,6	57,5	63,3	62,6	65,9	63,0	65,0	39,4	64,1	66,8	64,9	66,2
Precipitación (mm/mes)	139,7	192,1	224,0	167,2	72,7	22,1	16,6	14,1	39,4	90,2	81,9	100,7
Precipitación - ETP	76,1	134,6	160,7	104,6	6,8	-40,9	-48,4	-25,3	-24,7	23,4	17,0	34,5
Reserva	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	59,0	10,6	0,0	0,0	23,5	40,5	75,0
Variación de reserva	25,0					-41,0	-48,4	-10,6	0,0	23,5	17,1	34,5
ETPR (mm/mes)	63,6	57,5	63,6	62,6	65,9	63,0	65,0	24,7	39,4	66,8	64,9	66,2
Déficit o sequía	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	41,1	25,5	0,0	0,0	0,0
Exceso de agua	51,1	134,6	160,4	104,6	6,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0





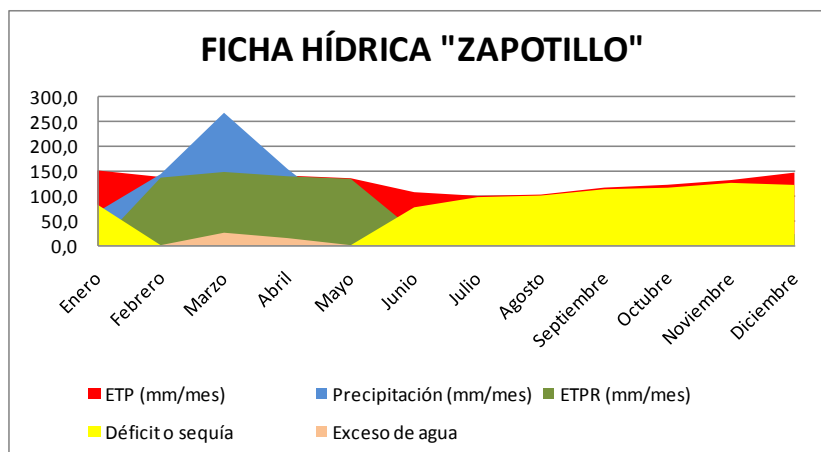
CUADRO 3.3. CABECERA CANTONAL OLMEDO

OLMEDO												
Concepto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
ETP (mm/mes)	94,1	83,7	91,2	91,1	95,8	94,5	97,3	100,1	97,7	98,0	94,3	93,4
Precipitación (mm/mes)	105,1	182,2	218,1	142,1	45,1	10,9	6,3	7,8	14,9	40,1	37,5	71,3
Precipitación - ETP	11,0	98,5	126,9	51,0	-50,8	-83,6	-91,0	-92,4	-82,8	-57,9	-56,8	-22,1
Reserva	11,0	100	100	100	49,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Variación de reserva	11,0	89,0	11,0	89,0	-39,7	-39,7	-39,7	-39,7	-39,7	-39,7	-39,7	0,0
ETPR (mm/mes)	94,1	83,7	91,2	91,1	84,8	50,6	46,0	47,5	54,6	79,8	77,2	93,4
Déficit o sequía	0,0	0,0	0,0	0,0	11,0	43,9	51,3	52,7	43,1	18,2	17,1	0,0
Exceso de agua	0,0	9,5	115,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0



CUADRO 3.4. CABECERA CANTONAL ZAPOTILLO

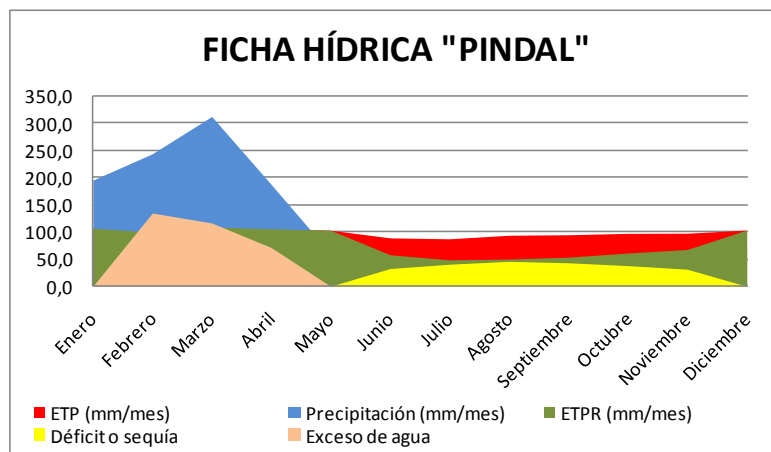
ZAPOTILLO												
Concepto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
ETP (mm/mes)	150,1	136,9	148,4	139,7	134,4	106,4	99,0	101,6	115,6	121,3	130,8	145,7
Precipitación (mm/mes)	66,9	143,2	266,8	153,7	54,5	8,9	0,8	0,0	1,3	3,8	3,4	22,4
Precipitación - ETP	-83,2	6,3	118,4	14,0	-79,9	-97,5	-98,2	-101,6	-114,3	-117,5	-127,4	-123,3
Reserva	0,0	6,3	100,0	100,0	20,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Variación de reserva	0,0	6,3	93,7		-79,9	-20,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ETPR (mm/mes)	66,9	136,9	148,4	139,7	134,4	29,0	0,8	0,0	1,3	3,8	3,4	22,5
Déficit o sequía	83,2	0,0	0,0	0,0	0,0	77,4	98,2	101,5	114,4	117,5	127,4	123,2
Exceso de agua	0,0	0,0	24,6	14,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0





CUADRO 3.5. CABECERA CANTONAL PINDAL

PINDAL												
Concepto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
ETP (mm/mes)	107,1	100,0	109,3	106,1	103,5	89,3	87,6	94,2	95,1	97,6	97,9	103,7
Precipitación (mm/mes)	195,8	244,4	313,2	187,8	60,5	12,3	3,0	4,4	7,9	15,5	22,0	68,1
Precipitación - ETP	88,7	144,4	203,9	81,7	-42,9	-77,0	-84,6	-89,7	-87,2	-82,2	-75,9	-35,6
Reserva	88,7	100,0	100,0	100,0	57,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Variación de reserva	88,7	11,3	88,7	11,3	45,8	-45,8	-45,8	-45,8	-45,8	-45,8	-45,8	0,0
ETPR (mm/mes)	107,1	100,0	109,3	106,1	103,5	58,1	48,8	50,2	53,7	61,3	67,8	103,7
Déficit o sequía	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	31,2	38,8	43,9	41,4	36,4	30,1	0,0
Exceso de agua	0,0	133,2	115,2	70,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0





ESTUDIO Y SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS APLICADAS A LAS CABECERAS CANTONALES CON POBLACIONES MENORES A 5000 HABITANTES MEDIANTE MÉTODOS NATURALES DE LA PROVINCIA DE LOJA

Autor: Carlos Felipe Merino González

Directora: Ing. Mónica Cisneros Abad

Introducción

En la provincia de Loja al igual que en otras provincias del Ecuador, los cuerpos hídricos son receptores de todo tipo de vertidos de aguas residuales los cuales disminuyen su calidad y ponen en riesgo la salud de los habitantes.

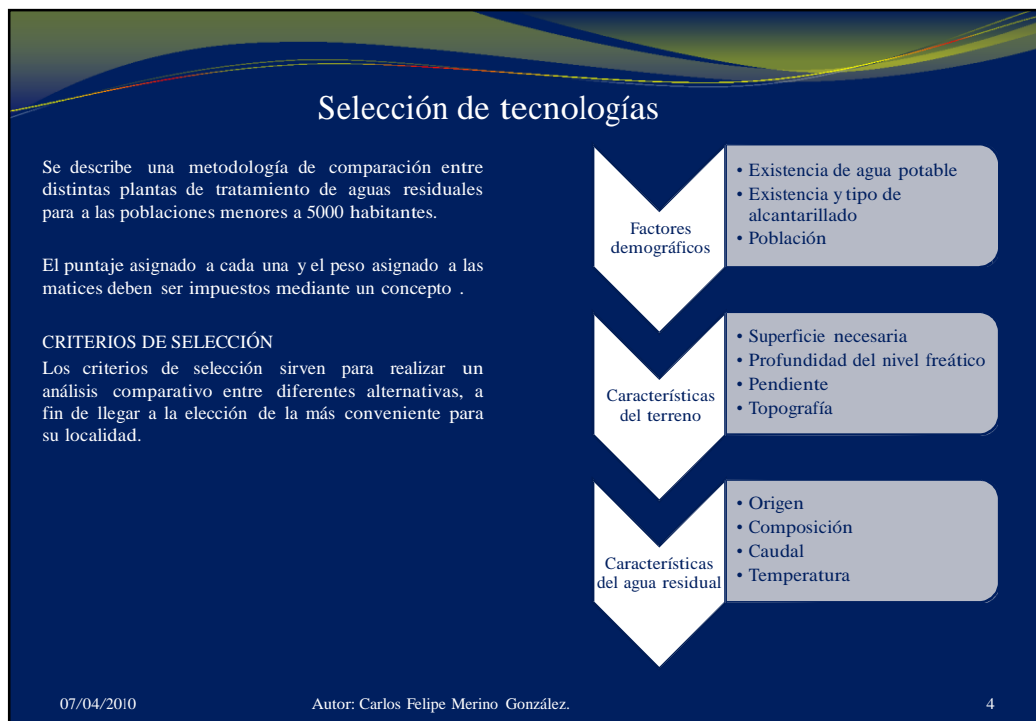
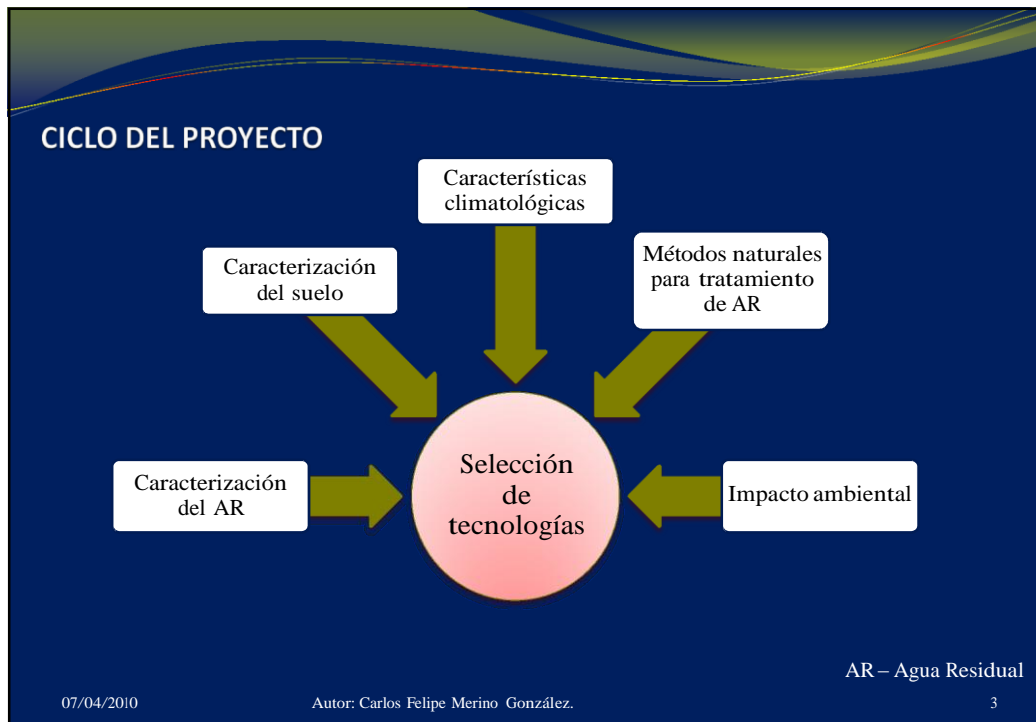
Plantas convencionales

(alto costo O&M)

Métodos naturales

(alta eficiencia en la depuración, fácil construcción, bajo costo O&M)

La variabilidad de los factores demográficos y características climáticas, se analizó una zona específica de estudio; como son en las cabeceras cantonales de Celica, Gonzanamá, Olmedo, Zapotillo y Pindal.



Selección de tecnologías

Los criterios de selección, han sido escogidos como los mas usuales e importantes que no pueden excluirse del proceso. De tal manera, que la selección de la tecnología sea un proceso simple, amigable y facilite la toma de decisiones, de acuerdo a las condiciones que las pequeñas y medianas poblaciones posean.



07/04/2010

Autor: Carlos Felipe Merino González.

5

Factores demográficos

Existencia de Servicio de Agua Potable

La Matriz 1 evalúa la existencia de agua potable en la comunidad donde se seleccionará la tecnología de tratamiento de aguas residuales

Matriz 1. Cobertura de agua potable

SERVICIO DE AGUAS POTABLE	TECNOLOGÍA				
	Infiltración rápida	Infiltración lenta	Escorrentía superficial	Humedales de flujo Superficial	Humedales de flujo Subsuperficial
	IR	IL	ES	HFL	HSS
Tiene servicio	A	A	A	A	A
No tiene Servicio	Na	Na	Na	Na	Na
Cobertura Parcial	Mo	Mo	Mo	Mo	Mo

	Apto (A)	Moderado (Mo)	No apto (Na)
PUNTUACIÓN	5	3	1

07/04/2010

Autor: Carlos Felipe Merino González.

6

Factores demográficos

Existencia y Tipo de Alcantarillado

La necesidad de planear un sistema de tratamiento de aguas residuales, es que la población cuente con un sistema de alcantarillado que evacue todas las aguas residuales y la lleve a un punto de descarga donde se pueda depurarlas.

Matriz 2. Existencia y tipo de alcantarillado

ALCANTARILLADO	TECNOLOGÍA				
	Infiltración rápida	Infiltración lenta	Escorrentía superficial	Humedales de flujo Superficial	Humedales de flujo Subsuperficial
	IR	IL	ES	HFL	HSS
Alcantarillado separado	S	S	S	S	S
Alcantarillado Mixto	N	N	N	N	N
Alcantarillado Combinado	C	C	C	C	C

	Simple (S)	Normal (N)	Complejo (C)
PUNTUACIÓN	5	3	1

Factores demográficos

Población Recomendada

En la Matriz 3, se presentan los tratamientos más adecuados para cada intervalo de población. Por tanto se deberá preseleccionar todas las tecnologías que se adapten al número de habitantes de su comunidad, dándole la valoración que se muestra en la tabla de puntuación

Matriz 3. Población

NÚMERO DE HABITANTES	TECNOLOGÍA				
	Infiltración rápida	Infiltración lenta	Escorrentía superficial	Humedales de flujo Superficial	Humedales de flujo Subsuperficial
	IR	IL	ES	HFL	HSS
500	A	A	A	A	A
1000	A	A	A	A	A
1500	A	A	A	A	A
2000	A	A	A	A	A
2500	A	A	A	A	A
3000	A	A	Mo	A	A
4000	Mo	Mo	Mo	A	A
5000	Mo	Mo	Mo	A	A
		Apto (A)	Moderado (Mo)	No Apto (Na)	
PUNTUACIÓN		5	3	1	

Características del terreno

Las características generales del terreno, tales como área disponible para la tecnología, y profundidad del nivel freático, son consideradas las principales variables de decisión, limitando la implementación de un sistema natural de tratamiento de aguas residuales. Además, el peso aplicado a este apartado también depende de las características físicas como pendiente y topografía, para evitar un incremento en los costos de construcción, operación y mantenimiento

Matriz 4. Características del terreno

VARIABLE	TECNOLOGÍA				
	Infiltración rápida	Infiltración lenta	Escurrentía superficial	Humedales de flujo Superficial	Humedales de flujo Subsuperficial
	IR	IL	ES	HFL	HSS
Superficie necesaria (m^2/hab)	2 - 20	8 - 20	2.5 - 6	2.5 - 9	1.5 - 7
Profundidad del nivel freático (m)	> 3.0	1 - 1.5	No crítico	No crítico	No crítico
Pendiente de terreno (%)	3 - 10	5 - 20	3 - 8	< 5	< 5
Relieve (<i>Adimensional</i>)	Moderado	Pronunciado	Moderado	Suave	Suave
		Apto	Moderado	No apto	
PUNTUACIÓN		5	3	1	

Características del agua residual

La caracterización de las aguas residuales consiste en conocer su composición, definiendo las concentraciones de los diferentes contaminantes y por consiguiente el origen del agua residual de la localidad

Matriz 5. Características del agua residual

VARIABLES	TECNOLOGÍA				
	Infiltración rápida	Infiltración lenta	Escurrentía superficial	Humedales de flujo Superficial	Humedales de flujo Subsuperficial
	IR	IL	ES	HFL	HSS
Origen (<i>Adimensional</i>)	Doméstico	Doméstico	Doméstico	Doméstico	Doméstico
Caudal (L/s)	6 - 9	2 - 6	6 - 14	7 - 10	4 - 7
Temperatura de agua residual ($^{\circ}C$)	28 - 33	17 - 26	18 - 22	17 - 21	22 - 26
		Apto	Moderado	No apto	
PUNTUACIÓN		5	3	1	

Características del suelo

El tipo de suelo, textura, velocidad de infiltración, y grado de permeabilidad, se evalúan en una siguiente etapa de este proceso de selección. Estos parámetros se han escogido para evaluar si el suelo destinado al tratamiento, cumple con las condiciones que cada tecnología demanda para su óptimo funcionamiento. En la Matriz 6 se pueden encontrar las características específicas.

Matriz 6. Características del suelo

VARIABLE	TECNOLOGÍA				
	Infiltración rápida	Infiltración lenta	Escorrentía superficial	Humedales de flujo Superficial	Humedales de flujo Subsuperficial
	IR	IL	ES	HFL	HSS
Tipo de suelo	Arenoso	Margoso	Limosos y arcillosos	Arcillosos impermeable	Arcillosos impermeable
Textura	Gruesa	Media	Fina	Fina	Fina Velocidad
de infiltración (mm/h)	> 51	5 - 51	< 5	< 5	< 5
Permeabilidad	Permeabilidad alta	Permeabilidad moderada	Permeabilidad baja	Permeabilidad baja	Permeabilidad baja

	Apto	Moderado	No apto
PUNTUACIÓN	5	3	1

Características del suelo

En la Matriz 7 muestra los intervalos de las condiciones climáticas para cada sistema de tratamiento.

Matriz 7. Características climáticas

VARIABLE	TECNOLOGÍA				
	Infiltración rápida	Infiltración lenta	Escorrentía superficial	Humedales de flujo Superficial	Humedales de flujo Subsuperficial
	IR	IL	ES	HFL	HSS
Temperatura (°C)	26 - 28	23- 24	18- 20	17 - 18	24 - 25
Evapotranspiración (mm/mes)	130- 15	94- 100	60 - 63	39 - 67	100 - 109
Vientos (m/s)	3 - 6	4.2 - 4.9	4 - 5	1 - 3	3 - 4
Precipitación (mm/mes)	22 - 267	45 - 218	64 - 325	73 - 224	61 - 313

	Apto	Moderado	No apto
PUNTUACIÓN	5	3	1

Aspectos tecnológicos

Tecnologías de depuración natural de aguas residuales

En la Matriz 8 se resumen los porcentajes de remoción que alcanzan el pre-tratamiento + el tratamiento, es decir, nos permiten establecer la eficiencia total de la planta depuradora, en función de lo cual estableceremos si cumplimos con la normativa para el vertimiento al cauce natural o con fines de reuso para riego.

Matriz 8. Remoción de los parámetros básicos

VARIABLE	TECNOLOGÍA				
	Infiltración rápida	Infiltración lenta	Escorrentía superficial	Humedales de flujo Superficial	Humedales de flujo Subsuperficial
	IR	IL	ES	HFL	HSS
Remoción de SST (%)	92 - 95	95 - 99	95 - 99	60 - 98	60 - 98
Remoción de DBO (%)	80 - 95	95 - 99	80 - 99	60 - 98	60 - 98
Remoción de DQO (%)	70 - 98	70 - 98	90 - 95	55 - 80	55 - 80
Remoción nitrógeno Total (%)	30 - 95	80 - 98	40 - 95	>80	>80
Remoción de fósforo total (%)	25 - 40	90 - 98	85 - 95	20 - 60	20 - 60
Remoción de coliformes fecales (%)	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9

	> 90	50-90	<50
PUNTUACIÓN	5	3	1

07/04/2010

Autor: Carlos Felipe Merino González.

13

Aspectos tecnológicos

Impacto Ambiental

Los proyectos de tratamiento de aguas residuales se deben diseñar y construir con el propósito de conservar el medio ambiente y proteger la salud de los habitantes de una determinada región.

Matriz 9. Impacto ambiental sobre el entorno

VARIABLE	TECNOLOGÍA				
	Infiltración rápida	Infiltración lenta	Escorrentía superficial	Humedales de flujo Superficial	Humedales de flujo Subsuperficial
	IR	IL	ES	HFL	HSS
Suelo	A	A	A	Me	Me
Geomorfología del suelo	A	A	A	Me	Me
Contaminación del suelo	A	A	A	Me	Me
Contaminación de agua	Me	Me	Me	B	B
Recarga cuerpo receptor y riego	A	A	A	A	A
Contaminación del aire	Me	Me	Me	Me	Me
Generación de olores	Me	Me	Me	A	A
Proliferación de vectores	Me	Me	Me	A	A
Polvo	Me	Me	Me	A	A
Ruido	B	B	B	B	B
Arboles	Me	Me	Me	A	A
Arbustos	Me	Me	Me	A	A
Hierbas	Me	Me	Me	A	A
Cultivos	Me	Me	Me	A	A
Pájaros (aves)	Me	Me	Me	A	A
Animales terrestres	Me	Me	Me	A	A
Paisaje	Me	Me	Me	A	A
Agricultura	A	A	A	A	A
Ganadería	A	A	A	A	A
Empleo		Alto (A)	Medio (Me)	Bajo (B)	
Servicio básico	PUNTUACIÓN	1	3	5	Me

07/04/2010

Autor: Carlos Felipe Merino González.

14

Aspectos tecnológicos

Requerimiento De Obra Civil

Los sistemas de tratamiento naturales comparados con los sistemas convencionales de tratamiento de aguas residuales son los que menor requerimiento de obra civil necesitan. En la Matriz 10 se presentan las variables escogidas para valorar este parámetro, tales como: movimiento de tierra, construcción de instalaciones, necesidad de equipo.

Matriz 10. Tecnologías de tratamiento y su necesidad de obra civil

VARIABLE	TECNOLOGÍA				
	Infiltración rápida	Infiltración lenta	Escurrentia superficial	Humedales de flujo Superficial	Humedales de flujo Subsuperficial
	IR	IL	ES	HFL	HSS
Movimiento de tierra	N	N	P	P	P
Construcción de instalaciones	P	P	P	P	P
Necesidad de equipo	P	P	P	P	P

	Poco (P)	Normal (N)	Mucho (M)
PUNTUACIÓN	5	3	1

Aspectos tecnológicos

Operación y mantenimiento (O&M)

En la Matriz 11 se presenta para cada tecnología, dependiendo de su facilidad de operación y mantenimiento una tabla en la que se indica la puntuación asignada, si el proceso es muy simple, simple o complejo, o, si se necesita de poco o mucho control en los mismos. De esta manera podremos obtener la valoración más alta para el tratamiento que mayor simplicidad represente con respecto al resto.

Matriz 11. Operación y mantenimiento para cada tecnología de tratamiento

VARIABLE	TECNOLOGÍA				
	Infiltración rápida	Infiltración lenta	Escurrentia superficial	Humedales de flujo Superficial	Humedales de flujo Subsuperficial
	IR	IL	ES	HFL	HSS
Funcionamiento (Adimensional)	S	S	MS	C	C
Capacitación del personal (Adimensional)	S	S	C	S	S
Tiempo de control (Adimensional)	P	P	P	P	P
Frecuencia de control (Adimensional)	P	P	P	N	N

	Muy Simple (MS)	Simple (S)	Complejo (C)
PUNTUACIÓN	5	3	1

	Poco (P)	Normal (N)	Mucho (M)
PUNTUACIÓN	5	3	1

Costos

Costos de construcción de la obra Civil

En la Matriz 12 se detalla los costos por habitante de cada sistema de tratamiento. Los mismos que establecen los gastos de construcción y puesta en marcha de la depuradora, incluye materiales, mano de obra, equipo menor y transporte.

Matriz 12. Costos de construcción de obra civil para los tratamientos naturales

VARIABLE	TECNOLOGÍA				
	Infiltración rápida	Infiltración lenta	Escorrentía superficial	Humedales de flujo Superficial	Humedales de flujo Subsuperficial
	IR	IL	ES	HFL	HSS
Coste por habitante (USD/hab)	35.25	28.72	16.27	29.60	46.50

	MUY ECONÓMICO (ME)	ECONÓMICO (E)	POCO ECONÓMICO (PE)
PUNTUACIÓN	5	3	1

Costos

Costos de Operación y mantenimiento O&P

Los costos de O&P dependen de muchas variables como el tipo de tratamiento, tamaño de la misma, necesidad de personal, frecuencia de mantenimiento, necesidad de sustancias químicas y del programa de capacitación.

Matriz 13. Costos mensuales de operación & mantenimiento para los tratamientos naturales

VARIABLE	TECNOLOGÍA				
	Infiltración rápida	Infiltración lenta	Escorrentía superficial	Humedales de flujo Superficial	Humedales de flujo Subsuperficial
	IR	IL	ES	HFL	HSS
Coste por habitante (USD/hab/año)	3.68	5.35	1.57	2.05	2.50

	MUY ECONÓMICO (ME)	ECONÓMICO (E)	POCO ECONÓMICO (PE)
PUNTUACIÓN	5	3	1

RESUMEN DE LOS ANÁLISIS DE DATOS PARA LA SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA EN CADA ZONA DE ESTUDIO

Ciudad de Zapotillo

“La ciudad de Zapotillo tiene una población actual de 1960 habitantes, con una área disponible para la planta de tratamiento de 28530 m², con existencia de servicio de agua potable el 13%, existencia y tipo de alcantarillado combinado” (Muñoz, Aguirre, 2010). Además, es una típicamente urbana (doméstico)

Matriz 1. Cobertura de agua potable

Servicio de aguas potable	TECNOLOGÍA				
	IR	IL	ES	HFL	HSS
Tiene servicio	A	A	A	A	A
No tiene Servicio	Na	Na	Na	Na	Na
Cobertura Parcial	Mo	Mo	Mo	Mo	Mo

Tiene servicio	-	-	-	-	-
No tiene Servicio	-	-	-	-	-
Cobertura Parcial	3	3	3	3	3

	(A)	(Mo)	(Na)
Puntuación	5	3	1

Matriz 2. Existencia y tipo de alcantarillado

Alcantarillado	TECNOLOGÍA				
	IR	IL	ES	HFL	HSS
Alcantarillado separado	S	S	S	S	S
Alcantarillado Mixto	N	N	N	N	N
Alcantarillado Combinado	C	C	C	C	C

Alcantarillado separado	-	-	-	-	-
Alcantarillado Mixto	-	-	-	-	-
Alcantarillado Combinado	1	1	1	1	1

	(S)	(N)	(C)
Puntuación	5	3	1

RESUMEN DE LOS ANÁLISIS DE DATOS PARA LA SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA EN CADA ZONA DE ESTUDIO

Matriz 3. Población

Número de habitantes	TECNOLOGÍA				
	IR	IL	ES	HFL	HSS
500	A	A	A	A	A
1000	A	A	A	A	A
1500	A	A	A	A	A
2000	A	A	A	A	A
2500	A	A	A	A	A
3000	A	A	Mo	A	A
4000	Mo	Mo	Mo	A	A
5000	Mo	Mo	Mo	A	A
1960	5	5	5	5	5

	(A)	(Mo)	(Na)
Puntuación	5	3	1

Posteriormente, se realizó la caracterización del suelo. En la ciudad de Zapotillo se observó un relieve moderado, con pendientes que varían del 5 al 10 por ciento. Además, se determinó una profundidad del nivel freático mayor a 3 m.

$$\text{Superficie necesaria (m}^2/\text{hab)} = \frac{\text{Área disponible tratamiento (m}^2\text{)}}{\text{Número de habitantes (hab)}} = \frac{28530 \text{ m}^2}{1960 \text{ hab}} = 14.5 \text{ m}^2/\text{hab}$$

Matriz 4. Características del terreno

VARIABLE	TECNOLOGÍA				
	IR	IL	ES	HFL	HSS
Superficie necesaria (m ² /hab)	2 - 20	8 - 20	2.5 - 6	2.5 - 9	1.5 - 7
Profundidad del nivel freático (m)	> 3.0	1 - 1.5	No crítico	No crítico	No crítico
Pendiente de terreno (%)	3 - 10	5 - 20	3 - 8	< 5	< 5
Relieve (Adimensional)	Moderado	Pronunciado	Moderado	Suave	Suave
Superficie necesaria (m ² /hab)	5	5	1	1	1
Profundidad del nivel freático (m)	5	1	5	5	5
Pendiente de terreno (%)	5	3	5	1	1
Relieve (Adimensional)	5	3	5	1	1

	(A)	(Mo)	(Na)
Puntuación	5	3	1

RESUMEN DE LOS ANÁLISIS DE DATOS PARA LA SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA EN CADA ZONA DE ESTUDIO

En la Figura 1 se observo el caudal del agua residual registrado durante el proceso de estudio, donde se tiene un intervalo de (1.1 a 6.35) l/s. y en la Figura 2 muestra la temperatura del agua residual, la cual tiene un rango de variación de (28.3 a 32.6) °C.

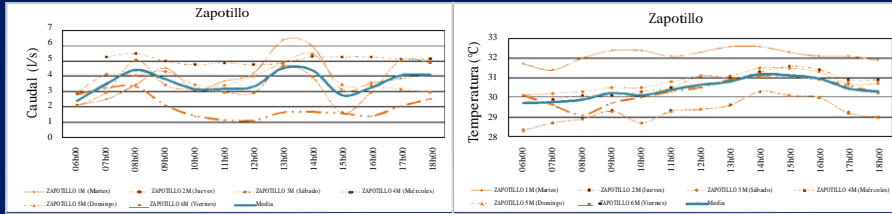


Figura 1. Caudal registrado en ciudad de Zapotillo

Figura 2. Temperatura del caudal registrado en ciudad de Zapotillo

Matriz 5. Características del agua residual

VARIABLES	TECNOLOGÍA				
	IR	IL	ES	HFL	HSS
Origen (Adimensional)	Doméstico	Doméstico	Doméstico	Doméstico	Doméstico
Caudal (L/s)	6 - 9	2 - 6	6 - 14	7 - 10	4 - 7
Temperatura de agua residual (°C)	28 - 33	17 - 26	18 - 22	17 - 21	22 - 26
Origen (Adimensional)	5	5	5	5	5
Caudal (L/s)	5	5	3	3	3
Temperatura de agua residual (°C)	5	1	1	1	1

	(A)	(Mo)	(Na)
Puntuación	5	3	1

RESUMEN DE LOS ANÁLISIS DE DATOS PARA LA SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA EN CADA ZONA DE ESTUDIO

Tiene un tipo de suelo arenoso, textura Gruesa, velocidad de infiltración de 585 milímetros por hora y una permeabilidad alta

Matriz 6. Características del suelo

VARIABLE	TECNOLOGÍA				
	IR	IL	ES	HFL	HSS
Tipo de suelo	Arenoso	Margoso	Limosos y arcillosos	Arcillosos impermeable	Arcillosos impermeable
Textura	Gruesa	Media	Fina	Fina	Fina
Velocidad de infiltración (mm/h)	> 51	5 - 51	< 5	< 5	< 5
Permeabilidad	Permeabilidad alta	Permeabilidad moderada	Permeabilidad baja	Permeabilidad baja	Permeabilidad baja
Tipo de suelo	5	1	1	1	1
Textura	5	3	1	1	1
Velocidad de infiltración (mm/h)	5	1	1	1	1
Permeabilidad	5	3	1	1	1

	(A)	(Mo)	(Na)
Puntuación	5	3	1

RESUMEN DE LOS ANÁLISIS DE DATOS PARA LA SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA EN CADA ZONA DE ESTUDIO

Los intervalos de variación de las características climatológicas son: precipitación de (22 a 267) mm/mes; temperatura de (26.4 a 28.8) C; Evapotranspiración de (130.3 a 15.6) mm/mes y los vientos oscilaron de (3.5 a 6.3) m/s

Matriz 7. Características climáticas

VARIABLE	TECNOLOGÍA				
	IR	IL	ES	HFL	HSS
Temperatura (°C)	26 - 28	23 - 24	18 - 20	17 - 18	24 - 25
Evapotranspiración (mm/mes)	130 - 15	94 - 100	60 - 63	39 - 67	100 - 109
Vientos (m/s)	3 - 6	4.2 - 4.9	4 - 5	1 - 3	3 - 4
Precipitación (mm/mes)	22 - 267	45 - 218	64 - 325	73 - 224	61 - 313

Temperatura (°C)	5	1	1	1	3
Evapotranspiración (mm/mes)	5	3	3	3	3
Vientos (m/s)	5	5	5	3	3
Precipitación (mm/mes)	5	5	5	5	5

	(A)	(Mo)	(Na)
Puntuación	5	3	1

Matriz 8. Remoción de los parámetros básicos

VARIABLE	TECNOLOGÍA				
	IR	IL	ES	HFL	HSS
Remoción de SST (%)	92 - 95	95 - 99	95 - 99	60 - 98	60 - 98
Remoción de DBO (%)	80 - 95	95 - 99	80 - 99	60 - 98	60 - 98
Remoción de DQO (%)	70 - 98	70 - 98	90 - 95	55 - 80	55 - 80
Remoción nitrógeno Total (%)	30 - 95	80 - 98	40 - 95	>80	>80
Remoción de fósforo total (%)	25 - 40	90 - 98	85 - 95	20 - 60	20 - 60
Remoción de coliformes fecales (%)	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9

Remoción de SST (%)	5	5	5	5	5
Remoción de DBO (%)	5	5	5	5	5
Remoción de DQO (%)	5	5	5	5	5
Remoción nitrógeno Total (%)	1	5	5	5	5
Remoción de fósforo total (%)	1	5	5	5	5
Remoción de coliformes fecales (%)	5	5	5	5	5

	(A)	(B)	(C)
Puntuación	5	3	1

07/04/2010

Autor: Carlos Felipe Merino González.

23

RESUMEN DE LOS ANÁLISIS DE DATOS PARA LA SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA EN CADA ZONA DE ESTUDIO

El impacto ambiental que producirá la planta de tratamiento será en los siguientes factores: Alta (suelo, geomorfología del suelo, contaminación del suelo, recarga cuerpo receptor, riego, agricultura y ganadería); Medio (contaminación de agua, contaminación del aire, generación de olores, proliferación de vectores, polvo, árboles, arbustos, hierbas, cultivos, aves, animales terrestres, paisaje, empleo y servicio básico), y Bajo al ruido.

VARIABLE	TECNOLOGÍA				
	IR	IL	ES	HFL	HSS
Suelo	1	1	1	3	3
Geomorfología del suelo	1	1	1	3	3
Contaminación del suelo	1	1	1	3	3
Contaminación de agua	3	3	3	5	5
Recarga cuerpo receptor y riego	1	1	1	1	1
Contaminación del aire	3	3	3	5	5
Generación de olores	3	3	3	5	5
Proliferación de vectores	3	3	3	5	5
Polvo	5	5	5	5	5
Ruido	3	3	5	5	5
Árboles	3	3	5	5	5
Arbustos	3	3	5	5	5
Hierbas	3	3	5	5	5
Cultivos	3	3	3	5	5
Pájaros (aves)	3	3	3	5	5
Animales terrestres	3	3	3	5	5
Paisaje	3	3	5	5	5
Agricultura	1	1	1	1	1
Ganadería	1	1	1	1	1
Empleo	1	3	3	5	1
Servicio básico	3	1	3	3	5

	(A)	(Me)	(B)
Puntuación	1	3	5

07/04/2010

Autor: Carlos Felipe Merino González.

24

Criterios	Variable	TECNOLOGÍA				
		Infiltración rápida IR	Infiltración lenta IL	Escorrentía superficial ES	Humedales de flujo Superficial HFL	Humedales de flujo Subsuperficial HSS
Servicio de agua potable	Tiene servicio	-	-	-	-	-
	No tiene servicio	-	-	-	-	-
	Cobertura Parcial	3	3	3	3	3
Existencia y tipo de alcantarillado	Alcantarillado separado	-	-	-	-	-
	Alcantarillado Mixto	-	-	-	-	-
	Alcantarillado Combinado	1	1	1	1	1
Población	5	5	5	5	5	
Características del terreno	Superficie necesaria	5	5	1	1	1
	Profundidad del nivel freático	5	5	5	5	5
	Pendiente de terreno	5	3	5	1	1
	Relieve	5	3	5	1	1
Características del agua residual	Origen	5	5	5	5	5
	Caudal	5	5	3	3	3
	Temperatura de agua residual	5	1	1	1	1
Características del suelo	Tipo de suelo	5	1	1	1	1
	Textura	5	3	1	1	1
	Velocidad de infiltración	5	1	1	1	1
	Permeabilidad	5	3	1	1	1
Características climáticas	Temperatura	5	1	1	1	3
	Evapotranspiración	5	3	3	3	3
	Vientos	5	5	5	3	5
	Precipitación	5	5	5	5	5
Remoción de los parámetros básicos	Remoción de sólidos en suspensión	5	5	5	5	5
	Remoción de DBO	5	5	5	5	5
	Remoción de DQO	3	5	5	3	3
	Remoción nitrógeno Total	1	5	5	5	5
	Remoción de fósforo total	1	5	5	5	5

Criterios	Variable	TECNOLOGÍA					
		Infiltración rápida IR	Infiltración lenta IL	Escorrentía superficial ES	Humedales de flujo Superficial HFL	Humedales de flujo Subsuperficial HSS	
Impacto ambiental sobre el entorno	Suelo	1	1	1	3	3	
	Geomorfología del suelo	1	1	1	3	3	
	Contaminación del suelo	1	1	1	3	3	
	Contaminación de agua	3	3	3	5	5	
	Recarga cuerpo receptor y riego	1	1	1	1	1	
	Contaminación del aire	3	3	3	5	5	
	Generación de olores	3	3	3	5	5	
	Proliferación de vectores	3	3	3	5	5	
	Polvo	5	5	5	5	5	
	Ruido	3	3	5	5	5	
	Árboles	3	3	5	5	5	
	Arbustos	3	3	5	5	5	
	Hierbas	3	3	5	5	5	
	Cultivos	3	3	3	5	5	
	Pájaros (aves)	3	3	3	5	5	
	Animales terrestres	3	3	3	5	5	
	Paisaje	3	3	5	5	5	
	Agricultura	1	1	1	1	1	
	Ganadería	1	1	1	1	1	
	Empleo	1	3	3	5	1	
	Servicio básico	3	1	3	3	5	
	Tecnología de tratamiento y su necesidad de obra civil	Movimiento de tierra	3	3	5	5	5
		Construcción de instalaciones	5	5	5	5	5
Necesidad de equipo		5	5	5	5	5	
O&M para cada tecnología de tratamiento	Funcionamiento	3	3	5	5	5	
	Capacitación del personal	3	3	1	3	3	
	Tiempo de control	5	5	5	5	3	
	Frecuencia de control	5	5	5	3	3	

RESUMEN DE LOS ANÁLISIS DE DATOS PARA LA SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA EN CADA ZONA DE ESTUDIO

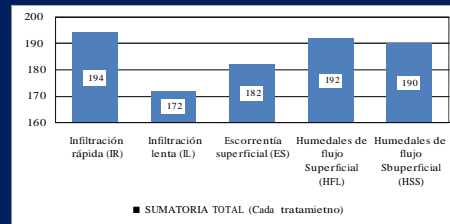


Figura 3. Sumatoria total de cada tratamiento natural

Después de haber analizado cada uno de los criterios de selección y evaluado cada una sus variables en función de las particularidades propias de la ciudad de Zapotillo se ha seleccionado el tratamiento de infiltración rápida siendo el más apropiado y beneficioso, debido a que este ha alcanzado la más alta puntuación (194 puntos) en la matriz de selección final para la ciudad de Zapotillo.

RESUMEN DE LOS ANÁLISIS DE DATOS PARA LA SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA EN CADA ZONA DE ESTUDIO

Ciudad de Olmedo

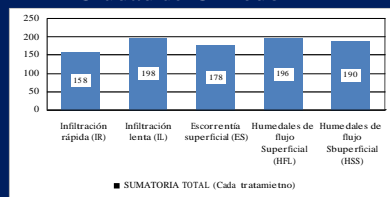


Figura 4. Sumatoria total de cada tratamiento natural

Ciudad de Celica

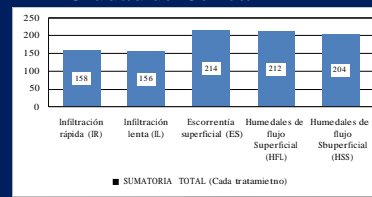


Figura 5. Sumatoria total de cada tratamiento natural

Ciudad de Gonzanamá

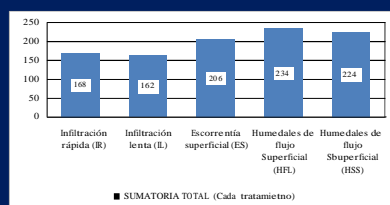


Figura 6. Sumatoria total de cada tratamiento

Ciudad de Pindal

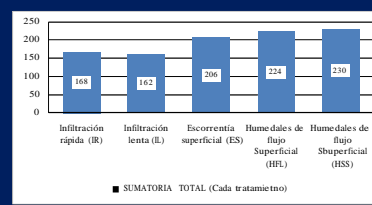


Figura 7. Sumatoria total de cada tratamiento

Conclusiones y recomendaciones

Durante el estudio de las características físicas, químicas y biológicas del agua residual, se concluye que en las cabeceras cantonales de acuerdo a la zona de estudio tale como Zapotillo, Olmedo, Celica, Gonzanamá y Pindal existe agua residual típicamente urbana, o sea es biodegradable.

Para el buen funcionamiento del sistema debe hacerse una estimación tanto de la profundidad del suelo, de los valores de carga hidráulica (en función de las características del suelo) y de la composición del agua residual a verter así como de los rendimientos esperados en la depuración.

Los análisis de las características físicas, químicas e hidráulicas del suelo son necesarias, pues aporta información acerca de los factores que condicionan el comportamiento del suelo y zona no saturada como transmisor del fluido y depurador.

Los cuatro criterios claves en la selección de tecnología de sistema de tratamiento natural son las características del terreno, agua residual, del suelo y climatológicas.

La disponibilidad de área es una variable limitante en la selección de tecnologías de tratamiento naturales ya que determina la factibilidad de implementación de un sistema de tratamiento.

Es conveniente concienciar a la población de la utilidad, importancia económica y medioambiental de la planta de tratamiento, y, si es posible, que el personal encargado del mantenimiento de las instalaciones pertenezca a la misma población.